

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El-Bouaghi  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Mathématique et d'Informatique

Année : 2021/2022

N° d'ordre : .....

N° de série : .....



## Thèse

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

**Spécialité :** Informatique

**Option:** Systèmes d'Information et de Connaissance

# Une Ontologie de domaine pour l'aide à la décision dans un cadre juridique

Présentée et soutenue par :

**Benlaharche Keltoum**

Soutenue le 19 / 05 / 2022 devant le jury composé de :

<b>Dr. Benaboud RohAllah</b>	<b>Président</b>	Université Oum El-Bouaghi
<b>Dr. Laboudi Zakaria</b>	<b>Rapporteur</b>	Université Oum El-Bouaghi
<b>Pr. Seghir Rachid</b>	<b>Examineur</b>	Université Batna2
<b>Pr. BenharzAllah Saber</b>	<b>Examineur</b>	Université Batna2
<b>Dr. Saighi Asma</b>	<b>Examineur</b>	Université Oum El-Bouaghi
<b>Dr. Moudjari Abdelkader</b>	<b>Examineur</b>	Université Constantine3

**Une Ontologie de domaine pour l'aide à la décision dans un cadre  
juridique.**

THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
DOCTORAT EN SCIENCES EN INFORMATIQUE  
OPTION : Systèmes d'Information et de Connaissance (SIC)

# Remerciements

Merci à mon directeur de thèse, Pr. Meslati Djamel, que Dieu bénisse son âme et l'accueille dans son vaste paradis.

Merci à mon deuxième directeur de thèse Dr. Laboudi Zakaria, merci d'avoir accepté de me prendre en charge (après le décès de Pr Meslati), merci pour tous les conseils précieux, pour les orientations scientifiques présentées.

Merci à Dr. Nouaouria Nabila, pour son grand soutien scientifique, pour les conseils qu'elle m'a apportés pendant l'élaboration de ce travail.

Merci à Pr. Mustapha Bouakel et aux enseignants de l'université des sciences islamiques et économiques (Université d'Alger 1 -Caroubier-) pour le suivi et la validation des travaux de recherche.

Je remercie M. Benaboud Rohallah, Maître de conférences A, à l'Université de Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

J'exprime toute ma gratitude à M. Seghir Rachid, Professeur à l'Université Batna2 ; M. Benharzallah Saber, Professeur à l'Université Batna2 ; Mme. Saighi Asma, Maître de conférences A, à l'Université d'Oum El Bouaghi et M. Moudjari Abdelkader, Maître de conférences A, à l'Université Constantine3; d'avoir accepté de nous honorer par leur présence à mon jury, pour l'intérêt et l'attention qu'ils ont accordé à cette thèse et d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Merci à mes parents et ma très chère sœur Sarah qui m'ont offert leur support tout au long de cette épreuve d'endurance.

Je tiens également à remercier tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué de quelque manière que ce soit dans mon cursus d'étude.

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Moi-même, mes parents, mon mari et mes enfants chéris,

Haithem Bey,

Anes Abdelhamid &

Sirine.

# Résumé

---

Le style du raisonnement par analogie qui est généralement utilisé dans le domaine de la législation a une qualité particulière appelée raisonnement à base de cas. Il s'agit de résoudre un nouveau problème en réutilisant la solution d'un problème précédent similaire à celui-ci, stockée dans la mémoire des cas. Dans cette étude, nous nous intéressons à l'application de ce type de raisonnement dans le domaine de la législation islamique comme outil de recherche d'informations pouvant être utilisées dans le domaine de l'émission de fatwas. Et l'utilisation de l'ontologie pour déduire et résoudre le problème de l'inadéquation des mots à l'écrit et de leur congruence morale (portant le même sens ou portant le même jugement).

L'objectif de cette thèse est, de construire un système de raisonnement à partir de cas basé une ontologie de domaine des transactions bancaires islamiques pour l'aide à la décision dans le domaine de la législation islamique. En effet, il s'agit d'un domaine où les questions sont fréquentes et la recherche de réponses reste dans la majeure partie du temps basée sur l'expertise humaine uniquement.

Pour atteindre les objectifs tracés, nous adoptons la méthodologie (NeOn Methodology) pour la construction de notre ontologie du domaine des transactions bancaires islamiques. L'ontologie résultante nommée (IFBO ontology) est partageable et réutilisable publiquement afin de contrôler les connaissances communiquées sémantiquement. Ensuite, nous utilisons le paradigme du raisonnement à base des cas (CBR) pour construire notre système d'aide à la décision.

Le système résultant, baptisé (AFIF 1.0), nous a présenté de bons résultats encourageants et satisfaisants lors de l'opération de récupération des fatwas, notamment en ce qui concerne l'aspect sémantique. L'ontologie développée nous a donc apporté une valeur ajoutée indéniable à l'efficacité globale du système.

**Mots-clés** : Ontologie de domaine, Ontologie d'application, CBR, Système de raisonnement à base de cas, Fatwas, Finance islamique.

# Abstract

---

The analogy reasoning mode, naturally used in the legal domain, possesses a variant, called case-based reasoning (CBR). It consists in solving a new problem by reusing the solution of a similar problem already met, and stored in a memory of cases. In this study, we are interested in applying this style of reasoning in the Islamic legislation field as a tool for information retrieval, which can be used during the process of Fatwa generation. This ontology will be used for inference through a CBR system and for solving the problem of the mismatch of words in writing and their congruence morally (carrying the same meaning or carrying the same ruling).

The aim of this thesis is, to build a case-based reasoning system supported by an ontology of Islamic banking transactions for decision assist in the field of Islamic legislation. Indeed, this is an area where questions are frequent and the search for answers remains in most of the time based on human expertise only.

To achieve the stated objectives, we adopt the methodology (NeOn Methodology) for building an ontology related to the field of Islamic banking transactions. The resulting ontology, called IFBO ontology, is publicly shareable and reusable in order to control semantically communicated knowledge.

The resulting system, named AFIF 1.0, presented us with encouraging and satisfactory results during the fatwas retrieval operation, especially with regard to the semantic aspect. The developed ontology therefore brought us undeniable an added value to the overall efficiency of the system.

**Keywords:** Domain ontology, Application ontology, Case-based reasoning system, Fatwas, Islamic finance.

# ملخص

ان نمط التفكير بالتطابق والمستعمل عموماً في مجال التشريع لديه نوعية خاصة تسمى التفكير بالحالات. وهو عبارة عن حل مسألة جديدة بإعادة استعمال حل مسألة سابقة مشابهة لها، مخزنة في ذاكرة الحالات. وفي هذه الدراسة، يهمننا أن نطبق هذا النمط من التفكير في مجال التشريع الإسلامي كأداة للبحث عن المعلومات الممكن استعمالها في ميدان إصدار الفتاوى. واستعمال الأنطولوجيا للاستدلال وحل مشكل عدم تطابق الكلمات كتابيا وتطابقها معنويا (تحمل نفس المعنى او تحمل نفس الحكم).

الهدف من هذه الأطروحة هو بناء نظام التفكير القائم على الحالة (CBR) يستند على أنطولوجيا المجال للمعاملات المصرفية الإسلامية من أجل المساعدة في اتخاذ القرار في مجال التشريع الإسلامي. أين تتكرر الأسئلة بكثرة ويظل البحث عن الإجابات في معظمه قائماً على الخبرة البشرية وحدها.

لتحقيق هذه الأهداف، نعتمد المنهجية (NeOn Methodology) لبناء الأنطولوجيا الخاصة بنا في مجال المعاملات المصرفية الإسلامية. الأنطولوجيا الناتجة المسماة (IFBO ontology) قابلة للمشاركة وإعادة الاستخدام. بعد ذلك، نستخدم نموذج التفكير القائم على الحالة (CBR) لبناء نظام المساعدة في اتخاذ القرار الخاص بنا.

النظام الناتج المسمى (AFIF 1.0) قدم لنا نتائج جيدة ومشجعة ومرضية خلال عملية استعادة الفتاوى، خاصة فيما يتعلق بالجانب الدلالي. وبالتالي، جلبت لنا الأنطولوجيا المقترحة قيمة مضافة جلية إلى الكفاءة الكلية للنظام.

**الكلمات المفتاحية:** أنطولوجيا المجال، الأنطولوجيا التطبيقية، نظام التفكير القائم على الحالة، الفتاوى، التمويل الإسلامي.

## Table des matières

<b>Introduction Générale</b> .....	01
1. Contexte de l'étude et problématique.....	01
2. Objectifs et contributions .....	03
3. Plan du document.....	05
<b>Partie I : Concepts de base et état de l'art</b> .....	06
<b>Chapitre 1: Le Raisonnement Basé Cas (CBR)</b> .....	07
1. Introduction.....	07
2. Qu'est-ce que le CBR? .....	08
3. Cycle du CBR .....	09
4. Concepts de base.....	11
4.1. Le Cas .....	11
4.2. La Base de Cas .....	15
5. Méthodes de construction des systèmes CBR .....	16
5.1. Conception de la Base de cas .....	16
5.2. Développement initial de la Base de cas .....	16
5.3. Développement continu et maintenance.....	16
6. Avantages et inconvénients .....	17
7. Conclusion .....	17
<b>Chapitre 2 : Ontologies</b> .....	18
1. Introduction.....	18
2. Qu'est-ce qu'une Ontologies ?.....	19
3. Définitions.....	19

4.	Pourquoi développer une ontologie ? .....	20
5.	Composants d'une ontologie .....	21
5.1.	Classes ou Concepts .....	21
5.2.	Relations .....	21
5.3.	Fonctions .....	21
5.4.	Axiomes.....	22
5.5.	Instances .....	22
6.	Familles d'ontologies.....	22
6.1.	Objets modélisés.....	22
6.2.	Degré d'expressivité .....	23
6.3.	Degré de granularité .....	23
6.4.	Degré de formalisation .....	24
6.5.	Méthodologies de construction d'ontologies.....	24
6.6.	Processus de construction d'ontologies .....	26
7.	Comment fonctionnent les ontologies? .....	27
8.	Langages de spécification d'ontologies .....	28
9.	Conclusion.....	30
	<b>Chapitre 3 : Aperçu sur Législation et Finance Islamique .....</b>	<b>31</b>
1.	Introduction.....	31
2.	Domaine d'étude .....	32
2.1.	La législation islamique .....	32
2.2.	La finance islamique .....	33
3.	Sources de législation dans la finance islamique .....	34
4.	Les systèmes CBR pour la législation islamique existants .....	35
4.1.	El Bayen.....	35

4.2.	Fatwas QA système .....	37
4.3.	Al Usouly .....	38
5.	Les systèmes CBR basé Ontologies .....	39
5.1.	jCOLIBRI.....	39
5.2.	COBRA .....	39
6.	Conclusion .....	40
<b>Partie II : Contributions .....</b>		<b>41</b>
<b>Chapitre 4 : Construction d'une Ontologie de Domaine pour la Finance Islamique .....</b>		<b>42</b>
1.	Introduction.....	42
2.	Ressources de connaissances pour la finance islamique .....	43
2.1.	Ressources ontologiques.....	43
2.2.	Ressources non ontologiques.....	45
3.	Approche suivi pour la construction de l'ontologie .....	45
4.	Description détaillée de la démarche de construction de « IFBO» .....	47
4.1.	Spécification des besoins .....	47
4.2.	La conceptualisation .....	52
5.	Formalisation .....	61
5.1.	Représentation de la partie terminologique (T-box).....	61
5.2.	Représentation de la partie assertionnelle (A_box).....	63
6.	Implémentation .....	64
7.	Conclusion.....	67

<b>Chapitre 5: Création d'un System de Raisonnement à base des cas pour l'aide à la décision</b> .....	69
1. Introduction.....	70
2. Objectifs du Système CBR pour la Fatwa .....	71
3. Approche proposée .....	71
3.1. Représentation de connaissance.....	72
3.1.1.Représentation de cas.....	72
3.1.2.La base des cas (mémoire des cas) .....	74
3.1.3.Ontologie d'application support au système (similarité sémantique) .....	74
4. Architecture proposée pour le système.....	76
5. Les composants du système .....	77
5.1. Le cycle d'inférence .....	77
5.1.1. Module de récupération.....	77
5.1.2. Adaptation Module.....	79
5.1.2.1. La Base de règles.....	79
5.1.2.2. Algorithme d'Adaptation.....	80
5.1.3. Module d'apprentissage et d'évaluation .....	81
6. Interfaces du système .....	81
7. Conclusion .....	85
<b>Conclusion générale et perspectives</b> .....	88
<b>Productions scientifique</b> .....	89
<b>Références bibliographique</b> .....	90

# Liste des figures

---

FIGURE 1.1. CYCLE CBR PROPOSE PAR (AAMODT & PLAZA, 1994) .....	10
FIGURE 1.2. DIFFERENTES STRUCTURES D'UN CAS (BEGUM & MÄLARDALENS HÖGSKOLA, 2011) .....	12
FIGURE 1.3. LA PARTIE PROBLEME D'UN CAS (BEGUM & MÄLARDALENS HÖGSKOLA, 2011) .....	12
FIGURE 1.4. LA PARTIE SOLUTION D'UN CAS (BEGUM & MÄLARDALENS HÖGSKOLA, 2011) .....	12
FIGURE 1.5. EXEMPLE DE CAS POUR LE MODELE CONVERSATIONNEL (LAMONTAGNE & LAPALME, 2002) .....	14
FIGURE 1.6. STRUCTURATION TEXTUELLE ("FREQUENTLY-ASKED QUESTIONS")(LAMONTAGNE & LAPALME, 2002) .....	15
FIGURE 2.1. SCENARIOS POUR LA CONSTRUCTION DES ONTOLOGIES (SUAREZ-FIGUEROA ET AL., 2012) .....	26
FIGURE 4.1: SCENARIO 2 « NeON METHODOLOGY » ADAPTE DE (SUAREZ-FIGUEROA ET AL., 2015)..	46
FIGURE 4.2: ARBRE DE CLASSIFICATION DU CONCEPT « FONDAMENTAUX DE LA SHARIAH » .....	54
FIGURE 4.3: MODELE CONCEPTUEL UML POUR LE CONCEPT FINANCE ISLAMIQUE DE L'ONTOLOGIE «IFBO» .....	55
FIGURE 4.4: METRIQUES D'ONTOLOGIE .....	65
FIGURE 4.5: ARBRE DE CLASSIFICATION DES ATTRIBUTS .....	65
FIGURE 4.6: EXEMPLE DU CONCEPT WAKALAH IMPLEMENTE EN PROTEGE .....	66
FIGURE 4.7: INTERROGATION D'IFBO EN UTILISANT SPARQL .....	66
FIGURE 4.8: EXEMPLE D'INTERROGATION DE L'ONTOLOGIE IFBO EN UTILISANT SPARQL .....	67
FIGURE 5.1: DESCRIPTION D'UN CAS .....	73
FIGURE 5.2: ISLAMIQUE FINANCE ET BANQUE APPLICATION ONTOLOGIE (IFAO) .....	76
FIGURE 5.3: L'ARCHITECTURE DU SYSTEME CBR .....	77
FIGURE 5.4. LE MENU PRINCIPAL .....	82
FIGURE 5.5. LA FORME DES QUESTIONS .....	83
FIGURE 5.6. LA FORME DES RESPONSES .....	83
FIGURE 5.7. LA FORME DES CAS SIMILAIRE .....	83
FIGURE 5.8. MENU ADMINISTRATEUR .....	84
FIGURE 5.9. EXPERT MUFTI MENU .....	84
FIGURE 5.10. INTRODUIRE LES REponses .....	85
FIGURE 5.11. RESPONSE ADJUSTEE .....	85

# Liste des tableaux

---

TABLEAU 0.1: TABLE RECAPITULATIF DES SYSTEMES LEGISLATIFS EXISTANTS .....	3
TABLEAU 4.1: ORSD DE L'ONTOLOGIE « ECAO », SLOT 1 A 5 .....	48
TABLEAU 4.2: QUESTIONS DES COMPETENCES DE L'ONTOLOGIE IFBO .....	49
TABLEAU 4.3: ORSD DE L'ONTOLOGIE « ECAO », SLOT 7 .....	51
TABLEAU 4.4: DICTIONNAIRE DE DONNEES .....	52
TABLEAU 4.5: TABLE DES RELATIONS BINAIRES DE L'ONTOLOGIE.....	57
TABLEAU 4.6: TABLE DES ATTRIBUTS DES CONCEPTS. ....	57
TABLEAU 4.7: TABLE DES AXIOMES DE CONCEPTS. ....	58
TABLEAU 4.8: TABLE DES INSTANCES DE CONCEPTS DE L'ONTOLOGIE .....	60
TABLEAU 4.9: DEFINITIONS DES CONCEPTS DE L'ONTOLOGIE « IFBO » (DANS TBOX) .....	61
TABLEAU 4.10: DEFINITIONS DES ROLES DE L'ONTOLOGIE « IFBO » (DANS TBOX).....	62
TABLEAU 4.11: DESCRIPTION ASSERTIONNELLE DES CONCEPTS. ....	63
TABLEAU 4.12: DESCRIPTION ASSERTIONNELLE DES RELATIONS .....	63
TABLEAU 5.1: TRANSCRIPT LE MODULE CONTRATS A LA LANGUE ARABE .....	75
TABLEAU 5.2: EXEMPLE DES MODULES " ACTION ET BENEFICE" .....	76
TABLEAU 5.3: LA BASE DE REGLES .....	79

---

# Introduction Générale

---

## 1. Contexte de l'étude et problématique

L'objectif de l'intelligence artificielle consiste à permettre à un ordinateur de reproduire le raisonnement humain. Avec la progression de la puissance de calcul et de la mémoire des machines modernes, il est devenu clair que ces ressources ne suffiraient pas, à elles seules, pour conférer l'intelligence à cet assemblage de puces électroniques, aussi sophistiqué soit-il. Plusieurs techniques ont vu le jour pour tenter de rendre l'ordinateur plus intelligent, notamment les systèmes de raisonnement à base des cas. Malheureusement, cette approche nécessite un expert connaissant le domaine et voire même des vocabulaires communiqués (problème d'ambiguïté et hétérogénéité). Un élément qui n'est pas couvert par les systèmes CBR. Afin de permettre l'apprentissage, il nous faut une méthode de raisonnement plus proche de celle de l'être humain afin de reproduire l'intelligence humaine au sein d'une machine.

De nos jours, il existe une utilisation croissante des ontologies dans de nombreux domaines d'application. Ces ontologies assurent l'aspect sémantique (résoudre les problèmes des synonymes, d'ambiguïtés, et d'hétérogénéité), répondent aux problèmes de représentation et de manipulation des connaissances.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à la construction d'une ontologie de domaine pour l'aide à la décision dans le domaine de la législation islamique, en l'occurrence, les transactions bancaires. En effet, il s'agit là d'un domaine où les questions sont de plus en plus fréquentes et dont l'intérêt est grandissant notamment depuis le quasi effondrement de l'économie mondiale alors même que les finances islamiques sont restées en bonne santé. Cette ontologie servira par la suite pour l'inférence dans ce domaine afin d'assister le législateur (El Mufti) dans sa démarche de génération de Fatwa et de construction de l'argumentaire accompagnant la Fatwa (El-Isnad). Il s'agit là d'une inférence dans un style interprétatif et non de résolution de problème.

La problématique abordée portera sur un domaine d'application inédit qu'est la génération de Fatwa dans les transactions bancaires et suivra une méthodologie assez peu utilisée, en l'occurrence la construction d'ontologie pour un système de raisonnement à base des cas (CBR). Ce dernier (CBR) consiste à réutiliser des solutions des anciennes expériences traitées et résolues (anciens cas) pour un nouveau problème similaire (nouveau cas). Le nouveau cas appelé cas cible et les anciens cas appelés cas sources (l'ensemble des expériences passées).

Notre travail s'insère sur cette approche (raisonnement à base des cas) fondée sur le partage et la réutilisation des expériences passées face aux requêtes destinées aux Muftis (les législateurs). En effet, il s'agit là d'un domaine où les questions (demandes de fatwas) sont fréquentes et la recherche des réponses reste dans la majeure partie du temps basée sur l'expertise humaine uniquement.

Dans la législation islamique, une fatwa consiste en la déclaration d'un avis juridique en accord avec les préceptes islamiques. Une fatwa est une déclaration juridique en islam, générée par un Mufti, sur une question spécifique. Les Fatwas sont demandées par des Muftis ou des particuliers. Ils sont nécessaires dans les cas où un problème de Fiqh est indécis ou douteux. Les poursuites peuvent être réglées sur la base d'une fatwa (Ghazali, 2000).

La finance islamique doit être compatible et conforme avec les principes de la charia exigée par le client musulman. Le conseil de la charia de la finance islamique est créé pour cet objectif ; il étudie la compatibilité de chaque produit avec la charia, mais certains établissements ne sont pas disciplinés avec les instructions du conseil de la charia, en raison des restrictions de certains pays. Le respect des règles de la charia varie donc d'une banque à l'autre et d'un pays à l'autre; cela amène les gens à avoir peur de ces produits, et pour chaque produit, ils demandent à l'Imam s'il est Halal ou non. L'Imam, qui n'est pas spécialisé dans la finance islamique et le domaine bancaire, va faire face à l'une de ces deux situations:

- La première situation : envoyer la requête à l'expert Mufti (qui est certifié pour donner de la Fatwa et spécialisé dans le domaine).
- La deuxième situation: essayer de donner sa propre fatwa. Et comme il n'est pas spécialisé dans le domaine, cette fatwa peut être erronée.

Il s'agit d'un domaine très important à étudier et à contribuer en construisant des bases de connaissances (ontologiques ou bases des cas ou même des bases de données) ouvertes et réutilisables, en développant des systèmes (experts, d'information ou autres) permettant de faciliter la tâche des Muftis dans les différents domaines de la législation islamique.

## **2. Objectifs et contributions**

Très peu de travaux de recherche menés dans ce domaine. Pour les ontologies, il n'y a aucune (il y a des ontologies pour la finance traditionnelle mais aucune pour la finance Islamique), et pour les systèmes de fatwas il y en a deux principaux systèmes : le premier système proposé se retourne à l'équipe de recherche de l'université de Badji Mokhtar (Nouaouria et al. 2006) et (Amari et al. 2015) ; le deuxième système est celui d'une équipe de

recherche en Egypte, conçu spécialement pour El Azhar dar el fatwa. Nous pouvons résumer leurs travaux de recherche dans le tableau comparatif en dessous:

**Tableau 0.1: Table récapitulatif des systèmes législatifs existants**

Auteurs et année	Système proposé	Objectif	Domaine étudié	Paradigme utilisé	Analyse sémantique
Nouaouria et al. 2006	El Bayane	Répondre à la nouvelle question posée en se basant sur les questions déjà résolus	Limité à la législation Islamique des boissons	CBR	Non
Amari et al. 2015	Intelligent tool for Mufti Assistance	Répondre à la nouvelle question posée en se basant sur les questions déjà résolus	Limité à la législation Islamique des boissons	CBR	Non
Elhalwany et al. 2015	Intelligent system for <i>Fatwa</i> QR	Répondre à la nouvelle question posée en se basant sur les questions déjà résolus	Domaine ouvert	TCBR	Non
Elhalwany et al. 2014	Amélioration apportée au framework SOPHIA Textual Case-based Reasoning (Intelligent System for <i>Fatwa</i> QR)	Répondre à la nouvelle question posée en se basant sur les questions déjà résolus	Domaine ouvert	TCBR	Non
Salisu et Hassan 2020	Etude théorique (pas de système proposé)	Revue de la littérature sur les Frameworks liés à la conformité des institutions de finance islamique à la Shariah	Finance et Banque Islamique	Rien	Non

Il est clair que les deux équipes des chercheurs, ont utilisé le paradigme de raisonnement à base de cas. Certainement, cela est un avantage étant donné que ce paradigme est similaire au raisonnement humain. Néanmoins, l'aspect sémantique n'est pas pris en charge par ces deux systèmes. Ce point représente en fait un inconvénient majeur car dans la phase de recherche, la similarité textuelle n'est pas suffisante dans des systèmes pareils où rentrent les concepts linguistiques, d'où l'importance de la similarité sémantique. Cette dernière est généralement assurée par les ontologies.

L'objectif principal de cette thèse consiste à construire une ontologie pour le domaine de la législation islamique, en l'occurrence, les transactions bancaires. Cette ontologie servira par la suite pour l'inférence dans ce domaine en développant un système basé sur le CBR

permettant le stockage, la recherche, la récupération, la réutilisation et le partage des fatwas afin de :

- Supporter le législateur (El Mufti) dans sa démarche de génération de Fatwa et de construction de l'argumentaire accompagnant la Fatwa (El-Isnad).
- Partager les connaissances et l'expertise humaine dans ce domaine.
- Satisfaire le grand nombre de requêtes posées quotidiennement à l'expert Mufti en imitant sa tâche.
- Inciter l'utilisateur à dispenser d'envoyer sa question (demande de fatwa), s'il trouve une question à laquelle il a été déjà répondu.
- diminuer le grand nombre de fatwas reçus quotidiennement.
- Se débarrasser du chaos de fatwas où chaque Mufti donne son avis personnel concernant une question donnée, ce qui mène à la contradiction.
- Préparer le terrain pour Dar al-Ifta' en Algérie en développant des outils informatiques qui facilitent la tâche des Eulémas.

