

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mohamed Khider Biskra

N° d'ordre :.....

Série:.....



Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département d'Informatique

## THÈSE

Présentée pour obtenir le diplôme de  
DOCTORAT EN SCIENCES EN INFORMATIQUE

Par

Messaoud MEZATI

THEME

---

# UNE NOUVELLE APPROCHE POUR LA SÉMANTIQUE DES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS

---

Soutenue le : 16/05/2017

Devant le jury composé de :

Djedi Nouredine	Professeur	Université de Biskra	Président
Cherif Foudil	Professeur	Université de Biskra	Rapporteur
Chaoui Allaoua	Professeur	Université de Constantine 2	Examineur
Merah Elkamel	MCA	Université de Khenchela	Examineur
Bennaoui Hammadi	MCA	Université de Biskra	Examineur
Saidi Mohamed	MCA	Université de Setif 2	Examineur

**Resumé :**

Contrairement à la vidéo, les environnements virtuels interactifs (réalité virtuelle, jeux vidéo) souffrent d'un handicap important lié à une faible réutilisation et adaptation du contenu 3D produit. En effet, la majeure partie du temps, l'ensemble du travail de production est à refaire complètement si l'on change de terminal graphique ou de périphériques d'interaction. Nous proposons dans cette thèse d'utiliser un modèle sémantique pour décrire les objets. Ce modèle va au delà d'une représentation 3D de type géométrique. Ce modèle sémantique représentera un objet selon sa géométrie mais aussi selon ses fonctionnalités intrinsèques et les différentes interactions qu'il offre. Cela permettra une grande flexibilité dans sa réutilisation et son adaptation aux différentes interfaces d'interactions offertes à l'utilisateur. Nous envisageons de présenter une nouvelle approche qui propose d'utiliser la notion d'Ontologie, qui vient des technologies des systèmes à base de connaissance et le Web Sémantique pour les Environnements Virtuels. Dans ce cadre, il s'agit de proposer un système sémantique pour des environnements virtuels utilisant les ontologies. Nous allons présenter de manière générale un modèle sémantique pour décrire les Environnement Virtuels intégrés par de nombreuses entités virtuelles comme les humains, des objets avec lesquels on peut interagir, etc. Notre modèle sémantique sera appliqué à des tâches classiques autour des Environnement Virtuels Interactifs : Interaction avec les personnages et les objets qui peuplent les mondes virtuels et Animation des personnages virtuels.

**Mots clés :** animation, environnement virtuel, ontologies, modélisation sémantique.

**Absrtact :**

Unlike video, interactive virtual environments (virtual reality, video games) suffer from a significant disability related to low reuse and adaptation of 3D product content. Indeed, most of the time the whole production work has to be redone completely if you change a graphic display terminal or interaction devices. We propose in this thesis to use a semantic model to describe the objects, this model goes beyond a 3D representation of geometric type. This semantic model representing an object according to its geometry but also according to its intrinsic features and different interactions it offers. This will allow greater flexibility in its reuse and adaptation to different interactions offered to the user interfaces. We plan to present a new approach proposes to use the concept of Ontology, which comes from technology knowledge-based systems and the Semantic Web for Virtual Environments. In this context, it is to propose a semantic system for virtual environments using ontology. We will generally present a semantic model to describe the Virtual Environment integrated by many virtual entities like humans, objects with which you can interact, etc. Our semantic model will be applied to conventional patches around the Virtual Interactive Environment: Interaction with characters and objects that inhabit virtual worlds, virtual characters Animation.

**Keywords:** Animation, Virtual Environment, Ontology, Semantic Modelisation.

## ملخص:

على عكس الفيديو، البيئات الافتراضية التفاعلية (الواقع الافتراضي، وألعاب الفيديو) تعاني من عجز كبير يتعلق بالمستوي المنخفض لإعادة استخدام وتطوير محتوى المنتج ثلاثي الأبعاد. في الواقع، معظم الوقت المخصص في إنتاج العمل، يذهب في إعادة بنائه بالكامل إذا قمت بتغيير جهاز عرض أو الأجهزة. ونقترح في هذا البحث إلى استخدام نموذج الدلالي لوصف الأشياء، وهذا النموذج يتجاوز تمثيل ثلاثي الأبعاد من نوع الهندسي. هذا النموذج الدلالي يمثل الكائن وفقا لهندسته ولكن أيضا وفقا لخصائص الجوهريّة والتفاعلات المختلفة التي يوفرها. وهذا سوف يسمح بمزيد من المرونة في إعادة استخدامها، والتكيف مع التفاعلات المختلفة المقدمة إلى واجهات المستخدم. ونحن نخطط لتقديم نهج جديد يقترح استخدام مفهوم علم الوجود، والتي تأتي من النظم القائمة على المعرفة والتكنولوجيا والويب الدلالي للبيئات الافتراضية. في هذا السياق، هو أن اقتراح نظام الدلالي للبيئات افتراضية باستخدام تجميعات. سنقدم عموما نمودجا الدلالي لوصف بيئة افتراضية متكاملة من قبل العديد من الجهات افتراضية مثل البشر، والأشياء التي يمكنك التفاعل، الخ سيتم تطبيق نمودجنا الدلالي لبقع التقليدية حول البيئة التفاعلية الافتراضية، التفاعل مع الشخصيات والكائنات التي تعيش في عوالم افتراضية.

## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes m'ayant soutenue et encouragé pendant ces années de thèse.

Tout d'abord, un grand merci à mon directeur de thèse Prof Cherif Foudil pour tous ses conseils, sa confiance, ses idées, ses encouragements, ses corrections et ses remarques tout au long de ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont aussi, Prof. Jean-Piere Jassel, Prof Véronique Gaildrat et Cédric Sanza, cette équipe qui m'a ouvert les portes du laboratoire IRIT, Je remercie les membres de laboratoires IRIT que j'ai pu rencontrer durant la période de mon stage, et qui m'ont aidé dans mon travail.

Je tiens également à remercier tous les membres de mon jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Pour finir j'aimerais remercier toute ma famille pour leur soutien constant.

# TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>I</b>
<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>V</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>6</b>
1. INTRODUCTION.....	7
2. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE .....	7
3. CONCLUSION ET STRUCTURE DU MEMOIRE.....	8
<b>CHAPITRE1 : ENVIRONNEMENT VIRTUEL</b> .....	<b>9</b>
1.1. INTRODUCTION.....	10
1.2. ENVIRONNEMENT VIRTUEL.....	10
1.3. LES DOMAINES D'APPLICATIONS .....	11
1.3.1 La visualisation scientifique.....	11
1.3.2 L'aide à la décision .....	12
1.3.3 La formation .....	12
1.3.4 La vulgarisation scientifique et l'éducation .....	13
1.3.5 Les loisirs, le divertissement, la vente .....	13
1.4. MODELISATION D'ENVIRONNEMENT VIRTUEL.....	14
1.4.2 Modélisation topologique .....	16
1.4.3 Modélisation sémantique .....	17
1.5. LA NAVIGATION DANS L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL .....	18
1.5.1. Chemin dessiné .....	19
1.5.2. Points de passage .....	19
1.5.3. Cartes et cibles .....	20
1.6. CONCLUSION.....	21
<b>CHAPITRE 2 : LES ONTOLOGIES</b> .....	<b>22</b>
2.1. INTRODUCTION.....	23
2.2. DEFINITIONS DE L'ONTOLOGIE .....	23
2.3. CLASSIFICATION DES ONTOLOGIES .....	24
2.4. COMPOSANTES D'UNE ONTOLOGIE .....	27
2.4.1. Concepts.....	27
2.4.2. Relations .....	28
2.4.3. Les fonctions .....	29
2.4.4. Axiomes .....	29
2.4.5. Instances.....	30
2.5. METHODOLOGIES POUR LA CONSTRUCTION D'ONTOLOGIES .....	30
2.6 TYPES D'ONTOLOGIE .....	31
2.6.1 Taxonomie .....	31
2.6.2 Thesaurus .....	32
2.6.3 Ontologies.....	33
2.7. LES LANGAGES D'ONTOLOGIE .....	34
2.7.1. XML .....	35
2.7.2. RDF.....	37
2.7.3. OWL .....	39