Nos contributions portent sur deux volets majeurs :

- **Premièrement** : nous construisons une ontologie du domaine des transactions bancaires islamiques pour modéliser les connaissances du domaine. Cette ontologie permettra d'offrir une représentation à la fois exhaustive et détaillée sur le domaine considéré. Elle permettra ainsi, d'assurer le contrôle sémantique du vocabulaire communiqué et de faciliter le partage des connaissances.
- **Deuxièmement** : nous développons un système de raisonnement à base de cas (CBR) supporté par l'ontologie construite dans la première phase afin d'assurer le contrôle sémantique du vocabulaire. L'objectif est d'assister le Mufti dans sa démarche de génération de fatwa dans le domaine de la finance islamique. Nous proposons aussi une architecture au système dont l'élément crucial est l'ontologie. Puis, un algorithme qui permet de mesurer la similarité à partir de l'ontologie construite est désigné.

### **3. Plan du document**

Cette thèse est divisée en deux parties principales : la première présente les concepts de base et l'état de l'art tandis que la seconde partie détaille nos principales contributions, précédées par une introduction générale et suivies d'une conclusion générale. La première partie est

structurée en trois chapitres ; la deuxième partie est structurée en deux chapitres, abordant chacun un niveau de description différent.

L'introduction générale présente le contexte de l'étude, la problématique de recherche abordée et enfin les objectifs et contributions issues de nos travaux.

La partie 1, aborde les fondements théoriques des paradigmes et méthodologies sous-jacents à cette thèse suivie par le domaine d'application. Le chapitre 1 porte sur le raisonnement basé cas ainsi que ses avantages et ses inconvénients. Le chapitre 2, porte sur le concept d'ontologie, en particulier les définitions, langages et méthodologies. Le chapitre 3, présente un aperçu sur la législation islamique, la finance islamique et les systèmes de fatwas existants.

La partie 2, est réservée à la présentation de nos principales contributions. On retrouve dans cette partie, le chapitre 4, dans lequel nous construisons une ontologie de domaine selon la méthodologie NeOn Methodology. Et dans le chapitre 5, nous construisons un système CBR tout en proposant une architecture et des algorithmes appropriés. Nous représentons également ses différents cycles, ses composants et ses interfaces graphiques (captures d'écran). Enfin, nous terminons notre thèse par une conclusion générale.

---

## **Partie I : Concepts de base et état de l'art**

# Chapitre 1: Le Raisonnement Basé Cas (CBR)

---

Dans ce chapitre nous présentons un état de l'art sur des travaux de recherche menés dans le raisonnement à base de cas

## Sommaire

---

1.	Introduction .....	07
2.	Qu'est-ce que le CBR? .....	08
3.	Cycle du CBR.....	09
4.	Concepts de base .....	11
4.1.	Le Cas.....	11
4.2.	La Base de Cas .....	15
5.	Méthodes de construction des systèmes CBR.....	16
5.1.	Conception de la Base de cas .....	16
5.2.	Développement initial de la Base de cas .....	16
5.3.	Développement continu et maintenance.....	16
6.	Avantages et inconvénients .....	17
7.	Conclusion.....	17

---

## 1. Introduction

Le raisonnement à base de connaissances est un mode de raisonnement qui s'appuie sur des connaissances relatives à un domaine particulier afin de résoudre des problèmes qui se posent dans ce domaine. Ces connaissances sont issues des connaissances des experts du domaine et elles sont stockées dans une base de connaissances sous un format exploitable (Ber et al., 2006).

Parmi les types de raisonnements existants, nous nous intéressons plus particulièrement au raisonnement à base de cas (CBR). Le CBR est une approche de résolution des problèmes basée sur la recherche et l'adaptation de cas. Un système CBR utilise un ou plusieurs cas déjà rencontrés pour le traitement d'un nouveau cas qui se présente. L'ensemble des cas disponibles

est emmagasiné dans une base de connaissances (Nouaouria, 2013). Le CBR fait l'objet de notre étude. L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu général de ce mode de résolution de problème.

## 2. Qu'est-ce que le CBR?

Le CBR est un paradigme de raisonnement qui consiste à interpréter un nouveau problème en le comparant avec des problèmes similaires rencontrés et résolus dans le passé (Al Sun, 2012)<sup>1</sup>. Il s'agit d'un paradigme florissant pour le raisonnement et l'apprentissage en intelligence artificielle (Leake, 2003). Le CBR se base sur l'utilisation des anciennes expériences pour comprendre et résoudre de nouveaux problèmes. Dans ce raisonnement, le raisonneur se souvient une situation antérieure similaire à la situation actuelle et l'utilise pour résoudre de nouveaux problèmes (Nouaouria, 2013).

Ce type de raisonnement simule le raisonnement humain pour la résolution des problèmes de la vie quotidienne. Une personne fait naturellement appel à son expérience et se remémore les situations semblables déjà rencontrées. Elle les compare ensuite à la situation courante afin de construire une nouvelle solution qui, à son tour, s'ajoutera à son expérience (Watson, 1998)<sup>2</sup>.

Selon (Kolodner, 1992; Kolodner & Jona, 2000)<sup>3</sup>, le CBR peut signifier l'adaptation des anciennes solutions pour répondre à de nouvelles demandes; utilisation des cas anciens pour expliquer les nouvelles situations; ou pour critiquer de nouvelles solutions; ou raisonner à partir du précédent pour interpréter une nouvelle situations (comme dans le cas des avocats) ou créer une solution équitable à un nouveau plan (comme dans le cas des médiateurs de travail).

Il existe deux styles du CBR (Kolodner, 1992; Nouaouria, 2013): le style résolution de problème et le style interprétation. Dans la résolution de problèmes, on adapte d'anciennes solutions à de nouveaux problèmes: les anciennes solutions peuvent fournir des solutions quasi correctes ou prévenir contre des erreurs potentielles et des échecs. Dans le style interprétatif, les cas sont utilisés pour évaluer ou justifier de nouvelles situations, ex : un juriste utilisant des cas précédents comme argument pour classer de nouvelles situations. En style interprétatif, une interprétation de base (ou un résultat désiré) est proposée, parfois basée sur les extraits, parfois imposée par l'extérieur (ex : lorsqu'un client exige de son avocat un certain résultat). Cette étape est suivie par la justification,

---

<sup>1</sup> chercheur en systèmes d'aide à la décision pour le domaine de la médecine

<sup>2</sup> programmeurs des systèmes experts

<sup>3</sup> chercheurs en sciences cognitives

processus de création d'un argument pour la solution proposée; ce qui est réalisé par comparaison et opposition de la nouvelle situation aux cas antérieurs.

Un système CBR utilise un ou plusieurs cas déjà rencontrés pour le traitement d'un nouveau cas qui se présente. L'ensemble des cas disponibles est emmagasiné dans une base de connaissances qui est enrichie chaque fois qu'un nouveau cas est traité. La base de cas (ou base de connaissances de cas) est assimilable à une mémoire qui est organisée de sorte à rendre possible la comparaison entre le nouveau cas et les cas mémorisés (Nouaouria, 2013)<sup>4</sup>. La base de cas doit comporter un nombre important de cas bien structurés et indexés afin de permettre une recherche simple, facile et rapide quand un nouveau cas se présente.

Par ailleurs, notre système d'aide à la décision qui en découlera fonctionnera dans un mode inspiré de la manière naturelle des Muftis. Il s'agit là d'une inférence dans un style interprétatif et non de résolution de problème. Il s'agit de l'analogie (El-Kiass). Et l'adaptation des cas n'est permise que par l'expert Mufti. Le système propose les meilleurs cas aux utilisateurs comme une réponse à la requête posée.

### 3. Cycle du CBR

Le cycle de base du CBR (processus de raisonnement à base de cas) passe par quatre phases "*Retrieve, Reuse, Revise and Retain*". La figure 1.1 illustre ce cycle tel qu'il a été proposé dans (Aamodt & Plaza, 1994)<sup>5</sup>.

**1. Retrieve (la recherche) :** cette phase commence par une description (partielle) du problème et se termine lorsqu'une meilleure correspondance entre les deux cas (nouveau et ancien) a été trouvée. La recherche est une étape très importante dans le processus de raisonnement basé sur les cas (CBR) car c'est la base critique pour le succès du système CBR. Son objectif est de récupérer des cas précieux qui peuvent être utilisés comme références pour résoudre le problème cible (Fei & Feng, 2020). Dans cette phase le système effectue une recherche des cas dans la base de cas afin d'extraire les cas les plus similaires à un cas cible. Si la mémoire de cas est organisée selon une structure particulière, un algorithme de recherche décrit un parcours dans cette structure de mémoire des cas. Les sous tâches de cette phase sont appelés: identification du problème, correspondance initial, recherche et sélection ou filtrage, exécuté dans cet ordre. La tâche d'identification propose essentiellement un ensemble de descripteurs

---

<sup>4</sup> chercheuse en Informatique cognitive

<sup>5</sup> chercheur en Intelligence Artificielle

pertinent du problème. Le but de la tâche de correspondance est de renvoyer un ensemble de cas qui sont suffisamment similaires au nouveau cas, étant donné un certain seuil de similitude. La tâche de sélection ou filtrage fonctionne sur cet ensemble de cas et choisit la meilleure correspondance. La recherche des cas similaires est une phase majeure dans un système CBR où la mise en correspondance entre deux cas joue un rôle vital.

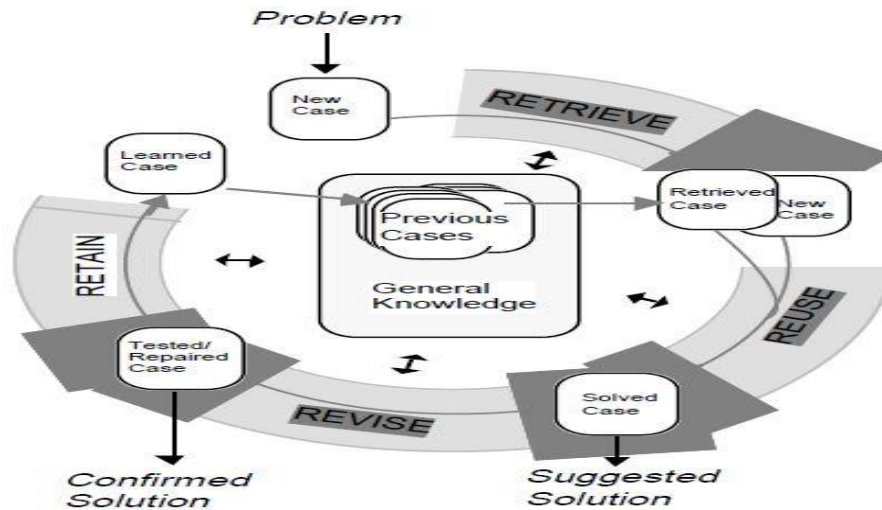


Figure 1.1. Cycle CBR proposé par (Aamodt & Plaza, 1994)

**2. Reuse and Revise (la réutilisation et la révision) :** les cas proposés sont envoyés à l'étape de réutilisation (voir figure 1.1) où la solution d'un cas passé est souvent adaptée afin de trouver une solution au cas cible. Les experts du domaine peuvent faire une adaptation des solutions en combinant deux ou plusieurs solutions de la liste des cas proposés pour développer une solution au problème du cas ciblé. L'expert du domaine détermine si la solution proposée est plausible au problème posé. Il pourrait éventuellement modifier la solution avant qu'elle ne soit approuvée. Ensuite, le cas adapté est envoyé à l'étape de révision où l'exactitude de la solution adaptée est vérifiée manuellement puis présentée comme une solution confirmée pour le nouveau problème (cas cible).

**3. Retain (la mémorisation):** c'est la dernière phase du cycle de CBR. Dans cette phase, le nouveau cas résolu est ajouté à la base des cas afin d'utiliser sa solution à son tour pour résoudre des nouveaux cas similaires qui peuvent se présenter dans le futur au système soit par une requête du même utilisateur ou d'autres utilisateurs.

Il est à noter que la mémorisation du nouveau cas résolu peut être faite soit manuellement ou systématiquement selon la décision de l'expert du domaine. Selon (Nouaouria,

2013), une mémorisation plus sélective est toutefois possible et utiliserait des critères spécifiques pour juger si le nouveau cas est utile à apprendre vis-à-vis de la mémoire de cas courante. Un cas est utile à apprendre si à partir de son contenu et en utilisant les possibilités d'adaptation, on peut atteindre un point de l'espace des solutions qui était inaccessible avant l'arrivée de ce nouveau cas. La mémoire est utilisée pendant deux étapes importantes du cycle du CBR : l'étape de remémoration de l'expérience passée pendant la résolution d'un problème et l'étape d'apprentissage ou de mémorisation de la nouvelle expérience acquise en forme de cas.

Dans (Alsun, 2012), l'auteur montre que l'efficacité d'un tel mode de raisonnement en termes de rapidité, de fiabilité de résultats et de facilité de calcul dépend de plusieurs facteurs: le mode de représentation de connaissances (représentation des cas), les méthodes à utiliser pour calculer le degré de similarité entre deux cas et l'exploitation des cas similaires.

## 4. Concepts de base

### 4.1. Le Cas

La première étape du développement d'un système CBR consiste à déterminer comment formuler un cas. Un cas représente une pièce maîtresse de connaissance et joue un rôle primordial dans le processus du raisonnement des systèmes CBR. Watson a défini un cas comme *"a contextualized piece of knowledge representing an experience"* (Watson, 1997). Donc, les cas peuvent être des instances, des objets ou une partie de la situation d'une expérience passée. Un cas comprend des caractéristiques (attributs) uniques pour décrire un problème; ces caractéristiques sont déterminées à l'avance par le concepteur du système. Selon (Watson, 1997), les cas peuvent être structurées de différentes manières. Pour trouver une solution à un nouveau, les cas peuvent être représentés en utilisant la structure (A) le problème et la solution et (B) les conséquences / résultats. Ces derniers servent à assurer une bonne évaluation du cas cible (le nouveau cas à traiter) (Begum & Mälardalens högskola, 2011) (voir figure 1.2).

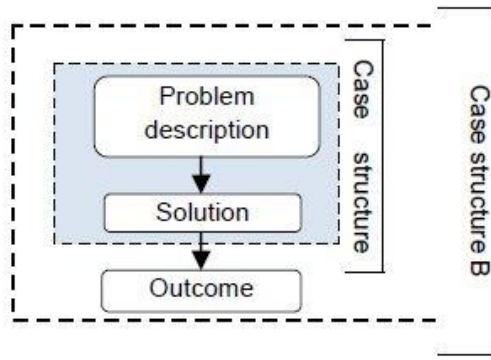


Figure 1.2. Différentes structures d'un cas (Begum & Mälardalens högskola, 2011)

Les deux principaux composants d'un cas sont la partie problème et la solution. (Begum et al, 2011) représente un bon exemple qui montre ces deux composants : une partie problème d'un cas qui contient des caractéristiques et des valeurs (figure 1.3) et la partie solution de ce cas montrée dans la figure 1.4 (Begum & Mälardalens högskola, 2011).

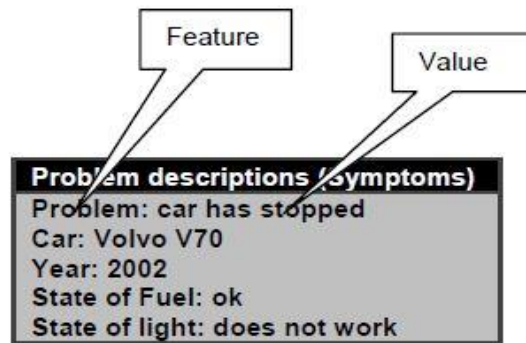


Figure 1.3. La partie problème d'un cas (Begum & Mälardalens högskola, 2011)



Figure 1.4. La partie solution d'un cas (Begum & Mälardalens högskola, 2011)

Schank définit trois types de cas (Nouaouria, 2013) :

- les cas ossifiés assimilables à une règle générale, qui ne sont associés à aucune expérience vécue, les proverbes en sont un exemple,
- les cas paradigmatiques. Ces cas sont moins généraux que les premiers. Ils sont notamment reliés à un ensemble de situations,
- les histoires, qui constituent des cas uniques. Elles sont très détaillées, ce qui les rend exploitables pour diverses utilisations. Elles constituent la base du raisonnement à partir

de cas. Ainsi, une «histoire» est analysée une seule fois, avant la constitution de la base de cas, en fonction de l'objectif du système.

Il existe trois grandes familles de modèles pour le CBR : structurelle, conversationnelle et textuelle (Lamontagne & Lapalme, 2002).

- **Le modèle structurel**, dans ce modèle, toutes les caractéristiques importantes pour décrire un cas sont déterminées à l'avance par le concepteur du système. Ainsi, le concepteur élabore un modèle de données du domaine applicatif. Tel qu'il a été illustré précédemment dans la figure 1.3, les cas sont complètement structurés et sont représentés par des paires (similaire à un "frame" ou à un objet). D'un point de vue applicatif, un attribut représente une caractéristique importante du domaine d'application. Les échelles de valeurs les plus fréquemment utilisées pour structurer les attributs sont les nombres (entiers et réels), les booléens et les symboles. La représentation des cas peut être sur un seul niveau ou sur plusieurs niveaux (hiérarchie d'attributs). La similarité entre deux cas est mesurée en fonction de la distance entre les valeurs de mêmes attributs. Cette distance est fréquemment estimée par les mesures euclidiennes et de Hamming. Comme les attributs d'un cas n'ont pas tous la même importance et que celle-ci varie d'une situation à l'autre, un poids est attribué à chaque attribut de chaque cas. Ces poids permettent de pondérer la similarité globale entre deux cas en accordant un "vote" plus important aux attributs les plus méritants.
- **Le modèle conversationnel**, est une extension du modèle structurel avec des attributs de trois types bien précis : description, questions, actions. Le modèle CCBR repose sur l'interaction entre l'utilisateur et le système (d'où la notion de "conversation") pour définir progressivement le problème à résoudre et pour sélectionner les solutions les plus appropriées (Aha et al., 2001). Un cas conversationnel consiste en trois parties (voir figure 1.5) :
  - un problème P : une brève description textuelle, habituellement de quelques lignes, selon la nature du problème exprimée.
  - une série de questions et de réponses QA : des indices, exprimés sous forme de questions, permettant d'obtenir plus d'information sur la description du problème. Chaque question a un poids représentant son importance par rapport au cas.
  - une action A : une description textuelle de la solution à mettre en œuvre pour ce problème. Cette description n'est pas structurée ("free-text").

<p><i>Cas : 241</i></p> <p><b>Titre :</b> <i>cartouche d'encre endommagée causant des traces noires</i></p> <p><b>Description :</b> <i>l'imprimante laisse de petits points noirs sur les deux côtés de la page. Parfois des larges tâches couvrent également la région à imprimer.</i></p> <p><b>Questions :</b></p> <p><i>Est-ce que les copies sont de mauvaise qualité ? Réponse : oui Score : (-)</i></p> <p><i>Quels types de problèmes avez-vous ? Réponse : trace noires Score : (default)</i></p> <p><i>Est-ce qu'un nettoyage de l'imprimante règle le problème ? Rép : non ...</i></p> <p><b>Actions :</b> <i>vérifier la cartouche d'encre et la remplacer si le niveau d'encre est faible</i></p>
--

**Figure 1.5. Exemple de cas pour le modèle conversationnel (Lamontagne & Lapalme, 2002)**

Le processus de résolution des problèmes dans le CCBR se fait comme suit:

- l'utilisateur fournit au système une brève description textuelle du problème à résoudre.
- le système calcule la similarité entre cette description et la section "problème" des cas.
- le système propose alors à l'utilisateur une série de questions.
- l'utilisateur choisit les questions auxquelles il souhaite répondre.
- le système réévalue la similarité de chacun des cas. Les questions n'ayant pas reçu de réponse sont présentées par ordre décroissant de priorité.
- lorsqu'un des cas atteint un niveau de similarité suffisamment élevé (i.e. qu'il franchit un seuil), le système propose ce cas comme solution. Si aucun cas n'atteint un degré de similarité suffisant et que le système n'a plus de questions à poser à l'utilisateur, le problème est stocké comme étant non-résolu.

Les systèmes CCBR n'effectuent pas d'adaptation des solutions passées. Une des raisons est que la portion 'solutions' des cas n'est pas structurée ("free-text"), ce qui rend difficile la formulation de connaissances d'adaptation.

- **le modèle textuel**, le CBR textuel diffère de l'approche structurale dans laquelle les textes sont tout simplement des chaînes de caractères sans syntaxe ni sémantique. Les TCBR portent sur la résolution de problèmes à partir d'expériences dont la description est contenue dans des documents textuels. Dans cette approche, les cas textuels sont soit non-structurés ou semi-structurés. Ils sont non-structurés si leur description est complètement en "free-text". Ils sont semi-structurés lorsque le texte est découpé en plusieurs portions étiquetées par des descripteurs tels que "problème", "solution", etc. Un cas textuel non-structuré est un cas dont le seul attribut est textuel tandis qu'un cas textuel semi-structuré est un cas dont un sous-ensemble de ses attributs est textuel.

L'approche TCBR ne permet pas de contrôler ni le vocabulaire ni la syntaxe ni sémantique (voir figure 1.6).

**FAQ # : 241**

**Question :** où se transigent les actions ordinaires de BCE ?

**Réponse :** les actions ordinaires de BCE sont négociées aux Bourses de Toronto, New York ainsi qu'à la Bourse de Suisse sous le symbole BCE.

**Figure 1.6. Structuration textuelle (“frequently-asked questions”)(Lamontagne & Lapalme, 2002)**

Dans le cas de notre système nous allons faire une mixture entre le modèle SCBR et CCBR de tel sorte que, la description du problème est structurée; pour pouvoir contrôler le vocabulaire la syntaxe et la sémantique; en proposant des descripteurs du problème à l'avance lors de la conception du système. Tandis que, l'interaction avec l'utilisateur est guidée par une suite de questions et de réponses comme dans le modèle conversationnel, présenté à la section précédente, pour pouvoir mieux analyser le contexte des requêtes.

#### 4.2.La Base de Cas

La base de cas est une source importante des connaissances dans un système CBR. Elle contient les cas déjà résolus dans le passé, structurés et indexés. Cette base peut s'enrichir au fur et à mesure avec des nouveaux cas résolus. Les processus de mémorisation et de remémoration sont fortement liés à la façon d'organiser les cas dans la mémoire (Nouaouria, 2013). Le choix de la structure de mémoire dépend entièrement de la tâche à accomplir, du domaine d'application, et du nombre des cas disponibles. Deux catégories pour l'organisation de la mémoire sont distinguées (J. Kolodner, 1993; Nouaouria, 2013) :

**La mémoire plate :** il s'agit de mémoriser tous les cas dans une liste séquentielle. L'avantage d'une telle structure est que pendant la remémoration, tous les cas existant dans la mémoire sont testés; ceci garantit une remémoration précise qui dépend de la qualité de la fonction d'appariement. De plus, la mémorisation n'est pas coûteuse, il suffit d'ajouter le nouveau cas à la fin du fichier. L'inconvénient majeur est le temps de remémoration qui augmente linéairement avec la taille de la mémoire.

**La mémoire hiérarchique :** quand la mémoire des cas est large, il y a une nécessité d'organiser les cas hiérarchiquement. Cela permet de simplifier la remémoration. Il existe globalement, deux approches pour l'organisation hiérarchique des cas en mémoire : les réseaux à traits ou à caractéristiques partagés et les arbres de discriminations.

## 5. Méthodes de construction des systèmes CBR

Les méthodologies de construction des systèmes CBR partagent les trois phases suivantes (Allen, 1994; Nouaouria, 2013) :

### 5.1. Conception de la Base de cas

La représentation générale des cas, se développe en utilisant les sources de connaissances (documentations, enregistrement de bases de données, des comptes écrits...). Ceci est accompli par une coordination des efforts entre utilisateurs, gestionnaires et concepteurs du système. La conception de la base de cas peut mener à la constitution d'un lexique de termes utilisé pour décrire les caractéristiques du problème, la sélection des caractéristiques appropriées pour l'indexation des cas, la spécification de schémas de bases de données utilisées pour le stockage des cas (ainsi que la définition de standards d'écriture de la base de cas).

### 5.2. Développement initial de la Base de cas

Une base initiale est développée pour fournir les grandes lignes de l'application. Elle sera par la suite, revue en extension par le concepteur et l'utilisateur et itérativement raffinée jusqu'à ce qu'elle couvre une large portion du domaine d'application.

### 5.3. Développement continu et maintenance

La base initiale est utilisée et raffinée à travers les étapes de validation et stockage. Une partie de l'organisation gère la base de cas ainsi que la représentation de cas de la même façon qu'une base de données traditionnelle. Des techniques de contrôle de qualité statistiques peuvent être utilisées pour connaître la précision et l'utilité des cas.

Un environnement typique de développement de CBR fournit : des schémas par défaut de représentation de cas, un flot prédéfini de résolution de problèmes et un support de décisions. Des formats sont utilisés pour l'édition de cas, de caractéristiques et de solutions. Des utilitaires sont fournis pour l'indexation manuelle et automatique, l'importation automatique de cas à partir des enregistrements d'une table de BD relationnelle ainsi que le regroupement conceptuel (conceptual clustering) de cas pour l'analyse et la recherche efficace.

## 6. Avantages et inconvénients

L'approche CBR offre de nombreux avantages. Le CBR est particulièrement bien adapté aux applications dont la tâche est accomplie par des humains expérimentés dans leur domaine et dont les expériences sont disponibles dans une base de données, dans des documents ou chez

un expert humain (Lamontagne & Lapalme, 2002). Les systèmes fondés sur un CBR ne construisent pas des solutions à partir de rien, ils s'appuient sur des cas déjà traités au passé. Ils commencent avec très peu de connaissances et ils sont capables d'apprendre et de s'améliorer avec chaque nouveau cas traité.

Pour toutes ces raisons, le CBR est considéré comme un puissant paradigme de raisonnement facile à mettre en œuvre. Cependant, malgré ces avantages, le CBR souffre de quelques problèmes. Selon Amélie Cordier et al (Cordier et al, 2009) dans un CBR, les cas sont souvent considérés comme une structure figée qui n'est généralement pas conçue pour évoluer. Par ailleurs, si l'on souhaite faire évoluer la représentation d'une expérience, les contraintes de la structure de cas nous limitent. Ce manque de flexibilité de la représentation des connaissances est sans aucun doute une véritable limite du CBR.

## **7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art sur le raisonnement à base de cas. Nous avons montré que ce type de raisonnement se base sur les connaissances des experts du domaine et qu'il emploie un mécanisme de raisonnement plus ou moins proche du raisonnement humain. Nous avons cité des avantages et des inconvénients et quelques travaux de recherches liés à ces modes de raisonnement.

# Chapitre 2 : Ontologies

---

Dans ce chapitre nous présentons un état de l'art sur des travaux de recherche menés dans le domaine des ontologies.

## Sommaire

---

1.	Introduction .....	18
2.	Qu'est ce qu'une Ontologies .....	19
3.	Définitions .....	19
4.	Pourquoi développer une ontologie ? .....	20
5.	Composants d'une ontologie .....	21
5.1.	Classes ou Concepts .....	21
5.2.	Relations .....	21
5.3.	Fonctions .....	21
5.4.	Axiomes .....	22
5.5.	Instances .....	22
6.	Familles d'ontologies .....	22
6.1.	Objets modélisés .....	22
6.2.	Degré d'expressivité .....	23
6.3.	Degré de granularité .....	23
6.4.	Degré de formalisation .....	24
6.5.	Méthodologies de construction d'ontologies .....	24
6.6.	Processus de construction d'ontologies .....	26
7.	Comment fonctionnent les ontologies? .....	27
8.	Langages de spécification d'ontologies .....	28
9.	Conclusion .....	30

---

## 1. Introduction

Les ontologies, structures de connaissances dont l'idée remonte à Aristote, représentent un moyen d'expression, de partage, de mutualisation et de réutilisation des connaissances. Elles sont idéalement utilisables à la fois par les machines et par les humains (Mondary, 2011). L'utilité des ontologies est maintenant reconnue, notamment au sein de la mouvance du web sémantique. Toutefois, leur élaboration reste une tâche fastidieuse et complexe qui requiert à la fois une expertise du domaine que l'on souhaite modéliser et des connaissances en modélisation.

## 2. Qu'est-ce qu'une Ontologies ?

*Ontologie* est un terme de philosophie qui signifie «doctrine ou théorie de l'être en tant qu'être<sup>1</sup>». Le mot ontologie, introduit aux alentours du XVIIe siècle, est plus récent que la discipline qu'il désigne. Cette discipline fut étudiée par les Grecs. Bien plus tard, l'informatique a repris ce terme pour désigner une hiérarchie de concepts organisés par des relations de subsomption. L'histoire de l'ontologie en informatique prend racine dans les recherches menées en logique, en intelligence artificielle et en sciences cognitives. Le terme ontologie a été employé pour la première fois dans le domaine de l'informatique en 1980 par John McCarthy. Ce dernier affirmait que « les personnes qui concevaient des systèmes en intelligence artificielle devraient au préalable lister les éléments qui existent dans le monde, produisant de fait une *ontologie* de notre monde » (Smith & Welty, 2001).

## 3. Définitions

Les Ontologies sont des formalisations logiques, structurées et relativement exhaustives des connaissances pour un domaine donné et réalisées en fonction d'un usage spécifique. Une ontologie informatique est créée afin de faciliter le partage et la réutilisation des connaissances par l'homme et par la machine.

Plusieurs auteurs ont tenté de donner une définition de l'ontologie. La plus connue est celle de (Gruber, 1993) : « une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation ». Cette définition est cependant trop vague et trop générique (Smith & Welty, 2001). Elle a été étendue par (Borst, 1997) : « une ontologie est une spécification formelle d'une conceptualisation partagée ».

En 1997, Guarino accentue l'ambiguïté du terme conceptualisation qui doit être pris dans son sens intuitif « les ontologies sont des spécifications partielles et formelles d'une conceptualisation commune » (Guarino, 1997). La spécification des ontologies est partielle, car une conceptualisation ne peut pas toujours être entièrement formalisée dans un cadre logique, du fait d'ambiguïtés ou du fait qu'aucune représentation de leur sémantique n'existe dans le langage de représentation d'ontologies choisi. « Commune » renvoie à l'idée qu'une ontologie

---

<sup>1</sup>. D'après l'Encyclopædia Universalis.

rend compte d'un savoir consensuel, c'est-à-dire qu'elle n'est pas l'objet d'un individu, mais qu'elle est reconnue par un groupe.

Puis par (Studer et al, 1998) : « Une ontologie est une spécification formelle, explicite d'une conceptualisation partagée ». Une discussion complète de la signification des termes de cette définition est proposée en introduction de (Staab & Studer, 2009). Nous en retiendrons qu'une conceptualisation « est une vue abstraite et simplifiée du monde que l'on souhaite représenter dans un but donné », qu'une spécification formelle explicite est la transposition de la conceptualisation dans un langage qui soit utilisable par une machine et enfin que la notion de partage renvoie à une notion de compromis dans la modélisation. Et pour mieux expliquer :

- Une conceptualisation est une représentation abstraite d'un univers par un choix de concepts et leurs relations. Elle est indépendante du vocabulaire utilisé et de situations particulières.
- Partagée : l'ontologie représente la connaissance consensuelle d'un groupe de personnes. l'ontologie fixe la limite de ce que la communauté se reconnaît en commun.
- Formelle : l'ontologie est interprétable par un ordinateur, en respectant la sémantique qu'y met l'humain.
- Explicite : une représentation externe à l'ordinateur et à l'humain.

Pour conclure cette section, nous pouvons donc affirmer que les définitions du terme ontologie débordent dans la littérature scientifique. Les définitions, dans leur diversité, offrent des points de vue à la fois différents et complémentaires sur un même concept.

#### 4. Pourquoi développer une ontologie ?

Une ontologie définit un vocabulaire commun pour les chercheurs qui ont besoin de partager l'information dans un domaine. Elle inclut des définitions lisibles en machine, de concepts de base de domaine et leur relation (Noy & McGuinness, 2001); en voici quelques raisons pour développer une ontologie :

- Partager la compréhension commune de la structure de l'information entre personnes, on les fabricants des logiciels.
- Permettre la réutilisation du savoir sur un domaine.
- Expliciter ce qui est considéré comme implicite sur un domaine.

- Distinguer le savoir sur un domaine du savoir opérationnel.
- Analyser le savoir sur un domaine.

## 5. Composants d'une ontologie

La connaissance dans les ontologies est principalement formalisée en utilisant les cinq types de composants : classes (ou concepts), relations entre concepts, fonctions, axiomes et instances (Gruber, 1993).

### 5.1. Classes ou Concepts

Les connaissances portent sur des objets auxquels on fait référence à travers des concepts qui sont habituellement organisés sous forme hiérarchisée dans l'ontologie. Un concept peut représenter un objet matériel, une notion, une idée (Uschold & King, 1995).

### 5.2. Relations

Représentent un type d'interaction entre les concepts du domaine. Elles lient les concepts primitifs (ou simples) entre eux pour construire des représentations conceptuelles complexes. Elles sont formellement définies comme n'importe quel sous ensemble d'un produit de n-ensembles :  $R$  dans  $C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$ . Les principales relations de modélisation d'une ontologie sont : « instance-de », « sorte-de », « appartenance-a », « dépendance » et « subsumption (is-a) ». Cette dernière est implicite et a un statut particulier car elle définit un lien de généralisation qui structure la hiérarchie ontologique (Guarino & Giaretta, 1995).

### 5.3. Fonctions

Cas spécial de relations dans lesquelles le n-ième élément de la relation est unique pour les n - 1 éléments précédents. Formellement, des fonctions sont définies comme :

$$F : C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n.$$

## 5.4. Axiomes

Utilisés pour modéliser les phrases qui sont toujours vraies. Ils peuvent être inclus dans une ontologie pour plusieurs buts, tels que définir la signification de composants d'ontologie, définir les contraintes complexes sur les valeurs des attributs, les arguments de relations, etc., vérifier l'exactitude d'informations indiquées dans l'ontologie ou déduire une nouvelle information.

## 5.5. Instances

Instances d'un concept sont utilisées pour représenter les éléments spécifiques, singuliers. Par exemple: base de données est une instance du concept module.

## 6. Familles d'ontologies

Une fois que les premières ontologies furent construites, des chercheurs ont commencé à vouloir définir des catégories qui permettraient de les caractériser. On a vu ainsi émerger différents axes de classification des ontologies. Ontologies regroupées selon : les objets modélisés, le degré d'expressivité, le degré de granularité et le degré de formalisme.

### 6.1. Objets modélisés

Les ontologies ont été regroupées dans (Guarino, 1998), en se basant sur les objets modélisés par l'ontologie afin de répondre à un but précis :

- **Ontologies de haut niveau** : dites aussi ontologies «*fondationnelles*», «*superieur* » (Guarino, 1998). Elles sont universelles, réutilisables et *référéncable* à partir des concepts des autres niveaux d'ontologies. Elles visent à présenter les concepts de sens commun. Ex: OpenCyc<sup>2</sup>est une ontologie de haut niveau à vocation encyclopédique issue du projet Cyc<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup><http://www.opencyc.org/> Cyc: contient des connaissances de sens communs.

<sup>3</sup><http://www.cyc.com>

- **Ontologies du domaine** : les ontologies du domaine sont plus spécifiques. Elles cherchent, comme leur nom l'indique, à modéliser les connaissances d'un domaine particulier, comme la médecine par exemple.
- **Ontologie de tâche** : les ontologies de tâche utilisées pour conceptualiser des tâches spécifiques dans les systèmes, telles que les tâches de diagnostic, de planification, de conception, de configuration, de tutorat. Soit tout ce qui concerne la résolution de problèmes. Ce type d'ontologies décrit le vocabulaire concernant une tâche générique (ex : enseigner, diagnostiquer, ...), notamment en spécialisant les concepts d'une ontologie de haut niveau (Guarino, 1998). Certains auteurs emploient le nom « ontologie du domaine de la tâche » pour faire référence à ce type d'ontologie.
- **Ontologie d'application** : cette ontologie est plus spécifique à une tâche donnée. Elles combinent une ou des ontologies de haut niveau et une ou des ontologies plus spécifiques, ainsi que les connaissances requises par l'application visée (Mondary, 2011). Elle contient des concepts dépendants d'un domaine et d'une tâche particulière, qui sont généralement subsumés par des concepts de ces deux ontologies. Ces concepts correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine lors de l'exécution d'une certaine activité (Guarino, 1998).

## 6.2. Degré d'expressivité

Les ontologies peuvent également être catégorisées selon le degré de formalisation explicite qu'elles interprètent, c'est-à-dire par leur capacité à contraindre leur interprétation. (Ushold & Gruninger, 2004) proposent la dénomination d'ontologie *légère* pour les ontologies qui ne contiennent pas (ou peu) d'axiomes, par opposition aux ontologies dites *lourdes*.

## 6.3. Degré de granularité

Un autre axe de différenciation des ontologies est la granularité de la description conceptuelle et du niveau de détails atteint par les concepts. Cet axe se justifie par le but et le public visés par l'ontologie. A titre d'exemple, une ontologie des deux-roues destinée aux utilisateurs contiendra moins de détails que la même ontologie destinée aux constructeurs.

- **Granularité fine** : granularité fine correspondant à des ontologies très détaillées, possédant ainsi un vocabulaire plus riche capable d'assurer une description détaillée des concepts pertinents d'un domaine ou d'une tâche (Furst, 2004).
- **Granularité large** : granularité large correspondant à un vocabulaire moins détaillé. Les ontologies de haut niveau ont une granularité large, du fait que les notions sur lesquelles elles portent peuvent être raffinées par des notions plus spécifiques (Furst, 2004).

#### 6.4. Degré de formalisation

Uschold et Grüninger ont identifié quatre types d'ontologies : les *ontologies informelles*, les *ontologies semi-informelles*, les *ontologies semi-formelles* et les *ontologies rigoureusement formelles* (Uschold & Gruninger, 1996).

- **Les ontologies hautement informelles** : exprimées en langage naturel.
- **Les ontologies semi-informelles** : elles sont exprimées sous une forme limitée, restreinte et structurée du langage naturel (en utilisant des modèles), c'est à dire des patrons ont été mis en œuvre.
- **Les ontologies semi-formelles** : exprimées dans un langage défini artificiellement et formellement.
- **Les ontologies rigoureusement formelles** : exprimées dans un langage contenant une sémantique formelle, des théorèmes et des preuves de propriétés telles que la robustesse, l'exhaustivité, la complétude et la consistance.

#### 6.5. Méthodologies de construction d'ontologies

Plusieurs méthodologies de construction des ontologies ont vu le jour telle que NeOn Methodology élaborée par (Suárez-Figueroa et al., 2009). D'autres méthodologies générales sont inspirées des expériences de construction d'ontologies dans le domaine de la gestion des entreprises (Uschold & King, 1995).

Les méthodologies peuvent porter sur l'ensemble du processus et guider l'ontologiste dans toutes les étapes de la construction. Bien qu'aucune méthodologie générale n'ait pour l'instant réussi à s'imposer, de nombreux critères de construction d'ontologies ont été proposés

pour des méthodologies. Enterprise, Tove, Methontology et dernièrement NeOn Methodology sont les méthodologies les plus représentatives pour construire des ontologies.

### 6.5.1 Tove

L'ontologie est construite à partir des scénarios d'entreprises pour lesquels elle sera utilisée. Cette méthodologie reste sommaire et aucune étape n'est décrite par rapport aux techniques qui peuvent y être employées. De plus, elle est spécialisée dans la spécification d'ontologies pour les entreprises (Gruninger & Fox, 1995).

### 6.5.2 Enterprise

(Uschold & King, 1995) proposent le squelette d'une méthode basé sur l'expérience de construction d'ontologies dans le domaine de la gestion des entreprises. La méthode « Enterprise » repose sur les quatre étapes suivantes :

- ✓ Identifier le rôle et la portée de l'ontologie ; dans cette étape, l'ontologie est réellement construite. Les activités suivantes sont distinguées : identifier les concepts et relations fondamentaux et les définitions provisoires de ces éléments, coder l'ontologie dans un langage adapté et enfin intégrer des ontologies existantes.
- ✓ Evaluer l'ontologie.
- ✓ Rédiger une documentation et une trace des actions réalisées lors des différentes phases.

### 6.5.3 Methontology

Cette méthode est développée au laboratoire d'intelligence artificielle (Fernández-López et al., 1997). Elle vise la construction d'ontologie au niveau de connaissance. Ce projet a été motivé par le constat suivant : l'absence de méthodes ou de guides structurés est un obstacle à la construction d'ontologies partagées et consensuelles. Il est également un obstacle à l'extension d'une ontologie existante ou à sa réutilisation dans d'autres ontologies.

### 6.5.4 NeOn Methodology

Cette méthodologie a été développée au sein du projet NeOn en 2006. Ce projet inclut la méthodologie « NeOn Méthodology », l'outil « NeOn Toolkit » et des techniques telles que « ORSD » à savoir document de spécification des besoins. Elle a été construite à base de comparaison des trois autres méthodologies (Methontology, On-To-Knowledge et Diligent)

(Suárez-Figueroa et al., 2012). Elle est composée de neuf scénarios ; les scénarios possibles pour la construction des ontologies qui sont les suivants : le scénario 1 : de la spécification à l'implémentation, le scénario 2 : la réutilisation et la réingénierie des ressources non ontologiques, le scénario 3 : la réutilisation des ressources ontologiques, le scénario 4 : la réutilisation et la réingénierie des ressources ontologiques, le scénario 5 : la réutilisation et la fusion des ressources non ontologiques, le scénario 6 : la réutilisation, la fusion et la réingénierie des ressources ontologiques, le scénario 7 : la réutilisation des ontologies de modèle de conception (ODP), le scénario 8 : la restructuration des ressources ontologiques, le scénario 9 : la localisation des ressources ontologiques (voir la figure 2.1).

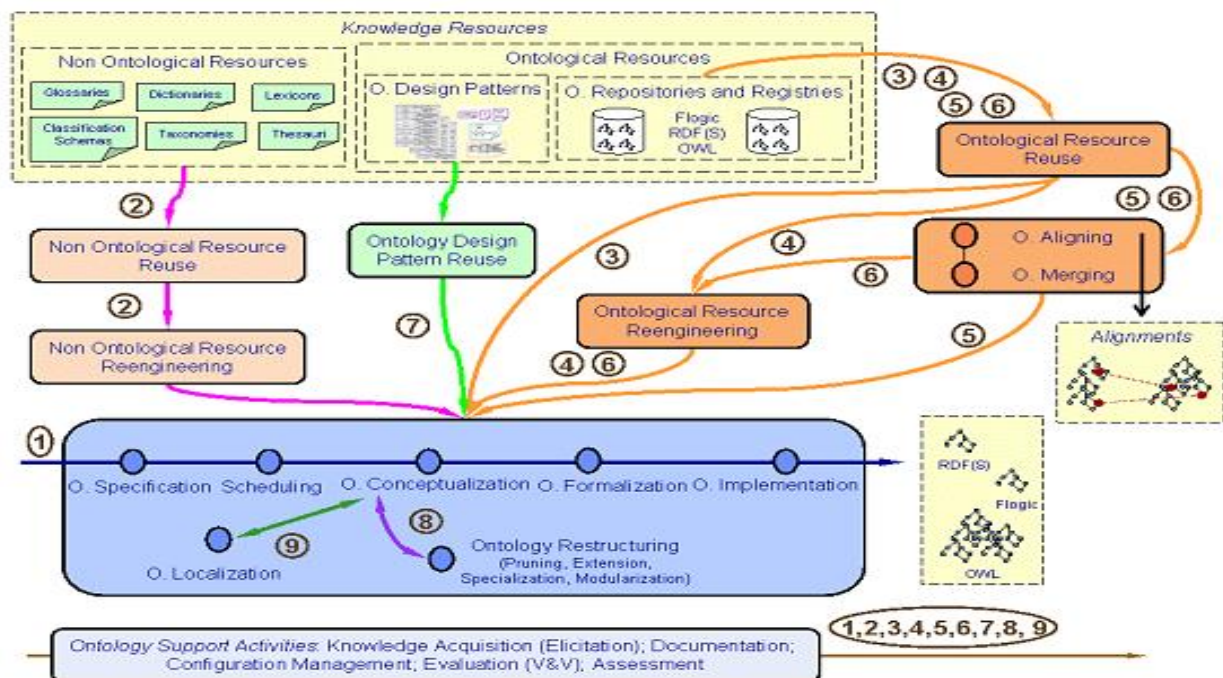


Figure 2.1. Scénarios pour la construction des ontologies (Suárez-Figueroa et al., 2012)

Nous avons constaté que, la méthodologie « NeOn Methodology » présente un certain nombre de techniques, scénarios et phase spécifiées de manière très détaillée.

### 6.6. Processus de construction d'ontologies

Le processus de construction peut se résumer aux phases suivantes :

- **Spécification :** cette étape a pour but de fournir une description claire du problème étudié ainsi que la façon de le résoudre. Elle permet de préciser l'objectif, la portée et le degré de granularité de l'ontologie qui sera construite.

- **Conceptualisation** : l'objectif est d'organiser et de structurer la connaissance acquise durant l'étape de spécification en utilisant des représentations externes qui sont indépendantes des paradigmes de représentation de connaissances et des langages d'implémentation dans lesquels l'ontologie va être formalisée et implémentée. L'idée est de combler graduellement le canal entre les moyens d'expressions des intéressés et les langages d'implantation des ontologies. Les représentations intermédiaires utilisées sont : le dictionnaire de données, les arbres, les diagrammes des relations binaires, le tableau des relations binaires, spécification des contraintes sur les attributs dans une table d'attributs, spécification des axiomes sur les concepts dans une table d'axiomes logiques, description des instances des concepts dans une table d'instances.
- **Formalisation** : cette étape consiste en la transcription du modèle conceptuel de l'ontologie dans un langage formel de représentation de connaissances.
- **Implémentation** : elle consiste en la codification de l'ontologie formelle dans un langage opérationnel du Web Sémantique.

## 7. Comment fonctionnent les ontologies?

*"Ontologies are developed for the purpose of reusability and shareability of knowledge, and reusability is directly linked with generalization, i.e., generic concepts are usually more reusable than specific ones. The desired scope of reusability is a very important decision that has to be taken before an ontology is designed. Although it is true that generic concepts are in general more reusable, the reuse of generic concepts for specific applications may involve, in certain cases, a big design effort to translate the generic concepts into specific ones. This effort has to be seriously considered during the design of an ontology, and compared with the effort of reusing, for example, an ontology built of specific concepts belonging to related applications"* (Bernaras A. et al., 1996).

L'ontologie fournit un mode de modélisation et de représentation pour réaliser la communication entre les humains et les agents (ex. messages). La représentation et la modélisation comprennent le mode computationnel et déductif (par exemple : la distance et la projection), et le mode co-opérationnel (par exemple: les requêtes et le protocole d'allocation). Pour acquérir des connaissances et établir une ontologie, il est nécessaire d'étudier la logique

de conception complexe et de nombreuses questions ouvertes en pratique. Cette procédure a besoin d'une plate-forme intégrée, avec tous les outils de conception.

Nous pouvons considérer l'ontologie comme un objet vivant, car il soutient le cycle de vie et maintient les relations entre tous les objets construits dans ou avec l'ontologie. L'ontologie fournit des suggestions, générées automatiquement et basées sur une requête de l'utilisateur, à travers la carte de corpus de texte ou à partir du corpus de texte, en regroupant les documents similaires.

Un système d'ontologies permet d'organiser, de placer et de visualiser la réponse à une requête, en extrayant les mots clés principaux des documents, puis en énumérant les documents contenant les concepts. Chaque concept est relié à un ensemble de documents. Les documents sont attribués automatiquement aux concepts. Les affectations de documents peuvent être éditées manuellement par l'ingénieur des connaissances. Les méthodes de découverte de concepts comprennent les méthodes non supervisées (suggestions fournies par le système) et les méthodes supervisées (l'apprentissage et la visualisation du concept). L'apprentissage du concept, qui aide à comprendre les concepts découverts, est réalisé par l'extraction de mots clés et la génération d'une liste de mots-clés caractéristiques d'un concept donné. En ce qui concerne la visualisation de concepts, nous devons créer une liste des documents à partir d'un concept donné, puis la présenter à l'utilisateur final. Les utilisateurs peuvent interagir avec le système multi-agents en temps réel avec l'apprentissage automatique intégré et les méthodes de Text Mining. Les utilisateurs sélectionnent des suggestions appropriées et les ajoutent à l'ontologie.

Le Web sémantique peut permettre des solutions fournissant à la fois un vocabulaire partagé de concepts liés au domaine et une épine dorsale pour les systèmes d'aide à la décision (DSS) basés sur une ontologie. Un DSS est un artefact d'information qui peut apporter un soutien aux organisations en facilitant le processus de prise de décision à plusieurs niveaux et dans différents domaines (Spoladore & Pessot, 2021).

## 8. Langages de spécification d'ontologies

Plusieurs langages de spécification d'ontologies (ou langages d'ontologies) ont été développés pendant les dernières années, parmi lesquels on présente les plus fréquemment utilisés : XML, RDF, RDFS et OWL (Lacot, 2005).

- **XML** : recommandation du W3C depuis 1998, le langage XML (eXtensible Markup Language) connaît depuis ses débuts un succès indéniable. Défini dès son origine comme un métalangage facilitant l'élaboration de langage à balises spécialisés. Les normes strictes qui gèrent la syntaxe et la structure de XML rendent le langage et son utilisation plus aisés.
- **RDF** : acronyme de « Resource Description Framework »<sup>4</sup>. La création du RDF par le W3C a été motivée par la perspective d'applications suivante :

- ✓ Manipulation et classification des métadonnées Web.
- ✓ Optimisation de la coopération entre applications, en permettant de combiner les données de plusieurs applications, pour générer de nouvelles informations.
- ✓ Facilitation du traitement automatique de l'information du Web par des agents logiciels,

RDF est un modèle conceptuel formel, permettant de décrire des ressources. Une ressource peut être une page HTML, une partie d'une page HTML, un ensemble de pages, un objet ou toute entité qui peut être accédée par un identificateur (URI pour Uniform Resource Identifier).

- **RDFS (RDF Schéma)** : le modèle RDF Schéma, fondé sur RDF, permet de définir des vocabulaires. Il permet d'enrichir RDF en introduisant des types de ressources prédéfinies (Resource, Class et Relation) et des relations prédéfinies (subClassOf, range et domain). Dans le web sémantique, un vocabulaire (appelé « vocabulaire contrôlé ») représente un ensemble de termes utilisés pour étiqueter et décrire des choses.
- **DAML et OIL** : DAML (DARPA Agent Markup Language et Ontology Interchange Language)<sup>5</sup> est un langage permettant la représentation d'ontologies. Il a été développé par la DARPA aux États-Unis dans le but de développer des langages et des outils permettant de rendre les contenus de documents accessibles et exploitables par des machines, pour réaliser le projet du « web sémantique ». DAML est une combinaison de XML et de RDF en permettant de spécifier des objets mais également les relations entre ces objets. Après DAML-ONT, le langage a évolué pour tenir compte des avancées fournies par OIL et former le langage (DAML+OIL).