2.8. L'UTILISATION DES ONTOLOGIES .....	40
2.9. CONCLUSION .....	41
<b>CHAPITRE 3 : LA MODELISATION SEMANTIQUE D'ENVIRONNEMENTS VIRTUELS.....</b>	<b>42</b>
3.1. INTRODUCTION .....	43
3.2. LA MODELISATION SEMANTIQUE .....	43
3.3. LA MODELISATION SEMANTIQUE D'ENVIRONNEMENTS VIRTUELS.....	45
3.4. LA VUE GLOBALE SUR LES APPROCHES.....	46
3.5. LA MODELISATION SEMANTIQUE DEPENDANTE DU DOMAINE.....	47
3.6. LA MODELISATION SEMANTIQUE ORIENTE AU CONTENU. ....	50
3.6.1. Environnements virtuels base de niveau sémantique commun .....	50
3.6.2. Couplage des environnements virtuels et ontologie.....	51
3.6.2.1. Ontologie X3D .....	51
3.6.2.2. La Plateforme Seven.....	53
3.6.2.3. Ontologie à base XML .....	53
3.6.2.4. Les ontologies des domaines spécifiques .....	54
3.7. LA MODELISATION SEMANTIQUE ORIENTEE SYSTEME .....	56
3.7.1. Environnements virtuels riches en informations (Information-rich virtual environments) .....	56
3.7.2. Réflexion sémantique multicouches .....	56
3.8. LA MODELISATION SEMANTIQUE AVEC MODELISATION CONCEPTUELLE .....	58
3.8.1. Conceptualisation Scène et comportements statiques .....	58
3.8.2. Conceptualisation d'interactions .....	60
3.9. CONCLUSION .....	61
<b>CHAPITRE 4 : L'APPROCHE SEMANTIQUE D'HUMAIN VIRTUEL DANS .....</b>	<b>62</b>
<b>L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL.....</b>	<b>62</b>
4.1. INTRODUCTION.....	63
4.2. L'APPROCHE SEMANTIQUE D'HUMAIN VIRTUEL DANS L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL .....	63
4.3. L'ONTOLOGIE D'UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL .....	65
4.3.1. Module du raisonnement.....	67
4.3.3 L'ontologie.....	67
4.4. LA PLANIFICATION DE CHEMIN .....	68
4.4.1. Paramétrisation de l'environnement .....	68
4.5. LA SEMANTIQUE D'HUMAIN VIRTUEL .....	72
4.6. L'ontologie d'humain virtuel.....	72
4.6.1. Les information Générales.....	72
4.6.2. La géométrie et la structure .....	73
4.6.3. La Morphologie et individualité .....	76
4.8. CONCLUSION .....	78
<b>CHAPITRE 5: L'EVITEMENT DES COLLISIONS AVEC SHV .....</b>	<b>79</b>
5.1. INTRODUCTION.....	80
5.2. NAVIGATION .....	80
5.3 L'EVITEMENT DES COLLISIONS AVEC SHV .....	82
5.3.1. Champs de potentiel (Potential fields) .....	83
5.3.2. Velocity Obstacle .....	83
5.4. IMPLEMENTATION ET RESULTATS .....	86
5.5. CONCLUSION .....	90
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>96</b>

## Table des Figures

FIGURE 1. 1. ENVIRONNEMENTS VIRTUELS. ....	11
FIGURE 1. 2. LA VISUALISATION SCIENTIFIQUE.....	19
FIGURE 1. 3. UNE OPERATION CHIRURGICALE VIRTUELLE ET UN SIMULATEUR DE VOL.....	20
FIGURE 1. 4. DES CLIENTS DECOUVRANT VIRTUELLEMENT LEUR FUTURE VOITURE. ....	21
FIGURE 1. 5. ENVIRONNEMENT 2D.....	24
FIGURE 1. 6. DECOMPOSITIONS EN CELLULES D'ENVIRONNEMENT 2D. ....	25
FIGURE 1. 7. RODMAPS D'ENVIRONNEMENT 2D. ....	26
FIGURE 2. 1. UN EXEMPLE D'ONTOLOGIE. ....	24
FIGURE 2. 2. CLASSIFICATION DES ONTOLOGIES SELON VAN HEIJST.....	25
FIGURE 2. 3. INTERFACE GRAPHIQUE DE PROTEGE 3.4.6.....	32
FIGURE 2. 4. UNE PARTIE DE LA TAXONOMIE DU IEEE (2014).....	33
FIGURE 2. 5. UN EXEMPLE DE WORDNET (VERSION BUREAU).....	34
FIGURE 2. 6. RELATIONS SEMANTIQUES DANS WORDNET [BAZ 2005].....	35
FIGURE 2. 7. REPRESENTATION DES LIENS DE DBPEDIA (LOD CLOUD). ....	36
FIGURE 2. 8. GENEALOGIE DES LANGAGES.. ....	37
FIGURE 2. 9. EXEMPLE D'UN DOCUMENT RDF (W3C). ....	40
FIGURE 2. 10. EXEMPLE DU SCHEMA RDF.....	40
FIGURE 2. 11. ORIGINE DU LANGAGE OWL.....	41
FIGURE 2. 12. LES TYPES DU LANGAGE OWL.....	42
FIGURE 3.1. REPRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL SEMANTIQUE.....	47
FIGURE 3. 2. DECOMPOSITION D'UN MILIEU URBAIN EN ENTITES ENVIRONNEMENTALES. ....	49
FIGURE 3. 3. UN MODELE SEMANTIQUE POUR CONSTRUIRE LES PATRIMOINES NUMERIQUES.....	50
FIGURE 3. 4. LA SEMANTIQUE DE BASE ET COMMUN DES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS.....	51
FIGURE 3. 5. UN MODELE SEMANTIQUE D'UNE SCENE 3D. ....	52
FIGURE 3. 6. BASE SUR XML MODELE SEMANTIQUE DES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS.....	54
FIGURE 3. 7. ENVIRONNEMENTS VIRTUELS SEMANTIQUES BASES SUR L'ONTOLOGIE DE BASE ET LE DOMAINE.....	55
FIGURE 3. 8. BASE SUR LE CONCEPT DE L'ENTITE SEMANTIQUE ET DE REFLEXION SEMANTIQUE.....	577
FIGURE 3. 9. VUE D'ENSEMBLE DU PROCESSUS DE CONCEPTION SELON L'APPROCHE VR-WISE. ....	59