---

<sup>4</sup>Resource Description Framework (RDF)<http://www.w3.org/RDF/>

<sup>5</sup><http://www.daml.org/2001/03/reference.html>

- **OWL<sup>6</sup> et OWL2<sup>7</sup>** : OWL (Ontology Web Language), est un langage de balisage sémantique pour publier et partager des ontologies sur le Web, élaboré par le W3C. Le langage OWL est développé comme une extension de vocabulaire de RDF et dérivé de la fusion de deux langages d'ontologie Web DAML+OIL. Une ontologie OWL est composée d'un entête (métadonnées), d'axiomes et de faits. Les axiomes concernent la définition complète ou partielle de concepts et de relations (ou priorités), la spécification de propriétés sur les relations (propriétés algébriques) et la définition d'axiomes sur les classes et les relations (équivalence, expression booléenne) (Lacot, 2006).

OWL2<sup>8</sup> est la nouvelle mouture d'OWL. Elle offre de nouvelles constructions permettant une plus grande expressivité des restrictions (par exemple la disjonction des propriétés) et facilitant l'écriture des motifs fréquemment rencontrés en OWL (par exemple: un concept union de concepts disjoints).

OWL et OWL2 étant devenus des standards c'est tout naturellement que nous choisissons de les utiliser dans cette thèse. Cependant nous verrons que le choix d'un langage de représentation des ontologies n'est pas un point crucial pour nous, car nous avons choisi de nous concentrer sur les étapes qui interviennent en amont, c'est-à-dire la phase de conceptualisation.

## 9. Conclusion

Nous avons détaillé dans ce chapitre le concept d'ontologie, en présentant certaines définitions. Nous avons montré aussi les principales familles d'ontologies ainsi que les méthodologies les plus représentatives de leur construction. Et finalement, nous avons présenté les langages de représentation.

---

<sup>6</sup><http://www.w3.org/OWL/>

<sup>7</sup><http://www.yoyodesign.org/doc/w3c/owl-ref-20040210/index.html#ref-rdf-vocabulary>

<sup>8</sup><http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>

# Chapitre 3 : Aperçu sur la Législation et la Finance Islamique

---

Dans ce chapitre nous allons présenter un aperçu sur notre domaine d'intérêt : la législation islamique, la finance islamique, sources de législation et les systèmes fatwas existants.

---

## Sommaire

1.	Introduction .....	31
2.	Domaine de l'étude .....	32
2.1.	La législation islamique .....	32
2.2.	La finance islamique .....	33
3.	Sources de législation dans la finance islamique .....	34
4.	Les systèmes CBR pour la législation islamique existants .....	35
4.1.	El Bayen .....	35
4.2.	Fatwas QA système .....	37
4.3.	Al Usouly .....	38
5.	Les systèmes CBR basé Ontologies .....	39
5.1.	jCOLIBRI .....	39
5.2.	COBRA .....	39
6.	Conclusion.....	40

---

## 1. Introduction

Notre domaine d'application est la législation islamique dans le domaine de la finance islamique, pour pouvoir arriver à notre objectif cerné par cette thèse qui est l'aide à la décision des Muftis dans le domaine de finance islamique. Nous devons tout d'abord comprendre les deux domaines importants sur lesquels concentre notre travail à savoir : la législation islamique et la finance islamique. Nous devons comprendre, acquérir et collecter toutes les informations nécessaires pour accomplir avec succès l'objectif de notre système.

## 2. Domaine de l'étude

### 2.1. La législation islamique

La législation islamique s'est élaborée à partir du Coran considéré comme le texte de base intangible et la Sunnah considérée comme le second texte complémentaire. El Ijtihad est la troisième issue de la législation islamique dans le cas d'absence des textes clairs ou qui nécessite des détails particuliers sur une problématique donnée.

La législation islamique ou charia<sup>1</sup>, loi canonique islamique régissant la vie religieuse, politique, sociale et individuelle, appliquée de manière stricte dans certains États musulmans (les États où la charia est le plus largement appliquée sont, en Asie, l'Iran, l'Arabie saoudite, le Pakistan, l'Afghanistan, l'Iraq, le Yémen, Oman et les Émirats arabes unis, et, en Afrique, le Soudan et le Nigeria). Dans la législation islamique, la fatwa est une décision ou un avis à propos un cas douteux ou une question particulière juridique prise par un Mufti. Le Mufti est un consultant juridique dans le domaine de la charia agréé par une autorité religieuse.

Selon les cheikhs de l'Islam (Karadaoui, 1977, 1985; Zaidan, 1997), la Fatwa consiste en l'exposition d'un avis juridique selon les préceptes islamiques. La délivrance d'une Fatwa est la fonction du « Mufti ». Elle est basée et doit toujours respecter en premier lieu le Saint Coran et la Sunna du prophète Muhamed.

Une fatwa (arabe: فتوى) est une déclaration juridique en islam, émise par un spécialiste du droit religieux sur une question spécifique. Habituellement, une fatwa est émise à la demande d'un individu ou d'un Mufti pour régler une question où le fiqh, la jurisprudence islamique, n'est pas clair (Ibn Abd Essalem, 1992). Parce qu'il n'y a pas de Mufti islamique central, il n'y a pas non plus de méthode généralement acceptée pour déterminer qui peut émettre une fatwa et qui ne peut pas, ce qui conduit certains érudits islamiques à se plaindre que trop de gens se sentent qualifiés pour émettre des fatwas (El Faci, 1993).

Le processus de génération d'une fatwa à partir de rien est très élaboré. Le Mufti respecte une règle générale d'inférence (Amari et al., 2015) :

« L'énoncé de base est l'indemnité » : cela signifie que le jugement Haram doit être argumenté avec un texte juridique ou par analogie, selon le saint Coran et Sunna du prophète.

---

<sup>1</sup> <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/charia/14756>

Il émerge des croyances musulmanes qui considèrent que les jugements sont l'autorité d'Allah et seulement de lui.

Le Mufti est dit jurisprudent. Cependant, il existe plusieurs types :

- Le jurisprudent absolu, sa Fatwa est directement basée sur les « textes » selon l'ordre suivant : le saint Coran, la Sunna du prophète, conclusion des Jurisprudents et par analogie.
- Le jurisprudent adoptant une école de droit : qui suit les règles et principes fondamentaux de l'Imam de l'école de droit qu'il adopte ou peut également utiliser la vraisemblance.
- Jurisprudent spécialisé dans un domaine de la législation islamique : il doit livrer quelques fatwas dans ce domaine uniquement.
- Jurisprudent spécialisé dans certains problèmes de Fiqh : il lui est possible d'exposer quelques Fatwas uniquement dans ce type de problèmes.

Dans ce qui suit, nous allons voir la finance Islamique, les sources de la charia dans ce domaine et les experts savants (Oulamas) les plus connus dans cette discipline.

## 2.2. La finance islamique

La finance islamique, phénomène initié dans le Golfe avec la création de la Dubai Islamic Bank et de la Banque Islamique de développement (BID) en 1975, entend proposer des transactions financières évitant essentiellement, à la fois, l'intérêt (*ribā*)<sup>2</sup> et les secteurs jugés illicites. Pour garantir l'« islamité » des opérations financières à travers le monde, l'approche consiste à attester celles-ci par un conseil de supervision religieuse dit « *shariah board* ». Cette méthode vise alors à accorder la primauté à la légalité sur toute autre considération (Coste, 2017).

Le système financier islamique (SFI) repose essentiellement sur le principe de non pratique de l'intérêt (*riba*) jugé usurier par les lois islamiques et prône le partage des risques et profits / pertes. Au cours des années 2000, les actifs financiers islamiques ont connu une croissance moyenne de plus de 10% (Soumaré, 2009). Cette croissance à continuer à augmenter dans les années qui suivent jusqu'au ce jour-là. En effet, on a constaté une sous-représentation des banques islamiques dans plusieurs pays occidentaux tels que la France qui regorge d'une forte présence musulmane et la Bretagne. Et aussi, plusieurs grandes banques occidentales ont des divisions de finance islamique (Soumaré, 2009). Cependant, pour une meilleure gestion des

---

<sup>2</sup> La notion de *riba* peut signifier « intérêt » ou « usure ».

risques, il est impératif de mettre en place une infrastructure de liquidité systémique, une infrastructure juridique, une infrastructure de divulgation de l'information et un mécanisme d'assurance des dépôts.

Dans ce qui suit, nous nous sommes intéressés à savoir les sources des fatwas du domaine de la finance islamique, pour pouvoir acquérir et collecter les connaissances nécessaires afin d'assister le Mufti dans sa démarche de génération de fatwas.

### 3. Sources de législation dans la finance islamique

Le système économique islamique est largement basé sur les principes de la charia islamique (Maquassid El-Charia El-Islamia). Les sources de la législation islamique sont : les preuves sur lesquelles la loi islamique est basée. Il existe quatre sources des principes de la Charia : le Saint Coran (la parole d'Allah), la Sunna (Ahadeeth ou enseignements du prophète Mohamed – PBUH –), suivies de l'unanimité (Ijma') puis de l'analogie (Kias).

Les fatwas de Mua'amalat dans l'économie islamique et la finance d'aujourd'hui peuvent être adaptées à travers le processus de l'Ijtihad. La tâche de l'Ijtihad s'affecte à un groupe des Oulémas de haut rang dans le domaine de la législation islamique.

Dans notre domaine d'étude, le domaine de la finance islamique, la législation est affectée à un organisme spécialisé dans le domaine qui s'occupe du processus de l'Ijtihad. l'AAOIFI<sup>3</sup> (Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions), à savoir de l'organisme principal (à but non lucratif) établissant les normes de conformité à la charia en matière financière, fournissant les guides nécessaires pour le travail des marchés financiers islamiques et préparant des rapports financiers d'une manière conforme aux dispositions et principes de la Charia. Il fixe également des normes pour les institutions financières islamiques afin de soutenir la croissance et le développement de l'industrie.

Le principal fruit (produit) de cet organisme est le livre, « Études des normes de la charia »<sup>4</sup> qui est devenu la compilation la plus importante du raisonnement fiqh contemporain dans le domaine du fiqh al-mua'amalat (jurisprudence des transactions financières) dans le monde entier. Les normes couvrent un large éventail de contrats et de produits financiers islamiques, y compris ceux qui concernent la banque, l'assurance islamique, la banque d'investissement, les marchés de capitaux, le financement, etc.

---

<sup>3</sup> <http://aaoifi.com/>

<sup>4</sup> <http://aaoifi.com/standard/shar-french/>

Ce livre, « Études des normes de la charia », ressemble plus à une encyclopédie de près de quatre mille pages en quatre grands volumes contenant une jurisprudence, des connaissances et une expérience inestimables qui ont commencé à être préparées il y a près de dix-huit ans. Considérant que, pour le plus grand bénéfice des universitaires, des experts, des travailleurs et des personnes intéressées par le domaine.

En effet, on peut dire qu'il est devenu la référence juridique la plus importante de l'industrie financière islamique dans le monde, auprès des autorités législatives et réglementaires, des institutions financières et d'autres organismes professionnels de soutien tels que les avocats, les comptables et les consultants, en plus des universités, des centres de recherche et des autorités fatwa, et un groupe de banques centrales et d'autorités financières ont adopté officiellement comme obligatoire ou indicatif.

Ce dernier point, explicite clairement la difficulté de la tâche de Mufti, c'est très dure et très complexe d'avoir toutes ces connaissances dans la tête ou même de lire plus de quatre mille page pour pouvoir acquérir des connaissance dans un domaine donné tel que le cas dans la finance islamique. Donc, la réalisation d'un système qui peut les aider dans leurs tâches nobles est une nécessité majeure, primordiale et très bénéfique.

Dans le prochain point nous allons voir les systèmes de fatwas déjà existant dans la littérature.

#### **4. Les systèmes CBR pour la législation islamique existants**

Très peu des travaux menés dans le cadre des systèmes CBR pour la législation islamique. Dans cette section, nous allons présenter l'ensemble des travaux de recherche menés dans cette optique.

##### **4.1. El Bayen**

(Amari et al, 2015) ont proposé un système intelligent pour assister le Mufti dans sa démarche de génération de fatwas dans le domaine des boissons et tabacs, en utilisant l'approche CBR. Il est conçu pour donner des fatwas pour de nouvelles situations, en utilisant les fatwas des situations passées. Ce système n'est pas capable de générer une nouvelle fatwa à partir du rien (cette tâche est permise uniquement à l'imam), mais il réutilise les fatwas, en imitant un imam. Pour pouvoir réutiliser les fatwas des situations passées, le système organise ses connaissances dans des cas qui sont collectés dans une mémoire, appelée base de cas. Puis, il effectue un

processus d'inférence pour trouver et réutiliser la fatwa appropriée et son argumentation. Le premier travail fourni par cette équipe de recherche a été dans l'année 2006 (Nouaouria et al, 2006) avec des restrictions majeures dans le domaine d'étude, ils ont traité un sous domaine des boissons et tabacs. En appliquant l'approche CBR, le cas dans le contexte d'El Bayen, comprend deux parties : description du problème constituée d'une question et de ses contextes. Le résultat est une réponse à la question et aux arguments de cette réponse. La description du problème contient :

- Le type d'action appartient à : <boire, acheter, offrir, parfumer avec, ...>
- Nom du produit : <Bière, Bière sans alcool, CocaCola, 7-UP, ...>
- Type de produit : <jus de fruits, jus de légumes, cigarettes, boissons gazeuses, drogues, ...>
- Caractéristiques : <alcoolique, nocif pour la santé, ...>
- Exception, appartient à : <pour les médicaments (purs), pour les médicaments (mixtes), la soif intense, la faim intense, contrainte, aucune>

La réponse contiendra le jugement (jugement: admissible, interdit, peut ou non) et les arguments à l'appui de la réponse (Attribution).

Le raisonneur utilise des cas stockés dans une base de cas. Ceci est supposé représentatif de tous les problèmes susceptibles d'être posés au système. Plus il contient plusieurs cas, plus le cas sélectionné pour le raisonnement est similaire au nouveau cas. La solution élaborée est donc meilleure. Mais plus la base augmente, plus il faut de temps pour la rechercher.

Dans El Bayen, les cas sont stockés dans une mémoire de cas organisée hiérarchiquement afin d'accélérer le processus d'extraction. Les chercheurs ont proposé une architecture au système, cette dernière comprend globalement cinq modules : module d'indexation, module d'extraction, modules d'adaptation, de validation et de stockage, en respectant ainsi le cycle de vie d'un système CBR.

En entrée, il reçoit une description de la situation et il fournit une réponse avec ses arguments en sortie. Les auteurs ont montré un exemple illustratif pour le système résultant. Où les interfaces offrent des facilités aux utilisateurs pour exprimer leurs demandes (questions) avec précision. En utilisant, des champs de textes pour les questions et des boutons radio pour spécifier les exceptions, ce système pourrait être considéré comme un outil de recherche d'informations non seulement pour un mufti mais pour tout utilisateur ayant des questions dans le domaine, en particulier dans les pays non islamiques.

Les limites d'El Bayen peuvent se résumer dans les points suivants :

- 1) domaine très restreint : un sous domaine des boissons (boire) et tabacs (fumer) uniquement.
- 2) El Bayen assiste le mufi dans la génération de fatwas à partir du deuxième principe. Il ne génère pas des fatwas à partir de zéro (c'est une restriction obligatoire pour les systèmes de ce domaine).
- 3) La troisième restriction, concerne l'interface-utilisateur proposée. Elle offre des champs stricts (guides solides) à l'utilisateur, ce qui limite sa liberté d'expression dans la requête.
- 4) Un outil centralisé dans un poste de travail ne permet pas le partage via le web.

## 4.2. Fatwas QA système

Un système intelligent pour Fatwas QA (question / réponse) a été proposé par (Elhalwany et al., 2015) pour traiter les questions réponses dans le domaine de la législation islamique. L'objectif principal est de surmonter les défis rencontrés par Egypte Dar el Ifta' face aux nombres importants des questions religieuses quotidiennes posées par le grand publique. Inciter l'utilisateur à dispenser d'envoyer sa question, s'il trouve une réponse d'une question similaire à sa question, déjà répondue. Pour cela, la méthode utilisée est inspirée à partir de l'approche SOPHIA TCBR proposé par (Patterson et al., 2008). Paterson et al. Ont proposé un Framework SOPHIA TCBR qui offre plusieurs avantages tels que l'indépendance du domaine vu qu'elle ne nécessite aucune intervention utilisateur pour acquérir des connaissances du domaine. La connaissance peut être découverte automatiquement. Aussi, l'indépendance de la langue est évolutive et applicable à des grandes bases de cas tout en travaillant avec des documents non structurés. La connaissance est automatiquement découverte en suivant les cinq étapes du SOPHIA-TCBR Framework : découverte de connaissances de cas, découverte du thème étroit, découverte de connaissances de similarité, découverte d'affectation de cas, découverte de la structure de cluster interne. En appliquant cet approche et en utilisant ce Framework, les chercheurs ont arrivé à créer un système QA permettant la recherche des fatwas sur une partie de la base de données de Dar el Ifta' (50 mille cas). L'utilisateur pose sa question via des textes libres. Le raisonneur compare la requête avec la base des cas et retourne les cas similaires (en calculant la similarité). Les défis majeurs signalés par les chercheurs sont l'absence du contrôle de la syntaxe linguistique et sémantique, et les limites de l'algorithme de Clustering utilisé (le processus de récupération s'exécute lentement). En outre, la base de cas doit inclure des Fatwas de différentes catégories et un nombre de cas plus de 100.000 cas. Ils doivent également ajouter d'autres langues étant donné que Dar al-Ifta reçoit des questions en huit langues. De plus, pour

un résultat de recherche meilleure, l'utilisation du processus de stemming dans les algorithmes d'extraction de racine et de suppression des préfixes et des suffixes des mots est nécessaire. Enfin, ils suggèrent aussi d'utiliser un vérificateur d'orthographe pour aider le demandeur de fatwa à écrire ses questions sans fautes d'orthographe.

### 4.3. Al Usouly

Mutawa et Al Terkait ont proposé un système expert pour les origines du domaine de la jurisprudence islamique (Mutawa & Al-Terkait, 2011). Vu la complexité du domaine des provisions de la Charia islamique (Ahkam El-Charia), à savoir ce domaine concerne la déduction des preuves originaires à partir des textes : le saint Coran, la Sunnah et El Ijma' (sources de la jurisprudence islamique). Ce domaine nécessite un spécialiste avec des caractères spécifiques, parce que le processus de l'extrapolation des dispositions légales à partir de ses preuves détaillées est une opération très complexe. Le Mufti spécialiste doit avoir des connaissances dans la science des origines de jurisprudence islamique (Usoul el Fiqh) et les dispositions de la charia, mémoriser le Saint Coran et son interprétation, mémoriser les textes de Sunnah du prophète Mohamed (PBUH) et connaître les questions résolues par el Ijma'. Et en plus, un savant dans la langue Arabe est recommandé vu qu'elle est très riche en matière de terminologies, des synonymes où un terme peut avoir plus d'un sens. Ceci rajoute plus de complexité sur la complexité du problème d'étude lui-même. Donc, l'objectif du système expert est d'automatiser la tâche du Mufti en automatisant le processus de déduction des provisions de la Charia islamique mais à partir des textes Coranique seulement (le Saint Coran). Les auteurs ont conçu et implémenté le système expert nommé Al Usouly qui permet de déduire des provisions (règles : Ahkam) à travers une série de questions et réponses entre le système et l'utilisateur. L'utilisateur entre un texte Coranique (comme input) et le système déduit le type de cette règle (comme output). Ces types de règles déduites à partir du texte sont : obligatoire (Wajib), recommandé (Mandoub), permis (Mubah), n'est pas recommandé (Makrouh) et interdit (Haram). Les premiers résultats après tester le système sur 50 textes Coraniques à partir des textes de provisions ont été choisis aléatoirement ont apparait un résultat très encourageant qui pouvait atteindre un taux de 96% par rapport aux déductions faites par l'expert humain sur les mêmes textes. L'avantage de ce système est qu'il facilite le processus de provision à partir des textes Coraniques et qu'il peut remplacer le Mufti expert dans son absence ou dans le cas de sa mort.

## 5. Les systèmes CBR basé Ontologies

Il existe des Framework pour la construction des systèmes CBR basés Ontologies. Il est possible de les utiliser dans les différents domaines. Notons que, nous avons trouvé que l'adaptation et la manipulation de ces Framework est une tâche complexe et difficile. Pour cela, nous allons créer notre Framework par nous-Même et spécifique pour notre cas d'étude. Dans cette section, nous allons présenter les deux Framework les plus connus.

### 5.1. jCOLIBRI

(Recio-Garía & Díaz-Agudo, 2007) jCOLIBRI est une plateforme orienté objet écrit en Java pour le développement des systèmes de raisonnement basés cas. Il représente une évolution des travaux antérieurs de l'équipe GAIA (université de Madrid), sur le développement des systèmes d'apprentissage à des fins d'enseignement assisté par ordinateur. La première version du logiciel (COLIBRI1) a été prototypée en utilisant le langage fonctionnel LISP. La plateforme jCOLIBRI dispose deux versions majeures : jCOLIBRI 1 et jCOLIBRI 2. La première version comprend une interface utilisateur graphique complète qui guide l'utilisateur dans la conception d'un système CBR. Cette version est recommandée pour les utilisateurs non-développeurs qui souhaitent créer des systèmes CBR sans programmer le code source. jCOLIBRI 2: est une implémentation qui suit une architecture dont l'élément essentiel est l'ontologie. Cette architecture est divisée en deux couches: l'une orientée vers les développeurs et l'autre orientée vers les concepteurs. Cette conception est un Framework complet présenté sous forme de boîte blanche ouverte aux développeurs Java qui souhaitent inclure les caractéristiques de jCOLIBRI dans leurs applications utilisant le CBR.

### 5.2. COBRA

(Abou Assali et al. 2009) Est une plate-forme CBR pour le diagnostic basée sur des ontologies. Cette plate-forme est constituée de deux parties principales : les modèles de connaissances décrits par des ontologies, et les processus de raisonnement. Dont, l'objectif est de rendre la plate-forme générique et indépendante du domaine d'application. COBRA permet de définir les attributs de chaque cas dynamiquement au moment de l'exécution en utilisant l'ontologie, ce qui conduit à une base de cas hétérogène.

## 6. Conclusion

D'après ces dernières sections, il est très clair que les travaux de recherche menée dans le cadre des systèmes d'aide à la législation islamique sont très peu abordés. Depuis environ deux décennies, nous trouvons que quelques systèmes dans la littérature. De plus, les trois déclarent la complexité du domaine en question outre les problèmes qui concernent la langue arabe, la syntaxe et la sémantique. Pour aider le Mufti à la génération de fatwa en réutilisant des fatwas des expériences passées, il est très recommandé d'utiliser l'approche CBR. Dans ce travail, nous allons utiliser le CBR Conversationnel au lieu de CBR textuel car cette dernière est très limitée dans la phase de l'adaptation et l'apprentissage (n'est pas permis). Pour remédier les défis rencontrés par les trois systèmes concernant la langue (syntaxe et sémantique), nous proposons de construire une base de connaissances sémantiques de ce domaine à savoir une ontologie pour le domaine permettant d'offrir une terminologie du domaine, où pour chaque terme on fournit sa définition, ses synonymes, etc. Cette ontologie servira par la suite au contrôle du vocabulaire communiqué syntaxiquement et sémantiquement, ce qui conduit à avoir des meilleurs résultats.

---

## **Partie II : Contributions**

# Chapitre 4 : Construction d'une Ontologie de Domaine pour la Finance Islamique

---

Dans ce chapitre, nous allons présenter notre première contribution au problème posé par cette thématique de recherche, à savoir le développement d'une ontologie de domaine pour la finance islamique.

---

## Sommaire

1.	Introduction .....	42
2.	Ressources de connaissances pour la finance islamique .....	43
2.1.	Ressources ontologiques .....	44
2.2.	Ressources non ontologiques .....	45
3.	Approche suivie pour la construction de l'ontologie .....	45
4.	Description détaillée de la démarche de construction de « IFBO» .....	47
4.1.	Spécification des besoins .....	47
4.2.	La conceptualisation.....	52
5.	Formalisation.....	61
5.1.	Représentation de la partie terminologique (T-box) .....	62
5.2.	Représentation de la partie assertionnelle (A_box).....	63
6.	Implémentation.....	64
7.	Conclusion.....	67

---

## 1. Introduction

Les ontologies jouent un rôle important dans plusieurs applications basées-connaissances. Le but de ce chapitre est de créer une ontologie de domaine pour la finance islamique nommée IFBO (islamic finance & bank ontology). Nous avons bien dit une ontologie du domaine et

non pas d'application. Bien que nous ayons besoin seulement à une ontologie d'application, qui supportera par la suite notre future-système de génération de fatwas, nous avons décidé de construire une ontologie de domaine à cause du manque important voir fatal des ressources ontologiques pour le domaine étudié (finance islamique). Et vu l'importance de ce dernier, nous allons construire une ressource de connaissances idéalement exploitable, partageable, réutilisable, modifiable et compréhensible par la machine en utilisant plusieurs langages XML, RDF, OWL, etc., dédiés à l'intérêt des développeurs et chercheurs qui veulent développer des outils, applications (mobile ou autre), sites web, dictionnaires, glossaires et même systèmes pour ce domaine (comme dans notre cas). Une demande massive à ces outils par les banques, les administrateurs, les entreprises, les chercheurs, les étudiants locaux ou étrangers vu les départements ouverts dans plusieurs universités au travers le monde, et même pour les simples personnes qui veulent avoir des connaissances sur le domaine ou qui seront par la suite des clients ou non des banques islamiques grâce aux majeurs avantages proposés par ces banques comme le partage du risque.