FIGURE 4. 1. L'ARCHITECTURE DU DU NOTRE APPROCHE.....	64
FIGURE 4. 2. ARCHITECTURE D'UN HUMAIN VIRTUEL.....	66
FIGURE 4. 3. MODELE DE L'HUMAIN VIRTUEL.....	67
FIGURE 4. 4. CONCEPTION D'ONTOLOGIES POUR VH.....	68
FIGURE 4. 5. EXEMPLE DE PROBABILISTIC ROAD MAP.....	69
FIGURE 4. 6. METHODE DIJKSTRA POUR LA NAVIGATION.....	91
FIGURE 4. 7. METHODE A* POUR LA NAVIGATION.....	71
FIGURE 4.8. PRINCIPAUX CONCEPTS DE L'ONTOLOGIE HUMAINE VIRTUELLE.....	74
FIGURE 4. 9. DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES.....	76
FIGURE 5.1 SCHEMA DE LA PROBLEMATIQUE DE NAVIGATION..	94
FIGURE 5. 2. LES TROIS TYPES DE COLLISION.....	95
FIGURE 5. 3. DEUX OBSTACLES AVEC LEURS VECTEURS DE VITESSE.....	97
FIGURE 5. 4. CONCEPTION D'ONTOLOGIES POUR VH.....	99
FIGURE 5. 5. LES RELATIONS ENTRE PROTEGE, JENA ET UNITY3D.....	99
FIGURE 5. 6. SCENARIO CERCLE DENSE.....	100
FIGURE 5. 7. L'INFLUENCE DE L'INFORMATION SEMANTIQUE SUR LE TEMPS.....	100
FIGURE 5. 8. L'INFLUENCE DE L'INFORMATION SEMANTIQUE SUR LE NOMBRE DEVIATION.....	100
FIGURE 5. 9. L'INFLUENCE DE L'INFORMATION SEMANTIQUE SUR LE NOMBRE DE COLLISIONS.....	101
FIGURE 5. 10. LES INFORMATIONS DE L'HOMME VIRTUEL.....	101
FIGURE 5. 11. LE PROCESSUS DE TRAITEMENT D'UN NOUVEAU MESSAGE.....	102
FIGURE 5. 12. LE RESULTAT VISUEL DE NOTRE SCENARIO.....	103

## Liste des tableaux

<b>TABLEAU 5. 1.</b> LES RELATIONS ENTRE CATEGORIE DE TACHES ET LE STRESS. ....	85
<b>TABLEAU 5. 2.</b> LES RELATIONS ENTRE LA PERSONNALITE ET DE LA CATEGORIE DES TACHES. ....	85

## **Introduction Générale**

### 1. Introduction

De nombreuses applications de réalité virtuelle, telles que la formation, la conception urbaine ou les jeux sont basés sur une riche description sémantique de l'environnement.

Le problème que nous visons est le manque de flexibilité des objets virtuels quand on vient les réutiliser dans des applications ou dans des contextes différents de celui pour le quel ils ont été conçus. Cela se réfère principalement à la nécessité pour les entités adaptatives du point de vue géométrique et interface. La mise en œuvre des objets virtuels qui peuvent modifier leur forme -principalement le niveau de détails de la géométrie- tout en gardant leurs fonctionnalités, nécessite d'avoir des connaissances sur la façon dont les objets virtuels dans la scène sont liés les uns aux autres et quels sont leurs rôles et fonctions. Les objets virtuels peuvent être représentés non seulement en tant que formes 3D animables mais également comme des entités ayant des fonctions prédéfinies qui interagissent les uns avec les autres de différentes manières. Les modèles sémantiques permettent de représenter de telles informations. Une représentation sémantique propose une spécification simple et naturelle, une mise en œuvre indépendante, flexible et non redondante de l'information. Le mot de moyens sémantiques que cette convention capture de près est le sens de l'information de l'utilisateur et fournit une description concise de haut niveau de cette information.

La représentation des connaissances pour les environnements virtuels (EV) est un problème qui a pris de l'importance ces dernières années. En effet, les agents évoluant dans un EV ont besoin d'information sémantique sur celui-ci pour adapter leurs comportements aux éléments identifiables de cet environnement et faire des choix d'action.

### 2. Contexte et Objectif de l'étude

La représentation sémantique des environnements virtuels est conçue pour que les personnages virtuels qui peuplent un environnement virtuel aient des comportements crédibles. Les environnements virtuels soulèvent des problématiques de recherche générales, communes à une grande partie des modèles de représentation des EVs et auxquelles nous ferons face dans cette thèse.