L'ontologie IFBO jouera un élément clé dans l'efficacité de plusieurs systèmes dans les différentes disciplines, recherche d'information, e-learning, e-business, les bases de données syntaxiques, etc. Elle garantit la standardisation et l'interopérabilité.

## **2. Ressources de connaissances pour la finance islamique**

La réutilisation des ontologies existantes est fortement recommandée par les experts du domaine des ontologies (concepteurs, développeurs et ontologistes). Pour cela, avant de penser à créer n'importe quelle ontologie, nous devons tout d'abord, faire une recherche profonde dans les bibliothèques des ontologies et dans la littérature. Pour pouvoir exploiter ce qu'il existe déjà comme ressource ontologique et puis apporter des adaptations et / ou des enrichissements à partir d'autres ressources de connaissances du domaine (livres, glossaires, thésaurus, etc.).

### **2.1. Ressources ontologiques**

Il existe très peu d'ontologies dédiées à la finance islamique dans la littérature. Cependant, il en manque dans les référentiels d'ontologies comme Ontolingua, Protégé Library ou dans les moteurs de recherche des ontologies comme SWOOGLE, SINDICE et WATSON. Dans ce qui suit, nous présentons quelques études trouvées dans la littérature.

En 2011, (Mamadolimova et al, 2011) ont décrit un modèle de connaissances ontologiques pour les contrats de la finance islamique (les connaissances modélisables), afin de créer un référentiel évolutif de connaissances pour ce domaine (la finance islamique) et accessible en ligne. Selon les auteurs, ce moyen est crucial pour toutes les parties prenantes dans le domaine, y compris les systèmes d'information qui utilisent ces connaissances pour la vérification de la conformité et d'autres types d'activités de gestion des risques dans le secteur bancaire islamique. Ils tentent de décrire quelles connaissances de la finance islamique doivent être modélisées et comment elles sont modélisées à l'aide du vocabulaire et des normes approuvés par le World Wide Web Consortium (W3C). Une attention particulière est portée à la modélisation des heuristiques de conformité de la finance islamique. Des formalismes de règles concurrents sont envisagés à cette fin, et ils rendent compte des forces et des faiblesses de chacun de ces formalismes. La technique de modélisation en spirale a été utilisée pour construire l'ontologie. *Top-Braid Composer* est utilisé pour le développement de cette ontologie.

En 2014, (Mamadolimova et al, 2014) ont construit un thésaurus multilingue de la finance islamique basé sur la sémantique, dans le but de normaliser globalement l'utilisation des concepts de la finance islamique et de fournir une terminologie riche et sémantiquement solide. Les auteurs ont publié l'ontologie résultante sur le site Web de MIMOS<sup>1</sup> (<http://www.mimos.my/IFT#>). La page est malheureusement introuvable et par la suite l'ontologie est n'est pas disponible.

I-FIKR ontology (Islamic Finance Knowledge Repository) une structure innovante et sophistiquée. Cette ontologie a été développée par l'International Shariah Research Academy (ISRA). Il classifie l'ensemble du secteur financier islamique, identifiant les principales branches, qui sont ensuite subdivisées en thèmes particuliers. Il définit les types, les propriétés et les interrelations entre les secteurs. Tous les matériaux disponibles sur le portail I-FIKR sont connectés sur la base de cette conception rigoureuse et subtile. Cette ontologie n'est pas publiquement disponible avec un code source ; seule la carte d'ontologie est disponible sur leur site Web : <https://ifikr.isra.my/ontology> dont la visualisation n'est pas permise qu'après avoir effectué un enregistrement payant.

Le problème avec ces ontologies est qu'elles ne sont pas disponibles en tant que données ouvertes, ce qui présente un grand obstacle à la réutilisabilité.

---

<sup>1</sup> MIMOS: Malaysian Institute of Microelectronic Systems

## 2.2. Ressources non ontologiques

Il existe plusieurs ressources de connaissance pour la finance islamique ; nous pouvons utiliser les glossaires et les dictionnaires comme sources de données (concepts et définitions, ...), ils sont disponibles sur le web. Par exemple, il est possible de s'appuyer sur le glossaire des termes et contrats de la finance islamique tels que ceux de : l'Institut de la banque et de l'assurance islamiques<sup>2</sup>, Al Salam Bank Bahreïn<sup>3</sup>, l'Institut agréé des comptables en management et Crédit Agricole CIB, Glossaire islamique et financier de Reuters<sup>4</sup>, ISFB<sup>5</sup> (Islamic Financial Services Board). Le dictionnaire Oxford<sup>6</sup> aussi, définit de nombreux termes de la finance islamique comme : Zakat, Arboun, Amana, Waqf et Takaful.

Pour les différents types de contrats, les relations entre chaque concept, les règles de conformités, les conditions que doivent satisfaire chaque contrat pour être correcte et conforme aux principes de la finance islamique, nous allons les extraire à partir, des livres, articles et autre productions scientifique rédigé par des chercheurs et des standards proposés par des organisations officielles leader et agréer dans le domaine par les gouvernements tels que AAIOFI<sup>7</sup>, ISRA<sup>8</sup> et autres.

## 3. Approche suivie pour la construction de l'ontologie

Nous avons adopté la méthodologie "Neon Methodology" pour construire notre ontologie IFBO (pour plus de détail sur les méthodologies existantes, voir la section 6.5 du chapitre 2). Ce choix réside dans le fait que cette méthodologie est basée sur les trois méthodologies les plus pertinentes en ingénierie ontologique (On-To-Knowledge, DILLIGENT et METHONTOLOGY). De plus, elle fournit des lignes directives pour la réutilisation, la réingénierie, la conceptualisation des ontologies existantes et permettre le branchement grâce à des plug-ins pour une évolution continue (ce qui manque dans les trois ontologies précédentes). En plus, cette méthodologie explique en détail le processus de construction de l'ontologie. Tout cela retourne aux bonnes pratiques et aux retours d'expériences des membres du consortium

---

<sup>2</sup> <http://www.cimaglobal.com/Documents/Islamic%20finance/2011/Guides/Glossary.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.alsalambahrain.com/>

<sup>4</sup> <https://www.reuters.com/article/islamic-finance-glossary/glossary-islamic-finance-definitions-idUSISLFTERMS20141110>

<sup>5</sup> [http://www.ifsb.org/terminologies\\_download.php](http://www.ifsb.org/terminologies_download.php)

<sup>6</sup> <https://en.oxforddictionaries.com>

<sup>7</sup> The Accounting and Auditing Organization for Islamic Financial Institutions(AAOIFI)

<sup>8</sup> International Shariah Research Academy

NeOn. Nous allons utiliser le Scénario 2 de la méthodologie «NeOn» pour le développement de notre ontologie. Ce scénario est lié à la réingénierie des ressources non ontologiques (NOR) pour construire une ontologie. Nous avons choisi ce scénario parmi les neuf scénarios existant car il correspond à notre cas. Nous allons donc construire notre ontologie à partir des ressources non ontologiques (schémas de classification, glossaires, dictionnaires, Thésaurus, taxonomies, référentiels, articles scientifique, livres, etc.) vu le manque total des ontologies open-sources dans ce domaine.

Pour ce scénario, nous devons effectuer le processus de réutilisation des NOR pour décider, selon les exigences de l'ontologie, quels NORs peuvent être réutilisés pour construire le réseau ontologique. Ensuite, les NOR sélectionnées doivent être transformées en ontologie. Le processus suivi comporte un ensemble d'activités (voir figure 4.1). Nous partons des NORs et nous passons par des activités intermédiaires : spécification des besoins pour avoir le document de spécification des besoins (ORS<sup>9</sup>) comme output intermédiaire, suivi par les activités de conception, formalisation et enfin d'implémentation pour arriver à une ontologie pour la finance islamique opérationnelle, écrite en langage OWL.

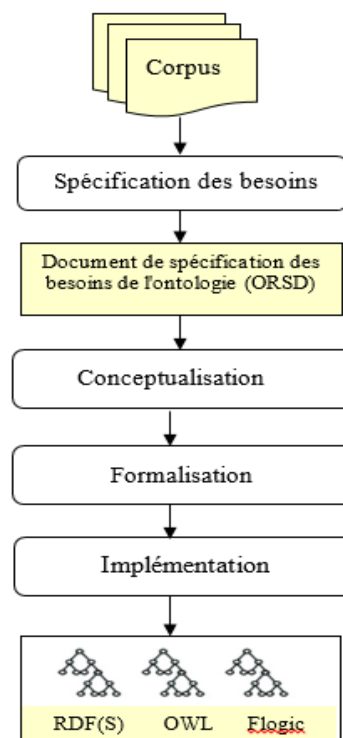


Figure 4.1: Scénario 2 « NeOn Methodology » adapté de (Suárez-Figueroa et al., 2015a).

<sup>9</sup> ORSD : Ontology Requirement Specification Document

## 4. Description détaillée de la démarche de construction de « IFBO »

Pour construire l'ontologie IFBO ( Islamic Finance & Banking Ontology », nous devons accomplir les quatre phases mentionnées précédemment (figure 4.1).

### 4.1. Spécification des besoins

La phase de spécification des besoins consiste à établir un document de spécification des besoins (ORSD). Au sein de ce document, nous décrivons l'objectif, la portée, l'utilisation prévue, les utilisateurs et le langage d'implémentation de l'ontologie toute en suivant les lignes directives de la méthodologie « NeOn Methodology ».

#### *Tâche 1 : identifier l'objectif, la portée et le niveau de formalité*

L'objectif de construire notre ontologie de domaine est de fournir un modèle de connaissance consensuelle du domaine des transactions bancaires de la finance islamique, présenter un vocabulaire commun et partageable qui peut être utilisé par les membres des organismes financiers islamiques et traditionnels, permettre de contrôler sémantiquement les connaissances communiquées entre machines et entre homme / machine. Le langage d'implémentation de cette ontologie est OWL.

#### *Tâche 2 : identifier les utilisateurs prévus*

Les utilisateurs de cette ontologie sont tous les chercheurs ou développeurs intéressés par le domaine de la finance islamique et qui peuvent être :

- Utilisateur 1 : tous les utilisateurs de systèmes / applications utilisant implicitement cette ontologie.
- Utilisateur 2 : chercheurs dans le domaine de la finance islamique.
- Utilisateur 3 : banquiers, administrateurs et savants du Charia.
- Utilisateur 4 : experts, apprenants, tout utilisateur intéressé par la finance islamique.
- Utilisateur 5 : développeurs de systèmes, développeurs Web, développeurs d'applications, etc.
- Utilisateur 6 : institutions financières.
- Utilisateur 7 : service des consommateurs aux Banques.
- Utilisateur 8 : Gouvernement et agences de régulation.

**Tâche 3 : identifier les utilisations prévues**

Les principales utilisations de l'ontologie sont :

- Utilisation 1 : un glossaire des définitions des concepts de la finance islamique.
- Utilisation 2 : un moteur de recherche ; l'ontologie rend la recherche plus efficace car elle prend en compte les synonymes et aussi différentes écritures pour chaque terme. Par exemple, le mot «Shari'ah» peut être trouvé sur le Web dans différentes écritures : Charia, Chariaa, Shariah, Shariaa, Shari'a, etc.
- Utilisation 3 : un vocabulaire commun pour la finance islamique.
- Utilisation 4 : classification des concepts de la finance islamique.
- Utilisation 5 : enrichissement du domaine de la finance par l'alignement de cette ontologie avec d'autres ontologies de la finance traditionnelle.
- Utilisation 6 : facilitation de la compréhension du domaine de la finance islamique.
- Utilisation 7 : un support pour les systèmes NLP (traitement du langage naturel), systèmes d'annotation, sites web, e-learning, systèmes de recherche d'information, etc.

**Tableau 4.1: ORSD de l'ontologie « IFBO », Slot 1 à 5**

<b>Document de Spécification des Besoins d'Ontologie « IFBO »</b>	
<b>1</b>	<b>Objectif</b>
	L'objectif de construire cette ontologie est de fournir un modèle de connaissances consensuel pour le domaine de finance islamique.
<b>2</b>	<b>Portée</b>
	Cette ontologie se focalise sur les concepts du domaine des transactions bancaires de la finance islamique. Elle présente un vocabulaire commun et partageable qui peut être utilisé par les membres de des organismes financiers islamiques et traditionnels. Le niveau de granularité est directement lié aux questions de compétences et les termes identifiés.
<b>3</b>	<b>Niveau de formalité</b>
	L'ontologie sera implémentée en langage OWL.
<b>4</b>	<b>Utilisateurs prévus</b>

	Les utilisateurs de cette ontologie peuvent être: les utilisateurs de systèmes / applications utilisant implicitement cette ontologie, les chercheurs dans le domaine de la finance islamique, banquiers, administrateurs, apprenants, tout utilisateur intéressé par la finance islamique.
<b>5</b>	<b>Utilisations prévues</b>
	Les utilisations prévues sont: un glossaire des définitions des concepts de la finance islamique, un moteur de recherche, un vocabulaire commun pour la finance islamique, classification des concepts de la finance islamique, enrichir le domaine de la finance par l'alignement de cette ontologie avec d'autres ontologies, etc.

#### *Tâche 4 : identifier les besoins de l'ontologie*

Pour spécifier les besoins de l'ontologie nous utilisons la technique de la liste des questions de compétences selon la méthodologie « Neon Methodology » toujours. Cette dernière est sauvegardée dans un fichier Excel. Au total, nous avons identifié cent questions de compétence. Le tableau 4.2 montre des exemples typiques de questions de compétence.

**Tableau 4.2: Questions des compétences de l'ontologie IFBO**

Questions de compétences
QC1. qu'est-ce que la finance islamique?
QC2. quelles sont les transactions bancaires de la finance islamique?
QC3. qu'est-ce que Mourabaha?
QC4. qu'est-ce que Mudharaba?
QC5. qu'est-ce que Bay 'Inah?
QC6. qu'est-ce que Salam?
QC7. qu'est-ce que Wa'd?
QC8. que signifie Zakah?
QC9. Que signifie Arboun?
QC10. qu'est-ce que Musharakah?
QC11. qu'est-ce que Takaful?
QC12. qu'est-ce que Kafalah?
QC13. qu'est-ce que Istisna '?
QC14. qu'est-ce que Moussawamah?
QC22. que signifie Riba?

QC23. quels sont les principales conditions de la Mourabaha?  
QC37. quels sont les défis de la finance islamique?  
QC38. quels sont les enjeux de la finance islamique?  
QC39. Histoire de la finance islamique?  
QC40. L'éthique de la finance islamique?  
QC41. Produit de la finance islamique?  
QC42. Banque islamique?  
QC53: L'économie islamique?  
QC60. Les principes de la charia de la finance islamique?  
QC61. Les principes de Mourabaha?  
QC62. Les principes de la Wakalah?

**Tâche5** : *identifier les groupes des besoins*

Les cent questions de compétence présentées dans la tâche précédente sont regroupées manuellement en des groupes des questions de compétence.

**Tâche6** : *validation de l'ensemble des besoins*

Cette tâche consiste à valider l'ensemble des besoins avec les experts et les utilisateurs finaux. Pour cette fin, nous avons répondu à la liste des questions de compétence en utilisant les ressources de connaissances montrée dans la section 2 de ce chapitre. Ensuite, nous avons validé ces réponses avec des experts du domaine.

**Tâche 7** : *Spécification des priorités des besoins*

Cette tâche a pour objectif de donner les différents niveaux des priorités pour les groupes des questions de compétence ; c'est une tâche optionnelle. Dans notre cas, nous ne donnons pas des niveaux de priorités pour les groupes des questions de compétence car le développement de toutes les questions est fait dès la première version du développement de notre ontologie.

**Tâche 8** : *extraire des terminologies et leurs fréquences*

L'objectif de cette tâche est d'extraire, à partir de la liste des questions de compétence, un pré-glossaire de termes pour l'utiliser dans l'activité de conceptualisation. Cette tâche a comme entrée, la liste des questions des compétences identifiées et leurs réponses. À la sortie, nous obtenons une liste des termes les plus utilisés. Donc, à partir des besoins sous forme d'une liste des questions de compétence, nous pouvons extraire

la terminologie (terme, définition et verbe). Cette dernière est représentée formellement dans l'ontologie (voir tableau 4.3).

**Tableau 1.3: ORSD de l'ontologie « ECAO », Slot 7**

<b>7 Pré-glossaire des termes</b>	
<b>Termes</b>	<b>Fréquence</b>
<b>a. Islamic Finance</b>	1
<b>b. Banking transactions</b>	16
c. Murabaha	1
d. Mudharaba	1
e. Bay' Inah	1
f. Wakalah	1
g. Musharaka	1
h. Urbun	1
i. Salam	1
j. Kafalah	38
k. Oulémas	12
l. Islamic Finance Banks	1
m. Ijarah	1
n. Amanah	1
o. Mussawamah	1
p. Zakah	1
q. Waqf	1
r. Wa'd	1
s. Salam	1
t. Hiwalah	65
u. Shariah principles	1
v. History	-
w. Ethics	-
x. Product	1
y. Riba	
<b>Objets</b>	
Les objets de l'univers de discours, qui sont les instances de :	

*Banques Islamiques : Al Baraka bank, Al salam bank, ...*

*Organismes de la finance islamique: AAOIFI, OIC, I-FIKR, ...*

*Oulémas de la Shariah : Sheikh Nizam Yakoubi, ...*

*Les transactions bancaires: Murabahah, Mudharabah, Ijarah, ...*

Une fois le document de spécification d'ontologie IFBO (ORSD) établi, nous l'utilisons dans les activités de conceptualisation.

## 4.2. La conceptualisation

Dans cette activité, nous devons organiser et structurer les termes sélectionnés par l'utilisation des représentations intermédiaires semi formelles qui sont faciles à comprendre et indépendantes de tout langage d'implémentation. Cette phase contient plusieurs étapes :

- Construction du dictionnaire des données.
- Construction des arbres de classification de concepts.
- Construction du diagramme de relations binaires.
- Construction du tableau des relations binaires.
- Construction du tableau des attributs.
- Construction du tableau des axiomes logiques.
- Construction du tableau des instances et du tableau des assertions.

### Construction du dictionnaire des données

Dans cette activité, nous essayons de capturer les connaissances de notre domaine d'étude par la construction du dictionnaire de données (DD). Ce dernier collecte et identifie les concepts du domaine, leurs descriptions, synonymes, attributs, instances et relations et qui seront représentés dans l'ontologie finale. Le Tableau 4.4 représente notre dictionnaire des données.

**Tableau 4.4: Dictionnaire de données**

Concept	Label(s)/ Translation	Description
<b>Islamic Finance</b>	IF/ [Ar] التمويل الإسلامي [Fr] Finance Islamique [Ma] Pembiayaan Islam	La finance islamique, basée sur des principes religieux qui évitent les intérêts et la pure spéculation monétaire, se développe rapidement, soutenue par de vastes pools de

---

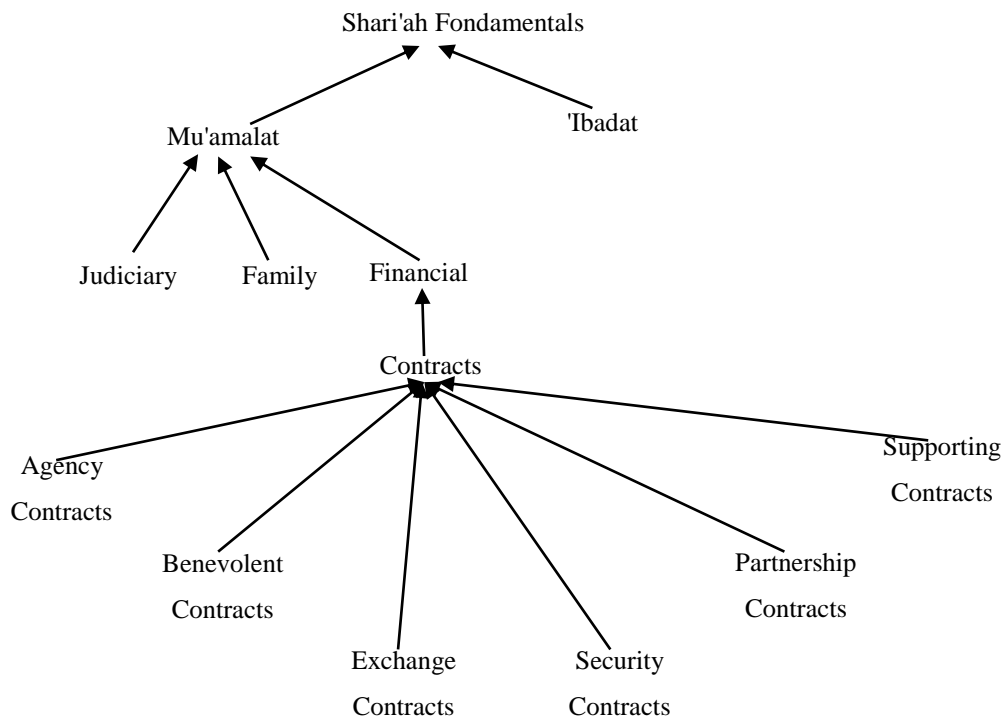
		fonds conformes à la Charia dans le Golfe et par l'ouverture de nouveaux marchés.
<b>Wa'd</b>	[En] Promise [Ar] وعد [Fr] Promesse [Ma] Janji	La principale différence entre ceci et un contrat est que la promesse n'engage que l'auteur de la promesse, alors qu'un contrat lie les deux parties.
<b>Wakalah</b>	Wakala, Wakalat, Al Wakalah/ [En] Agency, [Ar] الوكالة [Fr] Agence [Ma] Perwakilan	Une pratique islamique standard où une partie qui agit comme un agent (wakil) pour une autre. Dans un wakala sukuk, des certificats sont émis par un initiateur pour acheter des actifs spécifiques, qui à leur tour sont donnés à un wakil pour la gestion (qui facture une commission d'agence, qui peut inclure une commission de performance). L'initiateur s'engage à acheter les actifs à l'échéance à un prix convenu.
<b>Amana</b>	Amanah, Al Amanah / [En] Deposit in trust [Ar] الامانة [Fr] Dépôt en fiducie, [Ma] Simpanan Amanah	Un terme largement appliqué qui fait référence à tout ce qui est sous la garde d'autrui.
<b>Urboun</b>	Al Urboun / [En] Down payment, [Ar] العربون [Fr] Acompt [Ma] Jual Beli Secara bayar muka	Un acompte qui est compté comme faisant partie du prix d'achat si l'acheteur décide de finaliser la transaction, mais qui devient une propriété du vendeur si la transaction n'est pas conclue. Il peut être utilisé comme une forme de vente à découvert.

---

<b>Bay</b>	Bay' / Al Bay' [En] Sale, [Ar] بيع , [Fr] Vente [Ma] Jualan	Un accord entre deux parties dans lequel la propriété d'un article est transférée du vendeur à l'acheteur pour un prix.
<b>Zakah</b>	Zakat [En] tax, [Ar] زكاة , [Fr] Impôt [Ma] Zakah	Le troisième pilier de l'islam ; l'aumône obligatoire. Tout musulman qui a une richesse supérieure à un montant prescrit est tenu de donner de l'argent à l'autorité islamique pour distribution aux pauvres et aux nécessiteux.

**Arbres de classification des concepts**

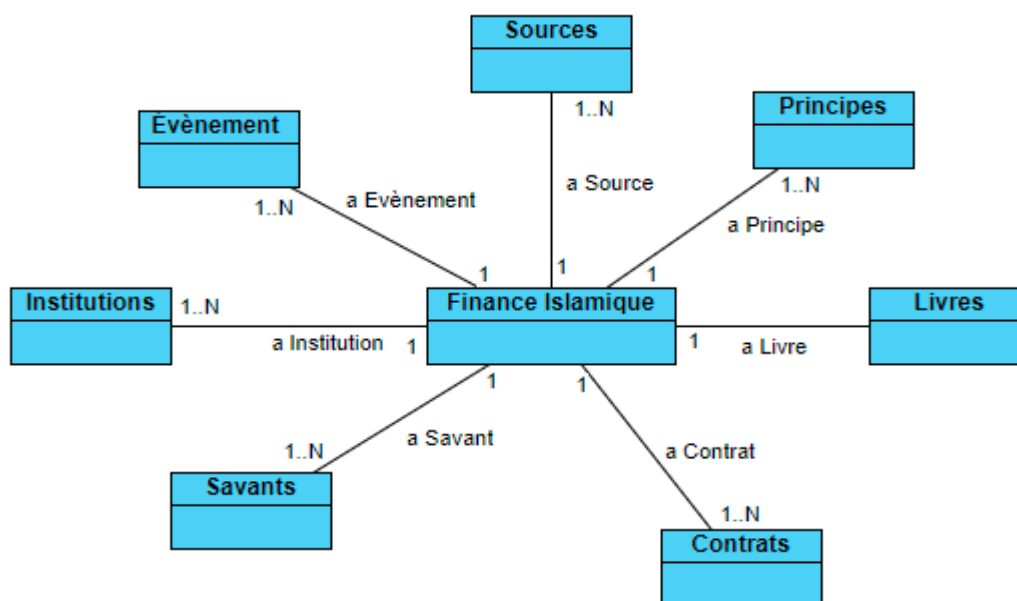
Les arbres de classification des concepts organisent les concepts du domaine en taxonomies. Ils sont utilisés non seulement pour connaître comment les concepts sont reliés les uns avec les autres, mais pour modéliser le domaine de connaissance dans des ontologies indépendantes (Suárez-Figueroa et al., 2015a) (voir la figure 4.2).