Le besoin est de simuler des comportements humains Virtuels (HVs) dans des environnements virtuels peuplés de personnages animés. Pour que l'agent ait des comportements crédibles, il doit regrouper plusieurs caractéristiques dont l'autonomie, qui veut dire que l'HV a un total contrôle de son état interne et qu'il est capable de faire la planification d'actions et prendre des décisions. L'HV doit aussi être réactif, c'est-à-dire,

qu'il doit réagir en un temps raisonnable aux événements qui opèrent dans son environnement tout en étant capable de s'adapter aux changements qui peuvent y survenir.

Cela leur permet d'intégrer les connaissances sur leur environnement dans leur processus de décision. Ainsi, ils pourront planifier leurs actions tout en ayant la capacité d'anticiper leurs conséquences. Nous devons donc proposer un modèle qui permet de représenter les informations sémantiques de l'environnement et déduire les informations utiles pour l'aide à la décision des HVs, afin qu'ils puissent faire des choix d'objets crédibles tout en étant en adéquation avec leur situation.

### 3. Conclusion et structure du mémoire

Le manuscrit est organisé comme suit :

- Dans la première partie, nous présenterons en détail l'état de l'art des différents domaines de recherche abordés dans cette thèse. Tout d'abord nous parlerons des environnements virtuels et des différentes approches de modélisation de leur sémantique. Nous parlerons par la suite des techniques de modélisation de la sémantique dans l'environnement virtuel dont s'inspire notre approche. Nous terminerons par aborder le concept de la sémantique d'humain virtuel.
- La deuxième partie est focalisée sur la description des contributions de cette thèse. Nous commencerons par présenter notre modèle qui consiste à représenter dans des couches sémantiques intégrées dans les éléments qui composent l'environnement. Nous détaillerons aussi l'architecture d'humain virtuel avec ses modules.
- Dans la dernière partie, nous donnerons les détails concernant la mise en œuvre de notre système. Il s'agira principalement de donner des informations sur le contexte de notre travail, c.-à-d., le problème de la navigation dans l'environnement urbain dans lequel nous avons intégré notre modèle. Nous présenterons les différentes interfaces que nous avons développées permettant de comprendre la manière dont fonctionne le système.
- Pour conclure ce document, nous ferons une synthèse de l'ensemble du travail réalisé dans le cadre de cette thèse, et nous donnerons les perspectives majeures qui peuvent être explorées dans la continuité de nos travaux de recherche.

## **Chapitre1 : Environnement Virtuel**

### **1.1. Introduction**

Les deux notions, comportement et environnement, sont intimement liées. En effet, le comportement se résume à l'interaction d'un organisme avec le milieu dans lequel il évolue.

Son environnement peut être composé aussi bien d'objets que d'autres organismes.

L'organisme humain, par exemple, est constamment dans une boucle d'interaction avec son environnement. Il peut utiliser ses capteurs (yeux, nez, oreilles, etc.) Pour acquérir des données, soit ses effecteurs (mains, pieds, ...etc.).

L'être humain doit prendre en compte beaucoup de paramètres lors de son interaction avec son environnement. Prenant comme exemple son déplacement, avant de pouvoir le faire, il a besoin de se représenter cet environnement. Cette représentation mentale va en effet lui servir à raisonner sur cet environnement, que ce soit pour évaluer un chemin afin d'atteindre une localisation précise, ou encore pour organiser les tâches qu'il doit effectuer (comme les interactions avec des objets).

### **1.2. Environnement Virtuel**

Un environnement virtuel peut être considéré comme un modèle trois dimensions d'environnements réels ou imaginaires que l'on peut visualiser et avec lesquelles on peut interagir en temps-réel [1] Figure 1.1. Des informations sensorielles complémentaires (sonores, tactiles, ...) peuvent venir enrichir ce modèle. Pour Slater et al. [2], cet environnement virtuel devient immersif lorsque la représentation virtuelle du corps de l'utilisateur (tout ou partie) est affichée dans l'environnement virtuel, et qu'il peut réaliser un certain nombre d'actions sur cet environnement (à l'aide de capteurs de position et d'orientation, de gants de données, ...). Comme nous l'avons déjà mentionné Ellis [3] préfère à l'expression de réalité virtuelle, celle sémantiquement plus cohérente d'environnement virtuel. Voici la définition qu'il a faite :

Les environnements virtuels sont des images virtuelles interactives améliorées par des processus particuliers et complétées par des restitutions provenant d'autres modalités telles que le son et l'haptique et ce pour convaincre les utilisateurs qu'ils sont immergés dans un espace synthétique.

Nous remarquons de suite qu'une fois encore l'immersion et l'interaction sont mises en exergue. Nous regrettons toutefois que l'aspect sensoriel et notamment l'image soient mis tant en avant et que les aspects humain et cognitif soient négligés.