**Figure 4.2: Arbre de classification du concept « Fondamentaux de la shariah »**

### ✚ Construction du diagramme de relations binaires

Dans cette étape, nous représentons les relations binaires et la hiérarchie entre les classes par un diagramme conceptuel UML (modèle conceptuel que nous proposons pour notre ontologie IFBO). Dans ce modèle, les classes sont représentées par des rectangles et les relations par des arcs, qui relient le domaine par le co-domaine, étiquetés par le nom de la relation. Ainsi, la relation « classe-de » est représentée par un arc de généralisation (du classe-fille vers la classe mère) (voir figure 4.3).



**Figure 4.3: Modèle conceptuel UML pour le concept Finance Islamique de l'ontologie «IFBO»**

*La finance Islamique* est la finance qui se base sur des principes clés et la prohibition des intérêts (Riba) et d'autres transactions suspects tels que Dharar, Gharar, Mayssir, Tatliss, etc. La source originale de la finance islamique est le saint Coran, le Hadith, l'Ijma' et le Qiyas. Elle s'étudie dans des institutions dans plusieurs pays au monde tels que la Malaisie, la Bretagne, l'Algérie, la Tunisie, l'Egypte, la France, le Qatar et d'autres. Plusieurs savants sont connus dans ce domaine tel que Sheikh Nizam Yakoubi. Au cours des années, plusieurs évènements ont été organisés pour ce domaine.

**L'Islam** est la source originale de la finance islamique ; en effet, l'Islam n'est pas seulement une religion. L'Islam est une 'Akida (doctrine), Shari'ah et Akhlak (éthique).

'Akida est constituée de six pilier de la foi qui sont :

La foi à l'unicité d'Allah.

La foi aux anges.

La foi aux livres célestes.

La foi aux messagers d'ALLAH.

La foi au jour du jugement dernier.

La foi au destin, qu'il soit bon ou mauvais.

**La shari'ah** se compose de :

- Mu'amalat.
- 'Ibadat.

**Mu'amalat** qui peuvent être :

- Judiciaire.
- Financière.
- Familiale.

**Contracts** qui peuvent être :

- Contrats d'agence qui peuvent être Wakalah
- Contrats de Bienveillant qui peuvent être:
  - Hadiyah
  - hibah
  - I'arah
  - Qardh
  - Sadaqah
- Contrats de sécurité
- Autres.

#### **Construction de la table des relations binaires**

Les relations binaires sont représentées sous forme de propriétés qui lient un concept à un autre. Pour chaque relation, nous définissons son nom, le nom du concept source, le nom du concept cible, la cardinalité et le nom de la relation inverse. Le tableau 4.5 représente la table des relations binaires de l'ontologie.

Tableau 4.5: Table des relations binaires de l'ontologie.

Nom Relation	Concept(s) Source(s)	Concept(s) Cible(s)	Cardinalité		Relation Inverse
			Sourc e	Cible	
aEvènement	Finance Islamique	Evènement	1	1..N	Organisé pour
aInstitution	Finance Islamique	Institution	1	1..N	Enseigne
aContrat	Finance Islamique	Contrat	1	1..N	Contrats pour
aLivre	Finance Islamique	Livre	1	1..N	Livres de
aProhibition	Finance Islamique	Prohibition	1	1..N	Prohibition de
aPrincipe	Finance Islamique	Principe	1	1..N	Principe de
aSource	Finance Islamique	Source	1	1..N	Source de
aSavant	Finance Islamique	Savant	1	1..N	Savant en
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

#### ✚ Construction de la table des attributs des concepts

Les attributs sont des propriétés qui prennent leurs valeurs dans les types prédéfinis (String, Integer, Boolean, Date...). Pour chaque attribut nous spécifions : son nom, son type, sa cardinalité, sa valeur par défaut et l'intervalle de ses valeurs possibles. Le 4.6 représente la table des attributs des concepts de l'ontologie « IFBO ».

Tableau 4.6: Table des attributs des concepts.

Attribut	Type	Cardinalité	Valeur par défaut	Range des valeurs
NomEvenement	String	1	-	-
LieuEvenement	String	1	-	-
AdresseEvenement	String	1	-	-
MembreEvenement	String	1..N	-	-
AnnéeEvenement	String	1	-	-
ContactEvenement	String	1	-	-
SiteWebEvenement	String	1	-	-
NomInstitut	String	1	-	-
PaysInstitut	String	1	-	-

ContactInstitut	String	1	-	-
TypeContrat	String	1	-	-
NuméroContrat	String	1	-	-
DateContrat	Date	1	-	-
NomProContrat	String	1	-	-
NomBenifContrat	String	1	-	-
TitreLivre	String	1	-	-
AuteurLivre	String	1	-	-
DateLivre	Date	1	-	-
NbrPage	Num	1	-	-
MaisonEdition	String	1	-	-
ISBN	String	1	-	-
NomSavant	String	1	-	-
GradeSavant	String	1	-	-
AffiliationSavant	String	1..N	-	-
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

#### Construction de la table des axiomes

La table des axiomes contient des définitions de concepts à l'aide des expressions logiques qui sont toujours vraies. Dans cette table nous définissons pour chaque axiome sa description en langage naturel, le nom du concept auquel l'axiome se réfère et l'expression logique. Le tableau 4.7 représente un extrait des principaux concepts.

**Tableau 4.7: Table des axiomes de concepts.**

Concept	Expression Logique	Description
Finance Islamique	$\forall (X), \text{Finance Islamique}(X)$ $\exists E \text{ Evenement}(E) \text{ aEvenement}(X, E)$ $\exists I \text{ Institution}(I) \text{ aInstitution}(X, I)$ $\exists S \text{ Source}(S) \text{ aSource}(X, S)$ $\exists C \text{ Contrat}(C) \text{ aContrat}(X, C)$ $\exists P \text{ Prohibition}(P) \text{ aProhibition}(X, P)$ $\exists Pr \text{ Principes}(Pr) \text{ aPrincipe}(X, Pr)$	Finance Islamique a un évènement(s), a une institution(s), a une source(s), a un contrat(s), a une prohibition(s), a un principe(s), a un livre(s), a une source originaire qui est l'Islam.

	$\exists L \text{ Livre } (L) \text{ aLivre } (X, L)$ $\exists I \text{ Islam } (I) \text{ aOrigine } (X, I)$	
Islam	$\forall (X), \text{Islam}(X)$ $\text{Akidah}(X) \wedge \text{Akhlak } (X) \wedge \text{Shari'ah}(X)$	Islam est la source originaire de la finance islamique, l'Islam est une 'Akida (doctrine), Shari'ah et Akhlak (éthique).
Shari'ah	$\forall (X), \text{Shari'ah}(X)$ $\text{Mu'amalat } (X) \wedge \text{Ibadat } (X)$	Shari'ah est composée de : Mu'amalat et 'Ibadat.
'Akida	$\forall (X), \text{'Akidah}(X)$ $\text{Foi Unicité d'Allah}(X) \wedge \text{Foi aux anges}(X) \wedge \text{Foi aux livres}(X) \wedge \text{Foi aux messagers } (X) \wedge \text{Foi au jour dernier}(X) \wedge \text{Foi au destin}(X).$	'Akida est constituée des six piliers de la foi qui sont : foi à l'unicité d'Allah, foi aux anges, foi aux livres célestes, foi aux messagers de ALLAH, foi au jour du jugement dernier, foi au destin, qu'il soit bon ou mauvais.
<i>Mu'amalat</i>	$\forall (X), \text{Mu'amalat } (X)$ $\text{Judiciaire } (X) \vee \text{Financière } (X) \vee \text{Familiare } (X)$ $\exists C \text{ Contrat } (C) \text{ aContrat } (X, C).$	<i>Mu'amalat</i> qui peuvent être soit: Judiciaire ou Financière ou Familiale. Les <i>Mu'amalat</i> ont des contrats.
(...)	(...)	(...)

 **Construction de la table d'instances**

Dans cette section nous allons présenter une description de quelques instances de notre ontologie. Pour cela, nous spécifierons les noms des individus et les valeurs des attributs pour chacun d'eux. Le tableau 4.8 illustre quelques instances pour chaque classe.

Tableau 4.8: Table des instances de concepts de l'ontologie

Concept	Instance	Attribut	Valeur
Evènement	ICAIF 2020	NomEvenement	International Conference on Applications of Islamic Finance ICAIF
		LieuEvenement	Athens, Greece
		TypeEvenement	Conference
		DateEvenement	October 22-23, 2020
		ContactEvenement	<a href="https://panel.waset.org/Support">https://panel.waset.org/Support</a>
		SiteWebEvenement	<a href="https://waset.org/applications-of-islamic-finance-conference-in-october-2020-in-athens">https://waset.org/applications-of-islamic-finance-conference-in-october-2020-in-athens</a>
Institution	AIMS'	NomInstitut	AIMS' Institute of Islamic Banking and Finance
		PaysInstitut	London, United King dom
		ContactInstitut	<a href="https://aims.education/contact-us/">https://aims.education/contact-us/</a>
Contrat		TypeContrat	Murabahah
		NuméroContrat	M20201004-126
		DateContrat	26/10/2020
		NomProContrat	Banque Al Salam
		NomBenifContrat	Benali Ali
Livre	Finance Islamique	TitreLivre	Understanding Islamic Finance
		AuteurLivre	Muhammad Ayub
		DateLivre	December 2007
		NbrPage	542 Pages
		MaisonEdition	Wiley Finance
		ISBN	978-0470030691
Savant	Sheikh Ali Qaradaghi	NomSavant	Ali Al-Qaradaghi
		GradeSavant	Pr. Dr
		AffiliationSavant	Univesité de Qatar Centre de recherche sur la législation Islamique et éthique

		ContactSavant	Dr. Ali Al Qaradaghi (@Ali_AlQaradaghi)
(...)		(...)	(...)

## 5. Formalisation

Dans cette activité, nous utilisons le formalisme des logiques de description pour formaliser le modèle conceptuel que nous avons obtenu dans l'activité de conceptualisation.

### 5.1. Représentation de la partie terminologique (T-box)

Les définitions des différents concepts sont illustrées dans le tableau 4.9 où nous présentons les concepts relatifs à notre domaine, en utilisant les constructeurs fournis par les logiques de descriptions afin de donner des descriptions structurées aux concepts. Nous spécifions ainsi dans le tableau 4.10 les relations de subsomption qui existent entre les différents concepts.

Pour les rôles, nous les définissons en donnant les couples des concepts sources et cibles de chacun, et / ou en spécifiant son rôle inverse. Le tableau 4.10 représente les définitions de quelques rôles de notre ontologie.

**Tableau 4.9: Définitions des concepts de l'ontologie « IFBO » (dans TBOX) (extrait)**

Nom Concept	Définition	Relation de Subsomption
Evènement	$\exists$ NomEvenement.String $\sqcap$ $\exists$ LieuEvenement.String $\sqcap$ $\exists$ TypeEvenement.String $\sqcap$ $\exists$ DateEvenement.String $\sqcap$ $\exists$ ContactEvenement.String $\sqcap$ $\exists$ SiteWebEvenement.String	Evènement $\sqsubseteq$ Thing
Institution	$\exists$ NomInstitut.String $\sqcap$ $\exists$ PaysInstitut.String $\sqcap$ $\exists$ ContactInstitut.String	Institut $\sqsubseteq$ Thing

Contrat	$\exists$ TypeContrat.String $\sqcap$ $\exists$ NuméroContrat.String $\sqcap$ $\exists$ DateContrat.Date $\sqcap$ $\exists$ NomProContrat.String $\sqcap$ $\exists$ NomBenifContrat.String	Contrat $\subseteq$ Thing
Livre	$\exists$ TitreLivre.String $\sqcap$ $\exists$ AuteurLivre.String $\sqcap$ $\exists$ DateLivre.Date $\sqcap$ $\exists$ NbrPage.Integer $\sqcap$ $\exists$ MaisonEdition.String $\sqcap$ $\exists$ ISBN.String	Livre $\subseteq$ Thing
Savant	$\exists$ NomSavant.String $\sqcap$ $\exists$ GradeSavant.String $\sqcap$ $\exists$ AffiliationSavant.String	Savant $\subseteq$ Thing
(...)	(...)	(...)

Tableau 4.10: Définitions des rôles de l'ontologie « IFBO » (dans TBOX)

Rôle	Couple (domaine, Co-domaine)	Rôle Inverse
aEvènement	(Finance Islamique, Evènement)	Evènement de
aInstitut	(Finance Islamique, Institution)	Institution de
aContrat	(Finance Islamique, Contrat)	Contrat de
aLivre	(Finance Islamique, Livre)	Livre de
aProhibition	(Finance Islamique, Prohibition)	Prohibition de
aPrincipe	(Finance Islamique, Principe)	Principe de
aSource	(Finance Islamique, Source)	Source de
aSavant	(Finance Islamique, Savant)	Savant de
aOrigine	(Finance Islamique, Islam)	Origine de
(...)	(...)	(...)

## 5.2. Représentation de la partie assertionnelle (A\_box)

Le langage assertionnel est dédié à la description des faits, en spécifiant les individus (avec leurs classes) et les relations entre eux de la manière suivante :

**A : C** Pour dire que : A est une instance de la classe C.

**(A1, A2) : R** Pour dire que les deux individus A1 et A2 sont reliés par la relation R.

Dans les (tableaux 4.11 et 4.12) nous définissons quelques assertions.

**Tableau 4.11: Description assertionnelle des concepts**

Concept	Description
Savant	Yakoubi : Savant, Qorah dhaghi : Savant, Ali Muhyiddin : Savant, ...
Evènement	3rd Islamic fintech dialogue (IFD2020) : Evènement, International Sharī'ah Scholars Forum (2020) : Evènement. Le métier du banquier islamique (2020) : Evènement.
Institution	Institut de Recherches et de Formation en Finance Islamique (IRFFI) : Institut, African Institute of Islamic Finance : Institution, Institution français de finance islamique : Institution.
Livre	Islamic Capital Markets : Livre, Introduction to Islamic Banking and Finance : Livre, Islamic Banking and Finance in South-East Asia : Livre, Beyond Fintech : Livre, Current Issues in Islamic Banking and Finance : Livre
(...)	(...)

**Tableau 4.12: Description assertionnelle des relations**

Relation	Description
aSavant	(Finance Islamique, Qorah daghi) : aSavant,
aEvènement	(Finance Islamique, 3rd Islamic fintech dialogue) : aEvènement, ...
aInstitution	(Finance Islamique, Institut de Recherches et de Formation en Finance Islamique) : aInstitution, ...
aLivre	(Finance Islamique, Current Issues in Islamic Banking and Finance): aLivre.
(...)	(...)

## 6. Implémentation

L'implémentation consiste à traduire l'ontologie dans un langage opérationnel de définition d'ontologies. Notre choix porte sur le langage OWL pour la codification de l'ontologie, et cela pour toutes les fonctionnalités sémantiques que permet OWL et qui sont plus riches que celles de DAML+OIL. D'autre part, OWL est considéré comme un langage standard de définition des ontologies pour le Web. Pour implémenter l'ontologie nous avons suivi le guide de création d'ontologie (Noy et McGuinness, 2004). Le code source de l'ontologie implémentée se trouve dans l'annexe « A ».

En utilisant Protégé Editor, nous avons implémenté les classes, les attributs (figure 4.5), les relations, les individus (instances), les définitions de certains concepts avec la source de définition, la traduction de certains concepts (anglais, arabe, français et malais) (voir figure 4.6). L'ontologie résultante contient plus de soixante-dix classes et des centaines d'axiomes comme le montre (figure 4.4).

Cette ontologie peut être interrogée en utilisant le langage d'interrogation d'ontologie tel que DL Query ou SPARQL Query (voir figure 4.5). SPARQL permettra de rechercher, d'ajouter, de modifier ou de supprimer des données RDF. Par ailleurs, toutes les questions de compétence mentionnées dans le Tableau 4.2 de la tâche 4 peuvent être transformées en SPARQL Queries voir figure 4.8. L'ontologie résultante a été validée par une équipe de recherche de l'université des sciences islamiques « université Alger 1 » sous la direction du professeur de la shariah, Le professeur : Mustapha Bouakel. Elle est disponible sur le lien : [https://www.researchgate.net/publication/323454895\\_IFBO\\_Islamic\\_Finance\\_and\\_Banking\\_Ontology](https://www.researchgate.net/publication/323454895_IFBO_Islamic_Finance_and_Banking_Ontology)

Ontology metrics:

Metrics	
Axiom	215
Logical axiom count	95
Class count	79
Object property count	5
Data property count	3
Individual count	13
DL expressivity	ALE(D)

Class axioms	
SubClassOf axioms count	74
EquivalentClasses axioms count	2
DisjointClasses axioms count	0
GCI count	0
Hidden GCI Count	4

Figure 4.4: métriques de l'ontologie

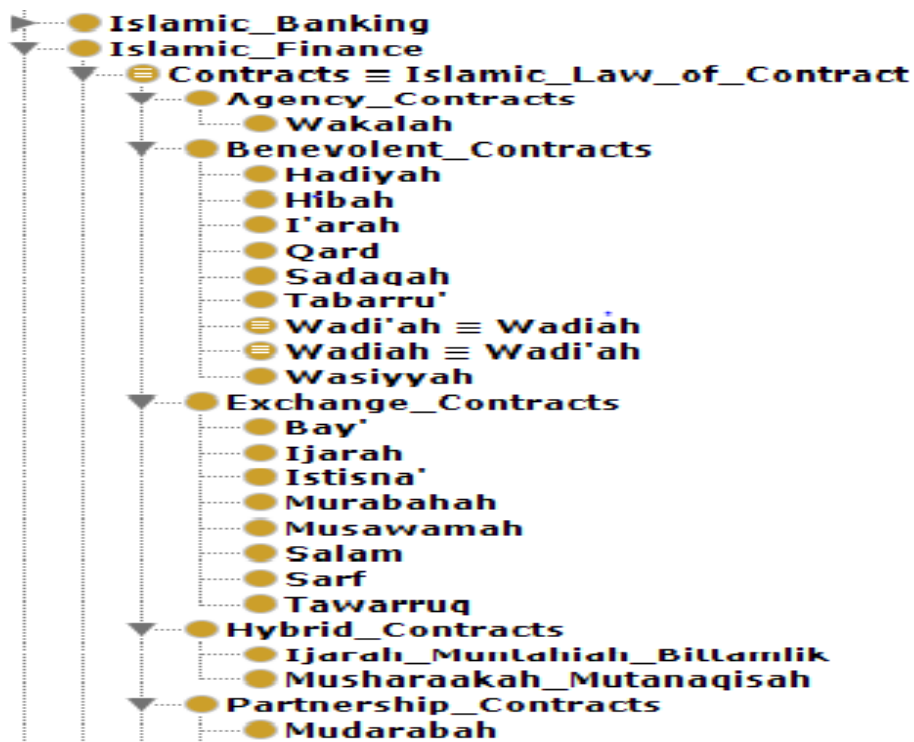


Figure 4.5: Arbre de classification des attributs

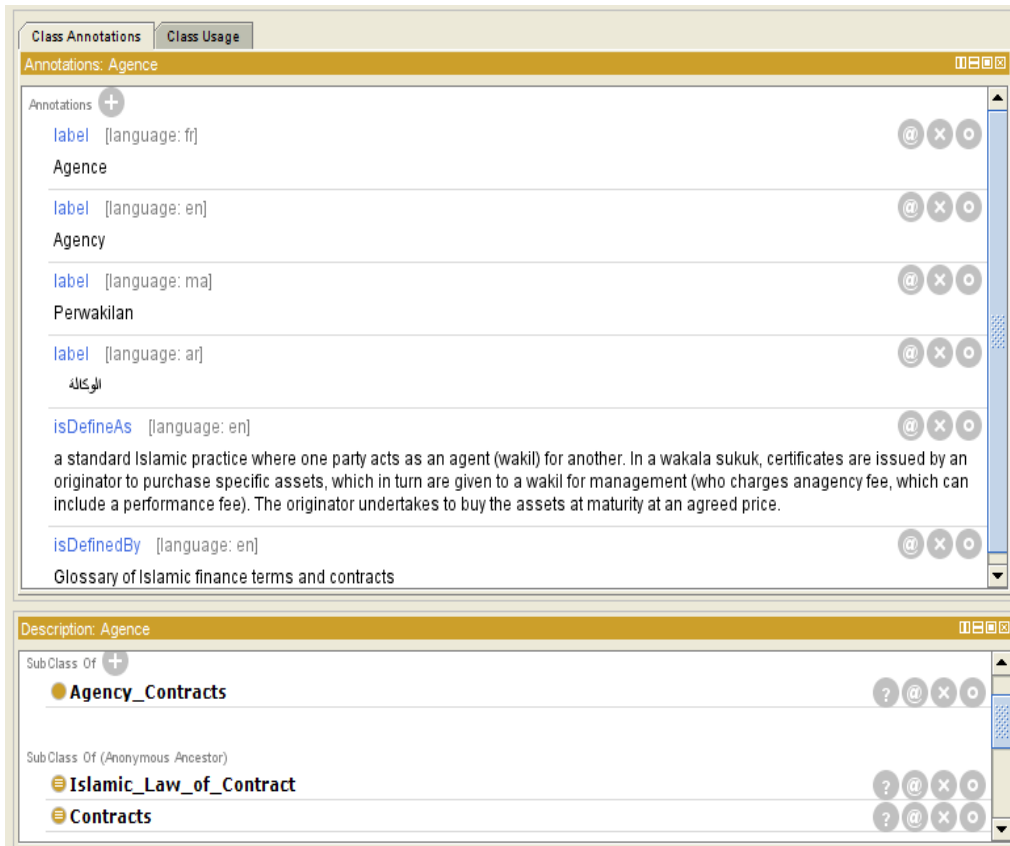


Figure 4.6: Exemple de concept de Wakalah implémenté dans Protégé

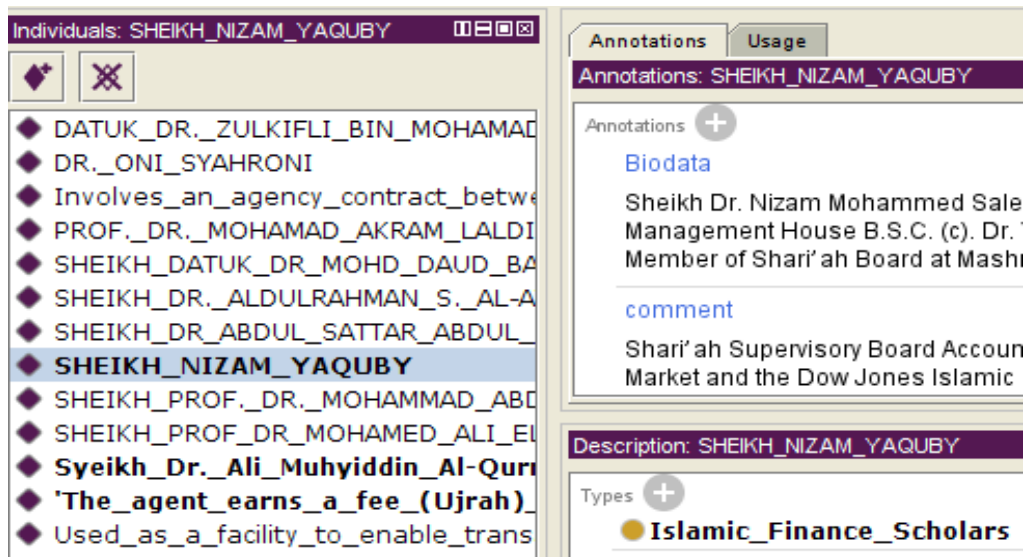


Figure 1.7: Interrogation de l'ontologie IFBO en utilisant SPARQL

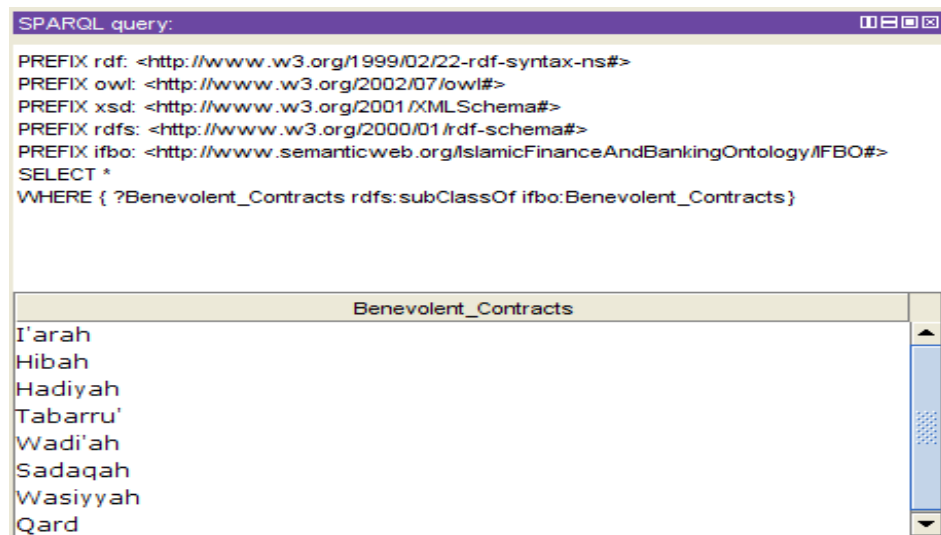


Figure 4.8: Exemple d'interrogation de l'ontologie IFBO en utilisant SPARQL

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé le processus suivi pour développer l'ontologie de domaine liée à la finance Islamique « IFBO ». Une ontologie standard qui peut être utilisée par divers utilisateurs et dans différents domaines impliqués dans la finance islamique.