En 1992, Zeltzer[4] propose un nouveau triptyque composé cette fois-ci de l'autonomie, de l'interaction et de la présence. L'autonomie désigne le comportement des entités virtuelles présentes dans l'environnement virtuel. L'interaction pointe la capacité d'interagir avec ces entités et l'environnement. La présence est ici associée à la stimulation sensorielle. Autonomie, interaction et présence sont vues comme les dimensions définissant l'espace des environnements virtuels.



**Figure 1. 1.** Environnements Virtuels.

### **1.3. Les domaines d'applications**

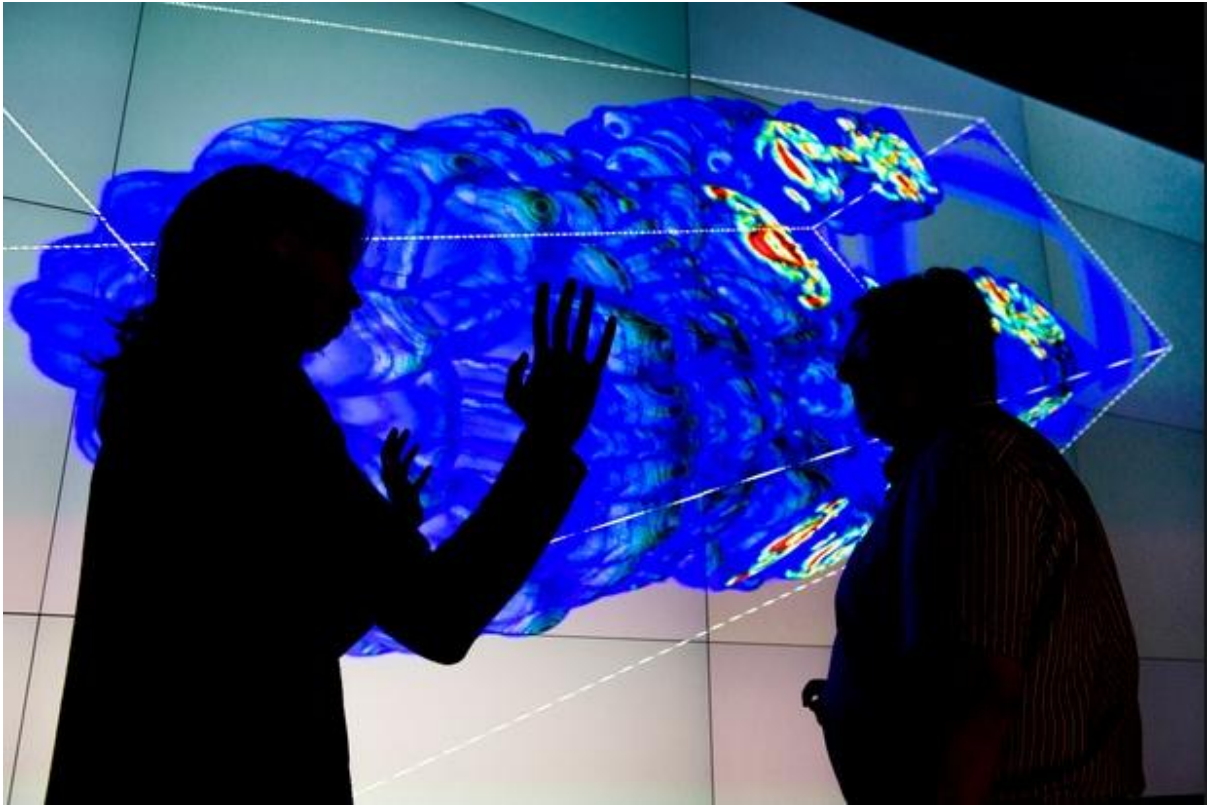
Le champ d'application de la réalité virtuelle(RV) est extrêmement large du fait de toutes les facilités qu'elle peut apporter dans beaucoup de domaines et voici une description rapide des principaux domaines.

#### **1.3.1 La visualisation scientifique**

La visualisation scientifique est absolument le premier domaine d'application de la réalité virtuelle. De part l'immersion qu'elle apporte, elle donne une perception et une facilité d'interprétation de résultats de simulation scientifiques. Il est ainsi possible d'utiliser visuellement des modèles mathématiques complexes ce qui permet de mieux les comprendre dans Figure 1.2. Cela donne aussi une grande souplesse dans la manipulation des données très



utiles par exemple dans l'étude de phénomènes physiques. Un élément essentiel de la RV est en effet la possibilité d'intervenir en temps réel sur l'environnement.



**Figure 1. 2.** La visualisation scientifique.

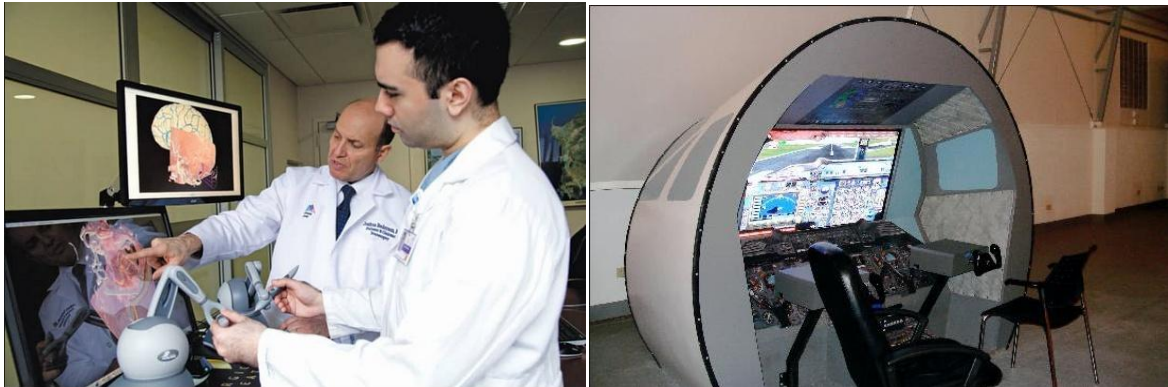
### 1.3.2 L'aide à la décision

La représentation 3D est celle à laquelle on est habitué dans notre vie de tous les jours, c'est comme cela que l'on perçoit le monde qui nous entoure. Dans certains domaines de pointe, la complexité des données à prendre en compte dans la prise de décisions peut nécessiter des compétences de spécialistes que ne possèdent pas forcément les décideurs. C'est dans ce contexte qu'un environnement de RV peut donner une vision synthétique plus facilement assimilable.

### 1.3.3 La formation

Pour les mêmes raisons, la RV est un formidable outil de formation. Le fait de pouvoir représenter de façon synthétique des concepts complexes ou abstraites ainsi que la mise en jeu de tous les sens dans la perception des données présentées apportent une très grande facilité d'assimilation. Cela peut être très avantageux dans la formation des spécialistes comme des chirurgiens ou des pilotes par exemple qui peuvent ainsi acquérir de

l'expérience dans la réalisation de certaines opérations complexes dans Figure 1.3. Cela peut donc être très avantageux pour éviter les risques réels liés à certaines formations.



**Figure 1. 3.** Une opération chirurgicale virtuelle et un simulateur de vol.

### 1.3.4 La vulgarisation scientifique et l'éducation

La Réalité Virtuelle peut également jouer un rôle très important dans l'explication de la science aux plus jeunes en la rendant ainsi plus attrayante et moins abstraite. Elle peut également être un puissant outil culturel en permettant par exemple la visite virtuelle de lieux historiques, de musées, de planètes lointaines... Le côté ludique de la RV peut ainsi susciter plus d'intérêt chez les enfants.

### 1.3.5 Les loisirs, le divertissement, la vente

Dans les domaines grands publics que la réalité virtuelle trouvera ses applications les plus importants. Imaginez un jeu si réaliste que vous vous sentiriez comme dans un rêve où vous pourriez agir sur tout ce qui vous entoure avec la sensation d'en être le héros. On peut également imaginer des voyages virtuels dans des pays exotiques un peu à la manière de ce que l'on voit dans le film "Total Recall".

Une autre application qui va sans doute se développer rapidement concerne le domaine de la vente. La possibilité de pouvoir montrer à un client le produit qu'il va acquérir sans que celui-ci n'existe encore ou ne soit disponible sur place. On peut imaginer proposer la visite de pavillons virtuels, la conduite d'une voiture etc... (Figure 1.4)



**Figure 1. 4.** Une Vision urbaine dans film « Total recall » et Des clients découvrant virtuellement leur future voiture.

#### 1.4. Modélisation d'environnement virtuel

Nous avons vu que l'environnement virtuel peut être modélisé selon différents points de vue :

1. un espace cartésien, permettant de construire un modèle d'environnement géométrique similaire au nôtre par la représentation des surfaces ou des volumes des obstacles;
2. un espace des configurations où chaque dimension est liée à un degré de liberté du robot.

Les différents types de modèles de l'environnement virtuel sont possibles selon les informations que l'on souhaite exploiter. On peut distinguer les niveaux d'information présents dans la littérature en trois grands types [5]:

- le niveau géométrique,
- le niveau topologique,
- et le niveau sémantique.

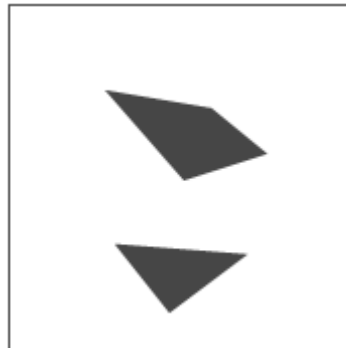
##### 1.4.1 Modélisation géométrique

Pour synthétiser la représentation de l'espace libre, deux grandes familles de techniques existent : la décomposition de l'espace libre en cellules géométriques. Les différents modèles introduits dans cette section sont illustrés sur l'environnement 2D carré (encombré de 2 obstacles) introduit dans la figure 1.5.