La méthodologie « NeOn Methodology » a été adoptée pour la conceptualisation de l'ontologie afin d'atteindre un ensemble de représentations intermédiaires qui facilitent sa formalisation via une logique de description SHOIN. En se basant sur cette formalisation, nous nous sommes servi du langage OWL pour codifier l'ontologie formelle, en utilisant l'éditeur graphique PROTEGE, afin de guider l'implémentation et de produire un code OWL.

Cette ontologie a été validée auprès des experts (enseignants ; citons à titre d'exemple Pr. Bouakel Mustapha) de la Shariah et de la finance Islamique de l'université des Sciences Islamiques (Carroubier, Alger, Algérie). Aussi, elle est présentée au sein de la conférence ICT4M à savoir "International Conference on information & communication Technology for the Muslim World" organisée par l'institut de la Finance Islamique et le département d'informatique de l'*International Islamic University Malaysia* (IUMM). Le papier présenté a été publié dans IEEE Xplore avec un (DOI:[10.1109/ICT4M.2018.00023](https://doi.org/10.1109/ICT4M.2018.00023)) ; il est accessible à travers le lien suivant : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8567099>.

# Chapitre 5: Création d'un Système de Raisonnement à Base de Cas pour l'Aide à la Décision

---

Dans ce chapitre nous exposons notre contribution concernant la construction d'un système de raisonnement à base de cas guidé par une ontologie d'application adaptée à partir de l'ontologie du domaine créée dans le chapitre précédent. L'objectif est d'aider et assister les Muftis à prendre des décisions lors du processus de création de fatwa et de trouver l'argument nécessaire qui justifie la fatwa proposée.

---

## Sommaire

1.	Introduction .....	70
2.	Objectifs du Système CBR pour la Fatwa.....	71
3.	Approche proposée.....	71
3.1.	Représentation de connaissance .....	72
3.1.1.	Représentation de cas .....	72
3.1.2.	La base des cas (mémoire des cas).....	74
3.1.3.	Ontologie d'application support au système (similarité sémantique).....	74
4.	Architecture proposée pour le système .....	76
5.	Les composants du système .....	77
5.1.	Le cycle d'inférence.....	77
5.1.1.	Module de récupération.....	77
5.1.2.	Adaptation Module.....	79
5.1.2.1.	La Base de règles .....	79
5.1.2.2.	Algorithme d'Adaptation .....	80
5.1.3.	Module d'apprentissage et d'évaluation.....	81
6.	Interfaces du système .....	81
7.	Conclusion.....	85

---

## 1. Introduction

Dans la législation islamique, une fatwa consiste en la déclaration d'un avis juridique en accord avec les préceptes islamiques. Une fatwa est une déclaration juridique en islam, générée par un Mufti, sur une question spécifique. Les fatwas sont demandées par des Muftis ou des particuliers. Ils sont nécessaires dans les cas où un problème de Fiqh est indécis ou douteux. Les poursuites peuvent être réglées sur la base d'une fatwa (Ghazali, 2000).

La finance islamique doit être compatible et conforme avec les principes de la Charia exigée par le client musulman. Le conseil de la Charia de la finance islamique est créé pour cet objectif, il étudie la compatibilité de chaque produit avec la Charia, mais certains établissements ne sont pas disciplinés avec les instructions de ce conseil, en raison des restrictions de certains pays. Le respect des règles de la Charia varie donc d'une banque à l'autre et d'un pays à l'autre; cela amène les gens à avoir peur de ces produits, et pour chaque produit, ils demandent à l'Imam s'il est Halal ou non. L'Imam, qui n'est pas spécialisé dans la finance islamique et le domaine bancaire, va faire face à l'une de ces deux situations :

- Première situation : envoyer la requête à l'expert Mufti (qui est certifié pour donner de la fatwa et spécialisé dans le domaine).
- Deuxième situation : essayer de donner sa propre fatwa. Et comme il n'est pas spécialisé dans le domaine, cette fatwa peut être erronée.

L'objectif de ce chapitre est de présenter notre contribution au problème posé par cette thèse, à savoir le développement d'un système CBR guidé par une ontologie d'application pour l'aide à la décision dans le domaine de la législation islamique, en l'occurrence, les transactions bancaires.

Nous allons présenter les principaux objectifs du système, son architecture et ses composants principaux. Parmi ces derniers, nous allons présenter l'élément clé de ce système qui est l'ontologie d'application (construite à partir de l'ontologie du domaine IFBO). Cette ontologie servira par la suite pour l'inférence dans ce domaine. La suite de ce chapitre sera consacrée à la description et au déroulement de chaque composant du système.

Le CBR est un paradigme d'intelligence artificielle qui résout de nouveaux problèmes en récupérant des enregistrements stockés d'épisodes (cas) de résolution de problèmes antérieurs et en adaptant (ou en réutilisant) leurs solutions aux nouvelles circonstances (Leake, 2003). Le processus de raisonnement par cas peut être très avantageux pour un décideur qui

connaît un grand nombre de cas et a pu les indexer afin que les cas les plus pertinents viennent à l'esprit en cas de besoin (Amari et al., 2015).

## 2. Objectifs du Système CBR pour la Fatwa

Le développement d'un système CBR pour la fatwa permet le stockage des fatwas précédentes, la recherche dans la base des fatwas existantes, la récupération de la bonne fatwa si elle existe, la réutilisation et le partage des fatwas afin de :

- supporter le législateur (El Mufti) dans sa démarche de génération de fatwa et de construction de l'argumentaire accompagnant la fatwa (El-Isnad).
- relier les imams de toutes distances avec l'expert Mufti.
- partager les connaissances et l'expertise humaine dans ce domaine.
- remplacer l'expert Mufti en cas d'absence ou de mort.
- satisfaire le grand nombre de requêtes posées quotidiennement à l'expert Mufti en imitant sa tâche.
- inciter l'utilisateur à dispenser d'envoyer sa question (demande de fatwa), s'il trouve une question à laquelle il a été déjà répondu.
- diminuer le grand nombre des fatwas posées quotidiennement.
- se débarrasser du chaos des fatwas, chaque Mufti donne son avis personnel concerne une question donné qui mène à l'anarchiste.
- surmonter les défis de Dar al-Ifta' en Algérie (maison des fatwas) qui fait face à de vastes et de plus en plus de questions religieuses. Cette maison qu'elle a été rouverte ces dernières années après une longue fermeture depuis l'indépendance en 1962. Cet organisme est disparu et remplacé par une entité unique à caractère exécutif chargée des affaires religieuses : le ministère des affaires religieuses.
- En outre, le système devrait surmonter les défis de la langue, la syntaxe et la sémantique.

## 3. Approche proposée

L'approche proposée consiste à construire **un système CBR** (raisonnement à base de cas) soutenu par une **ontologie d'application** afin de contrôler les connaissances communiquées (sémantiquement).

Le système CBR proposé peut aider le Mufti à générer des fatwas pour de nouvelles situations (requêtes), en utilisant les fatwas de situations passées (requêtes précédemment traitées). Le système ne peut pas générer une nouvelle fatwa à partir de rien. Mais, il réutilise les fatwas stockées antérieurement, en imitant un imam.

Afin de permettre la réutilisation, le système organise ses connaissances dans des cas qui sont rassemblés dans une mémoire dite base des cas. Et pour une réutilisation optimale des cas, le système est soutenu par une ontologie d'application (IFAO) qui fournit un vocabulaire du domaine et permet de déterminer le degré de ressemblance entre deux classes ou objets (mesure de similarité sémantique).

### **3.1. Représentation de connaissance**

Un cas représente une pièce maîtresse de connaissance et joue un rôle primordial dans le processus du raisonnement des systèmes CBR. La première étape du développement d'un système CBR consiste à déterminer comment formuler un cas. Les cas peuvent être des instances des objets ou une partie de la situation d'une expérience passée. Un cas comprend des caractéristiques (attributs) uniques pour décrire un problème ; ces caractéristiques sont déterminées à l'avance par le concepteur du système.

Schank définit trois types de cas : les cas ossifiés, les cas paradigmatiques et les histoires (voir chapitre 1 la partie 4.1). Dans notre cadre, les cas histoires sont les cas les plus appropriés. Il existe trois grandes familles de modèles pour le raisonnement à base des cas : structurel (SCBR), conversationnel (CCBR) et textuelle (TCBR) (Lamontagne & Lapalme, 2002) (voir chapitre 1 la partie 4.1). Dans le cas de notre système, nous allons faire une mixture entre le modèle SCBR et CCBR de telle sorte que, la description du problème est structurée pour pouvoir contrôler le vocabulaire, la syntaxe et la sémantique en proposant des descripteurs du problème à l'avance lors de la conception du système. Tandis que, l'interaction avec l'utilisateur est guidée par une suite de questions et de réponses comme dans le modèle conversationnel, pour pouvoir mieux analyser le contexte des requêtes.

#### **3.1.1. Représentation de cas**

Un cas est constitué de descripteurs, également appelés dimensions, répartis en trois catégories : la description du problème, la solution et les enjeux de la solution. La description du problème inclut le contexte du cas. La solution est la solution du problème ou la réaction à

cette description. Dans le contexte de notre système, un cas contiendra deux parties comme montre la figure 5.1 :

- La partie description du problème (requête) contient :
  - Le type d'action effectuée : <Achat, Vente, Offre, Location, Loan, ....>.
  - Le nom de produit : <Voiture, Appartement, Maison, ... aucune>.
  - Le type du contrat : <Murabahah, Mudarabah, Leasing, Istisna', ..., aucune>.
  - Le type de banque : < Conventioneelle, Islamique,.... aucune>.
- La partie description de solution contient la réponse et les arguments :
  - La réponse contient le jugement (الحكم: حلال ، حرام ، يجوز أو لا يجوز)
  - Les arguments (الإسناد) à l'appui de la réponse : <Aaya, Hadith, ... .>.

Le raisonneur utilise des cas stockés dans une base de cas. Celui-ci est supposé représentatif de tous les problèmes susceptibles d'être mis au système. Plus il contient de cas, plus le cas sélectionné pour le raisonnement sera similaire au nouveau cas. La solution élaborée sera donc meilleure. Mais plus la base augmente, plus le temps est long.

Aussi, Le CBR utilise des mesures de similarité pour identifier les cas qui sont plus pertinents pour le problème à résoudre. Cependant, la plupart des mesures syntaxiques donnent souvent des échecs, un cas peut se représenter de différentes manières en utilisant de vocabulaires ayant le même sens mais syntaxiquement différents. Pour remédier à cette limitation, nous proposons de construire une ontologie d'application pour ce domaine afin de permettre le calcul de la mesure de similarité sémantique (voir 3.1.3).

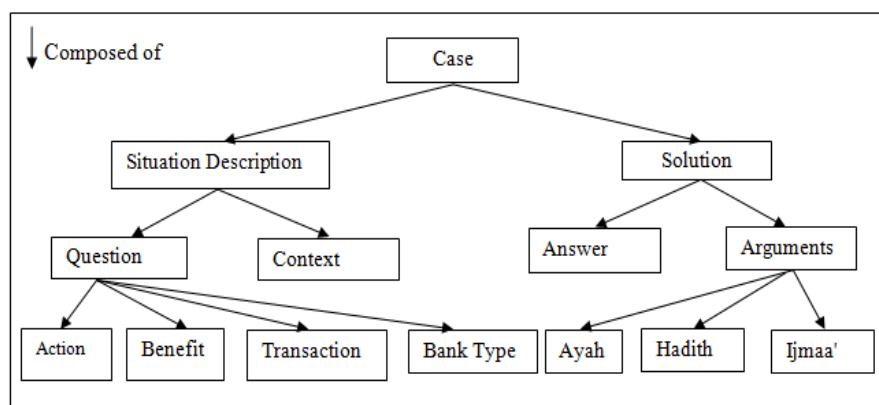


Figure 5.1: Description d'un cas

### 3.1.2. La base des cas (mémoire des cas)

La mémoire de cas est utilisée pour stocker les nouveaux cas résolus et les anciens cas appris, structurés et indexés. Cette base peut s'enrichir au fur et à mesure avec des nouveaux cas résolus. Les processus de mémorisation et de remémoration sont fortement liés à la façon d'organiser les cas dans la mémoire (Nouaouria, 2013).

Il existe plusieurs organisations de la mémoire (Kolodner, 1993; Bartsch-Spörl, 1999) (voir chapitre 1 partie 4.2). Le choix de la structure de mémoire dépend entièrement de la tâche à accomplir, du domaine d'application, et du nombre des cas disponibles. Dans notre cadre, les cas sont stockés dans une mémoire de cas plat ; le nombre actuel de cas permet de bonnes performances de cette organisation.

### 3.1.3. Ontologie d'application support au système (similarité sémantique)

Le CBR utilise des mesures de similarité pour identifier les cas qui sont les plus appropriés au problème à résoudre. Cependant, la plupart des mesures syntaxiques donnent souvent des échecs, à cause d'absence de la similarité sémantique. L'ontologie jouera donc un rôle clé étant donné qu'elle offre la mesure de similarité sémantique, caractéristique manquante dans tous les systèmes d'aide à la fatwa existants. Afin d'améliorer le taux de réussite de notre système, nous envisageons à construire une ontologie d'application qui sert comme support au système de raisonnement à base de cas.

Pour ce faire, nous allons adapter l'ontologie du domaine construite dans le chapitre précédent, en suivant le scénario 3 de la méthodologie NeOn Methodology (Suárez-Figueroa et al., 2015b) : la réutilisation des ressources ontologique (voir chapitre 2 la partie 6.5.4). Ce scénario est composé de six étapes :

#### **Étape 1: rechercher des ontologies existantes**

Il est fortement recommandé par les experts de réutiliser des ontologies vu que la réutilisation des ontologies existantes donne une valeur clé aux chercheurs : gain du temps de développement des ontologies, efforts et coût (Benlaharache & Nouaouria, 2018). Très peu des ontologies existent dans le domaine de la finance islamique comme nous avons vu dans le chapitre précédent. C'est pourquoi nous avons fait l'effort pour construire une pour ce domaine (vu l'utilité et la nécessité).

**Etape 2: choisir une ontologie pour la réutiliser**

IFBO: (Islamic Finance and Banking Ontology) est sélectionnée pour être réutilisée. Pour plus de détails voir le chapitre 4.

**Etape 3: télécharger l'ontologie et extraire les modules utiles**

Cette étape consiste à télécharger l'ontologie IFBO, l'importer dans l'environnement de travail et enfin extraire les modules nécessaires pour une éventuelle réutilisation.

**Etape 4 : adapter et localiser les modules extraits**

Cette étape consiste à l'adaptation des modules extraits au nouveau contexte de l'application, en ajoutant d'autres concepts, objets et traduction / transcription au langage utilisé dans le système. Par exemple, transcription des contrats vers la langue Arabe (voir tableau 5.1).

**Tableau 5.1: Transcription du module contrats à la langue Arabe**

<i>Concepts dans IFBO</i>	<i>Transcription</i>	<i>Concepts dans IFBO</i>	<i>Transcription</i>
<b>Wakalah</b>	وكالة	Bay'	بيع
<b>Hadiyah</b>	هدية	Ijarah	إجارة
<b>Hibah</b>	هبة	Istisna'	استصناع
<b>I'arah</b>	إعارة	Murabahah	مرا بحة
<b>Qardh</b>	قرض	Mussawamah	مساومة
<b>Sadaqah</b>	صدقة	Salam	سلم
<b>Tabarru'</b>	تبرع	Sarf	صرف
<b>Wadi'ah</b>	وديعة	Tawarruq	تورق
<b>Wassiyah</b>	وصية	Mudarabah	مضاربة

**Etape 5 : ajouter des nouveaux modules pour le nouveau contexte**

Cette étape consiste à rajouter des nouveaux modules qui n'existaient pas dans l'ontologie du domaine IFBO et qui sont nécessaires pour le bon fonctionnement de notre système d'aide à la décision comme par exemple le module « action et bénéfice » (voir tableau 5.2).

Tableau 5.2: Exemple des modules " Action et bénéfice"

Action (الفاعل)	Synonyms	Benefit (المنفعة)	Synonyms
شراء	اشتراء، ابتياع	منزل	شقة دار بيت
كراء	إيجار، استئجار	محل	دكان
بيع	-	أجهزة كهر ومنزلية	-
رهن	-	مركبة	سيارة عربية شاحنة
اقتراض	تسليف، إعاره، قرض	خمر	كحول

Etape 6 : implémenter l'ontologie

Implémenter l'ontologie dans Protégé, le résultat obtenu est l'ontologie "IFAO Ontology" montrée dans la figure 5.2.

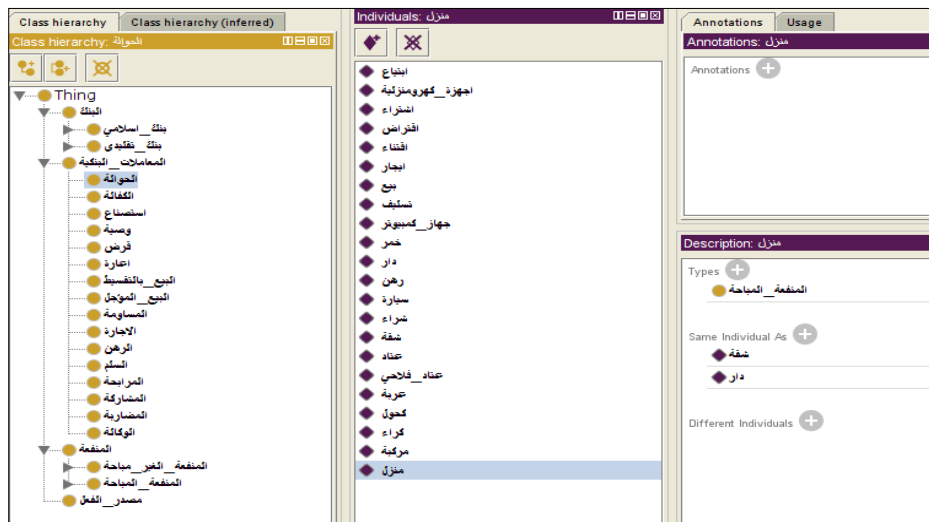


Figure 5.2: Islamique Finance et banque Application Ontologie (IFAO)

4. Architecture proposée pour le système

L'architecture du système est illustrée dans la figure 5.3. Elle comprend les composants suivants : mémoire de cas, ontologie d'application de la finance islamique (IFAO), interfaces du système et les quatre modules nécessaires à son fonctionnement à savoir le module de récupération, d'adaptation, d'évaluation et d'apprentissage. En entrée, il recevra une description de la situation et il fournira une réponse avec ses arguments en sortie.

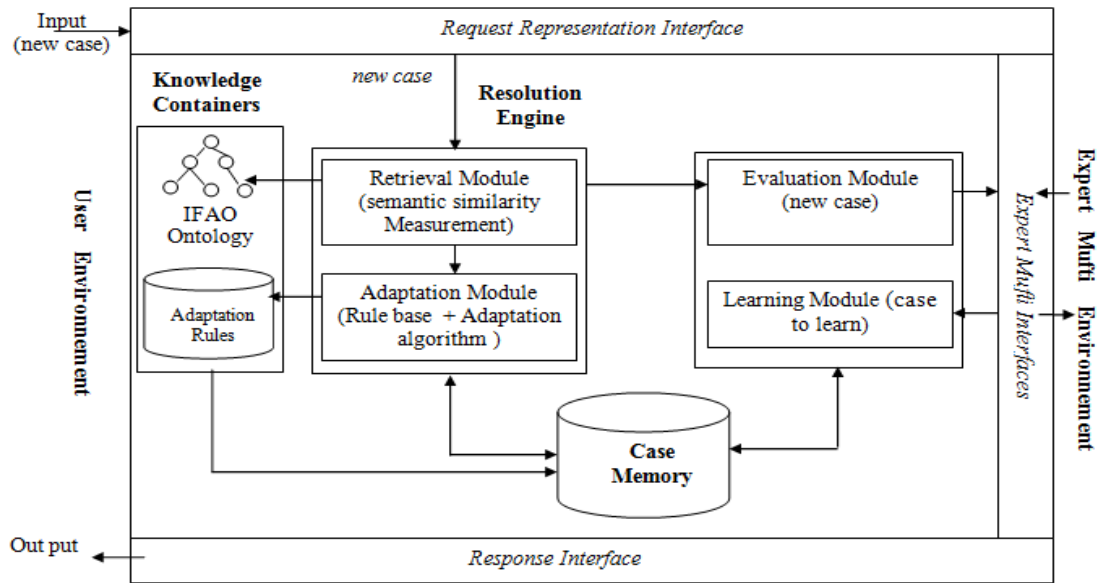


Figure 5.3: L'architecture du système CBR.

## 5. Les composants du système

Les composants du système sont : *la mémoire de cas* (la base de cas) et *l'ontologie d'application de la finance islamique (IFAO)* qui sont présentées auparavant. Dans cette section nous allons présenter *le cycle d'inférence* composé des modules de récupération de cas, d'adaptation, d'évaluation et d'apprentissage. Dans la section suivante, nous nous concentrons sur l'implémentation du système tout en présentant des exemples illustratifs à travers des *interfaces du système (captures d'écran)*.

### 5.1. Le cycle d'inférence

Les quatre modules de raisonnement sont la partie opérationnelle du système ; la figure 5.3 montre en détail le processus du cycle d'inférence.

#### 5.1.1. Module de récupération

Quand un nouveau problème (requête) est posé et est décrit comme une partie du problème d'un nouveau cas, la mesure de similarité sémantique est calculée entre les nouveaux descripteurs du problème et les anciens descripteurs du problème pour identifier les cas les plus similaires au nouveau problème à partir de la mémoire de cas (base de cas). La mesure de similitude sémantique est assumée par l'ontologie d'application créée auparavant. Elle est intégrée au cycle CBR pour améliorer leurs résultats de recherche de cas.

- **Exemple**

Description du problème = <Action', produit', transaction', type de banque'>.

Dans ce cas, la mesure syntaxique donne un échec. Ainsi, le système doit être en mesure de sélectionner le cas ou l'ensemble des cas avec une plus grande similitude pour réutiliser la solution après une éventuelle adaptation. C'est pourquoi, l'ontologie d'application est nécessaire pour évaluer la similitude entre les descripteurs de problème de cas. L'approche proposée est détaillée dans (Benlaharche & Nouaouria, 2018a) et résumée comme suit :

- **Mesure de similarité syntaxique**

```
if ∃ problem description=<action, benefit, transaction, Bank Type>
then < Solution>
else <Fail>;
```

- **Mesure de similarité sémantique**

```
if ∃ problem description=<Action', benefit', transaction', Bank
Type'> And {
    Sim(Action, Action')=1;
    Sim(benefit, benefit')=1;
    Sim(transaction, transaction')=1;
    Sim (Bank Type, Bank Type')=1
}
then< Solution>
else <fail>;
```

- **Similarité des attributs**

$$Sim(D, D') = \begin{cases} 1 & \text{if } (D \text{ same as } D') \text{ or } (D \text{ equivalent to } D'); \\ & // D \text{ value of the new problem case} \\ & // D' \text{ value of retrieved problem case.} \\ 0 & \text{otherwise;} \end{cases}$$

- **Mesure de similarité sémantique moyenne**

La mesure de similarité moyenne (A-Sim) entre les nouveaux descripteurs de problème de cas (NDP) et les anciens descripteurs de problème de cas (ODP), dans le système proposé, est donnée par :

$$A-Sim (NPD,OPD) = \sum_{j=1}^n \frac{Sim(D,D')}{n} ;$$

Où

- $j$  fait référence à un attribut de descripteur du problème.
- $n$  fait référence à un certain nombre d'attributs de descripteurs.

### 5.1.2. Adaptation Module

Le résultat du module de récupération est un ensemble de cas avec une plus grande similitude. Ensuite, le module d'adaptation réutilise la solution des anciens cas récupérés après une éventuelle adaptation. Cette adaptation utilise un ensemble de règles trouvées dans *la base de règles* et l'ontologie d'application (IFA0) ; elle est effectuée par *un algorithme d'adaptation*.

#### 5.1.2.1. La Base de règles

La base de règles contient 4 règles principales, comme indiqué dans le tableau ci-dessous (Tableau 5.3).

**Tableau 5.3: La base de règles**

Règles	Descriptions	Conditions	Exemples
Règle 1	D inverse of D'	D,D' instances of Action	(Achat, Vente)
Règle 2	D sub class direct D'	D' = Produit Halal / D'= Produit Haram / D'= Contrats	(Réalité, Produit Halal)/ (Alcool, Produit Haram )/ (Musharakah, Contrats)
Règle 3	D sub class indirect of D'	D' = Produit Halal / D'= Produit Haram / D'= Contrats	(Réalité Commerciale, Produit Halal) (Gelatine, Produit Haram)/ (Bay' Bi Thaman 'Ajil, Contracts)
Règle 4	D instance of D'	-	(Terrain, Produit Halal)
Règle 5	Sim (D,D')=1	-	(Voiture, Automobile)

### 5.1.2.2. Algorithme d'Adaptation

L'algorithme d'adaptation est le noyau du module d'adaptation, il se compose d'un ensemble de cas à exécuter en fonction des descripteurs de problème et basés sur l'ontologie de l'application.

```

begin

if [case retrieved] then
    < Extracted Answer>
else

case 1: D inverse of D' do D=D';
case 2: D sub class direct of D' do D=D';
case 3: D sub class indirect of D' do D=D';
case 4: D instance of D' do D=D';
case 5: Sim(D,D')=1 do D=D';
.....
.....
otherwise: <send the query to expert Mufti>;

end;

```

- **Exemple**

L'utilisateur a posé la question : quelle est la décision d'achat d'un camion par Murabaha via une banque islamique?

Nouvelle description du problème = <Acheter, Camion, Murabaha, Banque Islamique>;

Quatre hypothèses peuvent suggérer :

**Hypothèse 1** : on suppose qu'ils existent,

Ancienne description du problème = <Acheter, Camion, Murabahah, Banque islamique>;

Puis par mesure sémantique : Murabaha équivaut à Murabahah,

Sim (acheter, acheter) = 1;

Sim (camion, camion) = 1;

Sim (Murabaha, Murabahah) = 1;

Sim (Banque islamique, Banque islamique) = 1;

A-Sim = (1 + 1 + 1 + 1) / 4 = 1

Nouvelle description du problème = <Acheter, Camion, Murabahah, Banque islamique>;

puis <Extraire la réponse exacte>;

**Hypothèse 2** : supposons qu'après calcul de la mesure de similarité sémantique entre les deux descripteurs, la similitude moyenne soit comprise entre 0 et 1, ( $0 < A\text{-Sim} < 1$ ). Dans cette situation, le module d'adaptation recherche dans la base de règles la règle appropriée. De l'ontologie :

L'achat est l'inverse de la vente, puis la règle 1 est exécutée ;

Le camion est une instance de l'avantage Halal, puis la règle 4 est exécutée ;

Murabahah est la sous-classe directe des contrats, puis la règle 2 est exécutée ;

$\text{Sim}(\text{Banque islamique}, \text{Banque islamique}) = 1$ , puis la règle 5 est exécutée ;

Nouvelle description du problème = <Vente, camion, Murabahah, Banque islamique>;

puis <A-Sim recalculé>;

Si  $A\text{-Sim} = 1$  alors

<Extraire la réponse>;

<Nouveau cas appris>;

autres

<Extraire l'ensemble des cas similaires>; // apparaîtra comme des cas similaires

<Envoyez la requête avec un ensemble de cas similaires à évaluer>; // par l'expert Mufti

**Hypothèse3** : supposons qu'après calcul de la mesure de similarité sémantique, aucune ressemblance entre les deux descripteurs ; toutes les dimensions donnent zéro ( $A\text{-Sim} = 0$ ). Dans cette situation, le module d'adaptation envoie cette requête à l'expert Mufti pour donner de nouvelles réponses (apprentissage manuel) en montrant à l'utilisateur un message d'échec : "Désolé, il n'y a pas de réponse à votre requête, votre requête a été envoyée à l'expert Mufti. Veuillez réessayer plus tard".

### 5.1.3. Module d'apprentissage et d'évaluation

L'Expert-Mufti enrichit la base de cas et l'ontologie de l'application si nécessaire. L'Expert-Mufti dispose d'une interface spécifique pour ajouter, modifier et supprimer des cas. Son rôle est d'évaluer les réponses proposées pour les cas compris entre (0 et 1). Il peut les valider ou en générer de nouveaux pour faire apprendre le système. L'apprentissage automatique n'est réalisé que lorsque la similarité moyenne ( $A\text{-Sim} = 1$ ).

## 6. Interfaces du système

Le système baptisé (AFIF 1.0 : Assistant system for Fatawa in Islamic Finance) prend en charge une interface multilingue. Dans ce qui suit, la session illustre le cadre dans une version anglaise

/ arabe. Ce dernier est destiné à 3 types d'utilisateurs : utilisateur simple (سائل), expert Mufti (خبير) et administrateur (مدير). Il commence par afficher le menu suivant (figure 5.4).



Figure 5.4. Le Menu principal

Un mot de passe est requis pour chaque type d'utilisateur. Par conséquent, on présente trois sessions, une par type d'utilisateur.

• **Session utilisateur**

Le formulaire présenté à la figure 5.5 prend en charge la saisie de la question.

- Le genre de question qui peut être: (Quel est le jugement? Quelle est la punition?) :: (( ما حكم؟ ما حد؟
- l'action, comme : (Acheter, louer, vendre, hypothèque) :: (شراء, كراء, بيع, رهن)
- L'avantage : (Emplacement commercial, maison, voiture) :: (محل, منزل, سيارة)
- Le type de contrat : (Murabaha, Musharakah, Mudharabah) :: (مراوحة, مضاربة, مشاركة)
- Le type de banque comme : (conventionnelle, islamique) :: (تقليدي, إسلامي)

• **Session utilisateurs**

Le formulaire présenté dans la figure 5.5 prend en charge la saisie de la question.

- Le genre de question qui peut être : (Quel est le jugement ? Quelle est la punition ?) :: (( ما حكم؟ ما حد؟
- L'action, comme : (Acheter, louer, vendre, hypothèque) :: (شراء, كراء, بيع, رهن)
- Le produit : (Emplacement commercial, maison, voiture) :: (محل, منزل, سيارة)
- Le type de contrat : (Murabaha, Musharakah, Mudharabah) :: (مراوحة, مضاربة, مشاركة)
- Le type de banque comme : (conventionnelle, islamique) :: (تقليدي, إسلامي)



Figure 5.5. La forme des Questions

En cliquant sur le bouton (Analyse :: *حلل*), nous obtenons la réponse dans la figure 5.6.



Figure 5.6. La forme des Réponses

En cliquant sur le bouton (Cas similaires :: *الحالات المتشابهة*), les cas similaires seront illustrés dans la figure 5.7.



Figure 5.7. La forme des cas Similaire

Pour voir toutes les réponses similaires, il est demandé de naviguer sur la grille.

### • Session administrateur

Le rôle de l'administrateur est d'installer la base de cas avant d'utiliser le système. A tout moment, il peut parcourir la base de cas (voir figure 5.8).



Figure 5.8. Menu Administrateur

Un clic sur l'un des deux boutons affiche la base de la fatwa selon la forme de la figure 5.9.

### • Session Expert Mufti

L'expert Mufti peut utiliser le système comme un simple utilisateur, c'est-à-dire en posant des questions. Il a également la possibilité d'introduire une réponse à une question précédemment posée par un utilisateur simple. Enfin, il peut modifier une réponse contenue dans la base de cas. Le menu de la figure 5.9 est affiché pour lui.



Figure 5.9. Expert Mufti menu

En cliquant sur le bouton (Question & Réponse :: سؤال و جواب), la forme de la figure 5.5 s'affiche. De même, en cliquant sur le bouton (Modifier la réponse :: إدخال جواب), le formulaire de la figure 5.10 s'affiche.



Figure 2.10. Introduire les réponses

L'expert peut alors introduire la partie solution d'un cas dans la base de cas fatwa.

Un clic sur le bouton (Adjust :: تعديل) permet d'afficher le formulaire de la figure 5.11 afin de modifier une réponse déjà introduite.



Figure 5.11. Réponse Ajustée

## 7. Conclusion

Le CBR imite le souvenir humain et la réutilisation d'anciennes solutions pour gérer les nouvelles manifestations d'un problème. Il a été largement adopté dans les systèmes juridiques en raison de la similitude entre le processus de génération de fatwas. Le raisonnement juridique fondé sur des cas est pertinent pour la législation islamique.

Le cadre pour la jurisprudence en finance islamique et bancaire conçu pour relier les imams de toute distance avec l'expert Mufti, partager la bonne fatwa, aider l'imam dans le processus de récupération et de génération de fatwas. Il pourrait être considéré comme un outil intelligent pour aider mufti et aussi, un système de recherche d'informations. Il aide l'imam dans le processus de génération de fatwa pour la nouvelle situation en réutilisant la situation passée. Pour mesurer efficacement la similitude, l'ontologie d'application de la finance islamique (IFAO) a été construite. Cette ontologie est l'élément clé du Framework proposé. Elle fournit un vocabulaire de domaine et permet de déterminer le degré de ressemblance entre deux classes

ou objets. Cette ontologie a été construite en réutilisant l'Ontologie bancaire et financière islamique de référence (IFBO), puisque la réutilisation est recommandée par les experts du domaine.

Le système contient une mémoire de base de cas pour les fatwas antérieures. Chaque cas stocké dans la mémoire se compose de deux parties : la description du problème et la solution de ce problème. Les interfaces de cadre permettent d'exprimer la demande des utilisateurs avec précision et d'obtenir des réponses émises par des experts. Il offre des conseils solides aux utilisateurs. En effet, généralement, les questions sur les fatwas sont posées sous forme d'histoires et non des champs de texte libre. De plus, les modules d'apprentissage et d'évaluation sont gérés manuellement en raison de la complexité de ce domaine et des restrictions données par l'expert Mufti. Ces limites sont les cibles des travaux futurs.

Il est absolument nécessaire de remédier à l'absence de systèmes de Charia en général et de systèmes de Charia spécifiés à la finance et à la banque islamiques. Par conséquent, ces travaux ouvrent la porte aux chercheurs pour combiner leurs efforts afin de faire progresser ce domaine prometteur en proposant des idées, des approches et des systèmes utiles.

# Conclusion générale et perspectives

---

L'objectif de ce travail de recherche était, le développement d'une ontologie de domaine pour l'aide à la décision dans le cadre des transactions bancaires islamiques. Pour atteindre cet objectif, nous avons construit l'ontologie, baptisée IFBO, à partir des ressources existantes dans la littérature (dictionnaires, glossaires, etc.), comme abordé dans le chapitre 4. Le processus de construction et le code-source de l'ontologie résultante sont détaillée dans la référence (Benlaharche et al., 2018). En outre, son code source se trouve dans le lien ci-dessous, pour des raisons de réutilisation et de partage<sup>1</sup>.

Ensuite, nous avons développé un système CBR qui se base sur l'ontologie d'application IFAO construite à partir de l'ontologie de domaine IFBO adaptée aux besoins du système. L'objectif est d'assister le Mufti dans sa démarche de génération de fatwa dans le domaine des transactions bancaires. Pour ce faire, nous avons proposé une architecture à ce système dont l'élément crucial est l'ontologie IFAO et un algorithme qui permet de mesurer la similarité à partir de l'ontologie d'application proposée. Cette ontologie a été servie pour l'inférence dans ce domaine. Le développement d'un système CBR nous a permis le stockage, la recherche, la récupération, la réutilisation et le partage des fatwas pour faciliter la tâche du législateur (El Mufti) dans sa démarche de génération de fatwa et de construction de l'argumentaire accompagnant la fatwa (El-Isnad).

Le système CBR, dédié à l'assistance du Mufti au sein de l'élaboration de fatwa, récupère des fatwas à partir de sa base de données créée et enrichie selon le cas qui correspond le mieux à la question posée. En outre, il effectue une série d'inférence et de calcul de similarité à travers l'ontologie construite. Une liste de fatwas similaires est proposée comme résultat.

Un travail préalable a été effectué à travers un aperçu sur les systèmes de raisonnement à base des cas (définitions, cycle, notions de base, méthodes de construction, avantages et inconvénients), suivie par le concept d'ontologie dans l'ingénierie des connaissances et enfin une recherche sur les ontologies de la finance islamique existantes dans la littérature et dans les moteurs de recherche du web sémantique et les systèmes de la législation islamique existants.

---

<sup>1</sup>[https://www.researchgate.net/publication/323454895\\_IFBO\\_Islamic\\_Finance\\_and\\_Banking\\_Ontology](https://www.researchgate.net/publication/323454895_IFBO_Islamic_Finance_and_Banking_Ontology).

La construction de l'ontologie du domaine de la finance islamique baptisée « IFBO » permet l'enrichissement et le contrôle des structures syntaxiques des interfaces de notre système de génération des fatwas, avec son contenu sémantique. Cela nous a aidés à aboutir à un meilleur taux de résultats pertinents (augmente le taux de réussite d'une requête). Pour construire cette ontologie, nous avons suivi une méthodologie précise et laborieuse «NeOn Methodology». En effet, cette méthodologie nous a permis de conduire le processus de construction afin d'atteindre un ensemble de représentations intermédiaires qui facilitent la formalisation via la logique de descriptions SHOIN. Ensuite, nous avons utilisé l'éditeur graphique PROTEGE OWL, pour l'implémentation de l'ontologie et la génération du code OWL.

Pour la création de notre système de raisonnement à base de cas, nous avons fixé les principaux objectifs du système et proposé son architecture et ces composants principaux. Parmi ces derniers, nous avons exposé l'élément clé de ce système qui est l'ontologie d'application (construite à partir de l'ontologie du domaine IFBO). Cette ontologie a été servie dans l'inférence dans le domaine de la législation islamique.

Enfin, l'intégration de l'aspect sémantique dans le contexte d'un système CBR est incontestablement bénéfique. Cette approche a répondu aux besoins enregistrés et qui s'articulent autour des faiblesses des systèmes existants (proposés par des chercheurs du même domaine). Ce projet permettra, de s'ouvrir sur une gestion plus intelligente du contenu et un plus grand partage des fatwas et des connaissances de finance islamique.

Cependant, cette version du système résultant baptisée « AFIF 1.0 » reste ouverte à de nouvelles perspectives, dont la priorité doit être accordée à une représentation plus fidèle du contexte. Par ailleurs, il est fortement recommandé d'intégrer ce système dans la plateforme du ministère des affaires religieuses et d'avoir plus d'enrichissement des connaissances.

Enfin, la réalisation de ce projet, a été marquée par deux points importants. Le premier concerne les nombreuses difficultés que nous avons rencontrées au début du travail (la collecte et la compréhension du domaine de fonctionnement du législateur et aussi les banques islamique outre la recherche des ontologies de la finance islamique existantes) et aussi à sa fin (dans l'intégration de l'ontologie dans le CBR). Le second point à noter est positif en concernant l'automatisation de la génération des fatwas au profil des Imams.

# Productions scientifique

---

Benlaharche, Keltoum, Zakaria Laboudi, Nabila Nouaouria, et Zegour Djamel Eddine. « An ontology driven question answering system for fatawa retrieval ». *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 23 (1 août 2021): 980. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i2.pp980-992>.

Benlaharche, K., Nouaouria, N., & Meslati, D. (2018). Towards a Reference Ontology in Islamic Finance and Banking. 2018 International Conference on Information and Communication Technology for the Muslim World (ICT4M), 74-79. <https://doi.org/10.1109/ICT4M.2018.00023>

Benlaharche, Keltoum, & Nouaouria, N. (2018). Ontology based Similarity for Case Based Reasoning in Islamic Banking. *International Journal on Islamic Applications in Computer Science and Technology*, Vol.6, Issue 2, June 2018, 09-20. <http://www.sign-ific-ance.co.uk/index.php/IJASAT/article/view/2013>

Djamel Eddine et Benlaharche (2018), « “ENNOUR” To search, interpret and translate verses of the Holy Quran including recitation ». *International Journal on Islamic Applications in Computer Science and Technology*. Vol. 6, Issue 4, December 2018, 01-10. <http://www.sign-ific-ance.co.uk/index.php/IJASAT/article/view/2161>

بن لحرش, ك. نواورية, ن. بن لحرش, ن. بعلي, ب. ب. & مسلاتي, ج. (2017). نظام ذكي للإجابة على الأسئلة باللغة العربية. المجلس الأعلى للغة العربية، التكنولوجيات الجديدة ودورها في صناعة اللغة العربية، 162-141

# Références bibliographique

---

- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). *Case-Based Reasoning : Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches*. <http://content.iospress.com/articles/ai-communications/aic7-1-04>
- Abou Assali, A., Lenne, D., Debray, B., & Bouchet, S. (2009). COBRA : Une plate-forme de RàPC basée sur des ontologies. *IC 2009*, 277-288. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00377373>
- Aha, D. W., Breslow, L. A., & Muñoz-Avila, H. (2001). Conversational Case-Based Reasoning. *Applied Intelligence*, 14(1), 9-32. <https://doi.org/10.1023/A:1008346807097>
- Al Sun, M. H. A. (2012). *Indexation guidée par les connaissances en imagerie médicale* [Phdthesis, Télécom Bretagne, Université de Bretagne Occidentale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00719587>
- Allen, B. P. (1994). Case-based reasoning : Business applications. *Communications of the ACM*, 37(3), 40-43.
- Amari, H., Atil, F., Bounour, N., & Nouaouria, N. (2015). Intelligent tool for mufti assistance 2015.pdf. *International Journal on Islamic Applications in Computer Science And Technology*, 3(2), 1-9.
- Begum, S. & Mälardalens högskola. (2011). *A personalised case-based stress diagnosis system using physiological sensor signals*. School of Innovation, Design and Engineering, Mälardalen University. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-12257> urn:nbn:se:mdh:diva-12257
- Benlaharche, K., & Nouaouria, N. (2018, juillet). Towards reference ontology for islamic finance and banking. *International Conference On Information & Communication Technology for the Muslim world 2018*. International Conference On Information & Communication Technology for the Muslim world 2018, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Benlaharche, K., & Nouaouria, N. (2019). Ontology based Similarity for Case Based Reasoning in Islamic Banking. *International Journal on Islamic Applications in Computer Science And Technology*, 6(2). <http://www.sign-ific-ance.co.uk/index.php/IJASAT/article/view/2013>
- Benlaharche, K., Nouaouria, N., & Meslati, D. (2018). Towards a Reference Ontology in Islamic Finance and Banking. *2018 International Conference on Information and Communication Technology for the Muslim World (ICT4M)*, 74-79. <https://doi.org/10.1109/ICT4M.2018.00023>
- Ber, F. L., Lieber, J., & Napoli, A. (2006). *Les systèmes à base de connaissances* (p. 1197--1208). Vuibert. <https://hal.inria.fr/inria-00201566>

- Coste, F. (2017). La structuration financière comme enjeu de définition de l' « islamité » : Pakistan, Golfe et Malaisie. *Studia Islamica*, 112(2), 264-293. <https://doi.org/10.1163/19585705-12341363>
- El Faci, A. (1993). *Makasidou al Shariaa el Islamiya wa Makarimouha* (Dar Al Gharb El Islami.).
- Elhalwany, I., Mohammed, A., Wassif, K., & Hefny, H. (2015). *Using textual case based reasoning in intelligent fatawa QA system.pdf*. The International Arab Journal of Information Technology, Vol. 12, No. 5.
- Fei, L., & Feng, Y. (2020). A novel retrieval strategy for case-based reasoning based on attitudinal Choquet integral. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 94, 103791. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103791>
- Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., & Juristo, N. (1997, mars). METHONTOLOGY : From Ontological Art Towards Ontological Engineering. *Proceedings of the Ontological Engineering AAAI-97 Spring Symposium Series*. AAAI-97 Spring Symposium Series, Stanford University, EEUU. <http://oa.upm.es/5484/>
- Furst, F. (2004). Opérationnalisation d'une ontologie : Une méthode et un outil. In N. Matta (Éd.), *15èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances* (p. 199-210). Presses universitaires de Grenoble. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00377876>
- Ghazali, A. H. (2000). *Al-Moustasfâ min 'Ilm al-OUssoul* (Dar El Koutoub El Ilmia). <https://www.librairie-salafsalih.com/par-themes/1181-al-moustasfa-min-ilm-al-oussoul-abou-hamid-al-ghazali.html>
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 199-220. <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
- Gruninger, M., & Fox, M. S. (1995). The Logic of Enterprise Modelling. In J. Browne & D. O'Sullivan (Éds.), *Re-engineering the Enterprise: Proceedings of the IFIP TC5/WG5.7 Working Conference on Re-engineering the Enterprise, Galway, Ireland, 1995* (p. 83-98). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-34876-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-34876-6_9)
- Guarino, N. (1998). *Formal Ontology in Information Systems : Proceedings of the First International Conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy*. IOS Press.
- Guarino, N., & Giaretta, P. (1995). *Ontologies and Knowledge Bases*. 7.
- Ibn Abd Essalem, A. (1992). *Kawaid el Ahkem Fi massalih el anam* (Dar Etibaa, Damas).
- Karadaoui, Y. (1977). *El Hallal oual Haram fi EL Islam*. Maktabate Wahba.
- Karadaoui, Y. (1985). *El Fatwa bayna el madi wa el hadhir*. Dar El Baath.

- Kolodner, J. L. (1992). An introduction to case-based reasoning. *Artificial Intelligence Review*, 6(1), 3-34. <https://doi.org/10.1007/BF00155578>
- Kolodner, J. L., & Jona, M. Y. (2000). *Case-Based Reasoning : An Overview 1*.
- Lacot, X. (2005). *Introduction à OWL, un langage XML d'ontologies Web*. 42.
- Lacot, X. (2006). *Introduction à OWL, un langage XML d'ontologies Web*. 26.
- Lamontagne, L., & Lapalme, G. (2002). Raisonnement à base de cas textuels Etat de l'art et perspectives. *Revue d'intelligence artificielle*, 16(3), 339-366. <https://doi.org/10.3166/ria.16.339-366>
- Leake, D. B. (2003). *Case-based reasoning*. John Wiley and Sons Ltd. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1074199>
- Mondary, T. (2011). *Construction d'ontologies à partir de textes. L'apport de l'analyse de concepts formels*. [Phdthesis, Université Paris-Nord - Paris XIII]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00596825>
- Mutawa, A. M., & Al-Terkait, S. M. (2011). AI Usouly : An expert system in the origins of Islamic jurisprudence domain. *Kuwait J. Sci. Eng*, 38(1B), 143-166.
- Nouaouria, N. (2013). *Une approche d'optimisation par essaim de particules pour la recherche en mémoire de cas* [Phdthesis]. UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL.
- Noy, N. F., & Mcguinness, D. L. (2001). *Ontology Development 101 : A Guide to Creating Your First Ontology*.
- Patterson, D., Rooney, N., Galushka, M., Dobrynin, V., & Smirnova, E. (2008). SOPHIA-TCBR : A knowledge discovery framework for textual case-based reasoning. *Knowledge-Based Systems*, 21(5), 404-414. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2008.02.006>
- Recio-Garía, J. A., & Díaz-Agudo, B. (2007). Ontology based CBR with jCOLIBRI. In R. Ellis, T. Allen, & A. Tuson (Éds.), *Applications and Innovations in Intelligent Systems XIV* (p. 149-162). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-666-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-666-7_12)
- Smith, B., & Welty, C. (2001). *Ontology : Towards a New Synthesis*. 7.
- Soumaré, I. (2009). *La pratique de la finance islamique (The Practice of Islamic Finance)* (SSRN Scholarly Paper ID 2407991). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=2407991>
- Spoladore, D., & Pessot, E. (2021). Collaborative Ontology Engineering Methodologies for the Development of Decision Support Systems : Case Studies in the Healthcare Domain. *Electronics*, 10(9), 1060. <https://doi.org/10.3390/electronics10091060>

- Staab, S., & Studer, R. (Éds.). (2009). *Handbook on Ontologies*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3>
- Suárez-Figueroa, M. C., Gómez-Pérez, A., & Fernández-López, M. (2012). The NeOn Methodology for Ontology Engineering. In *Ontology Engineering in a Networked World* (p. 9-34). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24794-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24794-1_2)
- Suárez-Figueroa, M. C., Gómez-Pérez, A., & Fernández-López, M. (2015a). The NeOn Methodology framework : A scenario-based methodology for ontology development. *Applied Ontology*, 10(2), 107-145. <https://doi.org/10.3233/AO-150145>
- Suárez-Figueroa, M. C., Gómez-Pérez, A., & Fernández-López, M. (2015b). The NeOn Methodology framework : A scenario-based methodology for ontology development. *Applied Ontology*, 10(2), 107-145. <https://doi.org/10.3233/AO-150145>
- Uschold, M., & Gruninger, M. (1996). Ontologies : Principles, methods and applications. *The Knowledge Engineering Review*, 11(2), 93-136. <https://doi.org/10.1017/S0269888900007797>
- Uschold, M., & Gruninger, M. (2004). Ontologies and semantics for seamless connectivity. *ACM SIGMOD Record*, 33(4), 58-64. <https://doi.org/10.1145/1041410.1041420>
- Uschold, M., & King, M. (1995). Towards a Methodology for Building Ontologies. In *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, held in conjunction with IJCAI-95*.
- Watson, I. (1997). *Applying Case-Based Reasoning : Techniques for Enterprise Systems* (1 edition). Morgan Kaufmann.
- Watson, I. (1998). Is CBR a technology or a methodology? In A. Pasqual del Pobil, J. Mira, & M. Ali (Éds.), *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence* (Vol. 1416, p. 525-534). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-64574-8\\_438](https://doi.org/10.1007/3-540-64574-8_438)
- Zaidan, A. (1997). *Oussoul Eddaaoua* (éditions EL RISSALA).