##### Décomposition en cellules

Cette technique consiste à diviser l'environnement en cellules géométriques élémentaires. Les portions d'espace ainsi définies sont qualifiées comme libres ou occupées (même partiellement) par des obstacles. La partie libre est alors constituée de l'ensemble des cellules libres. On ne considère alors plus une partie continue, mais un ensemble de portions

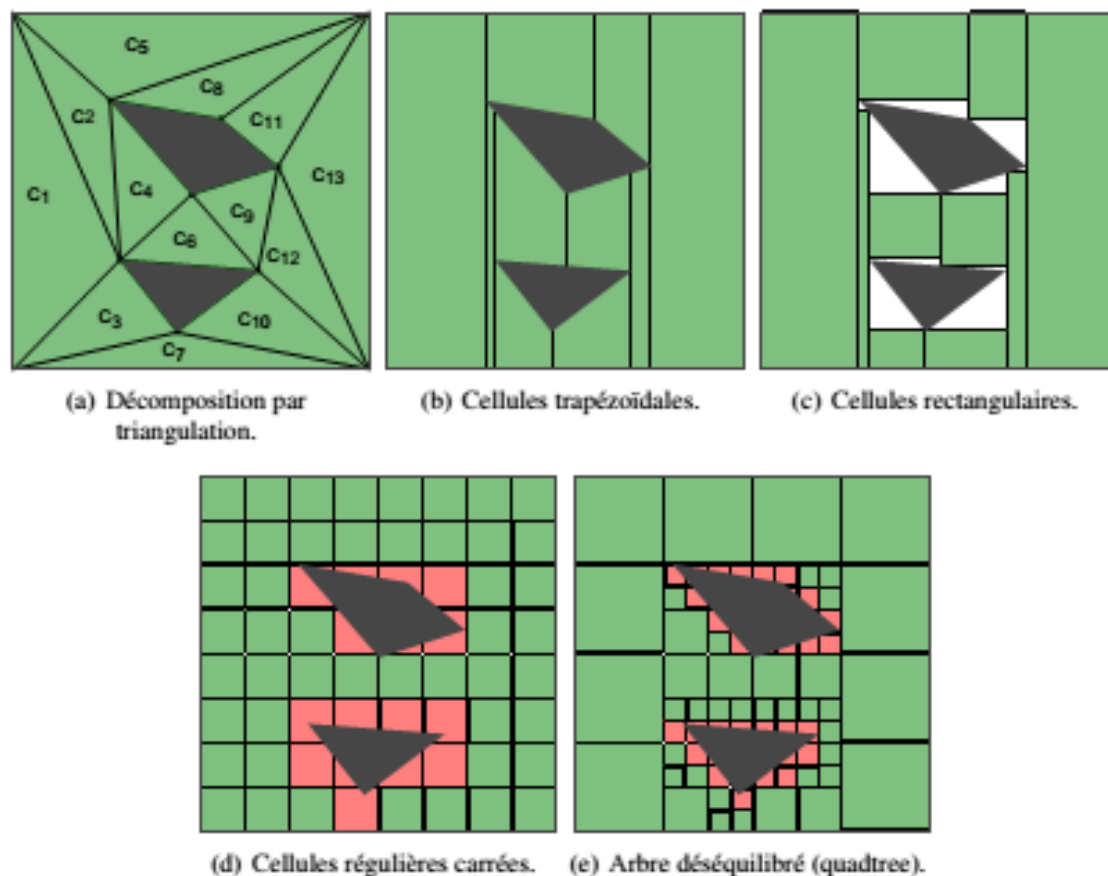
d'espace continu dont on connaît la connectivité. On trouve ici une grande variété de décompositions (figure 1.5) :



**Figure 1. 5.** Environnement 2D

- **cellules exactes** : Ces types sont mises en œuvre dans des espaces deux dimension, et en présence d'obstacles aux géométries simples (polygones). Elles permettent de utilise exactement libre à travers un ensemble de cellules libres. On obtenu alors différentes formes de cellules : cellules triangulaires (figure 1.6(a) générées avec la triangulation de Delaunay à partir des sommets des obstacles [6], cellules trapézoïdales (figure 1.6(b)) toujours générées à partir des sommet des obstacles, et dont les côtés parallèles sont alignés avec une des deux dimensions de l'espace considéré [7].
- **cellules rectangulaires** : toujours pour des espaces 2D, la décomposition en cellules rectangulaires (figure 1.6(c)) consiste à diviser l'environnement en cellules rectangulaires dont les frontières sont alignées avec les dimensions paramétriques de l'espace et sont positionnées tangentiellement aux obstacles de l'espace (elles passent par les sommets des obstacles) [8]. La décomposition ainsi permettre produit une approximation de libre puisque les obstacles ne sont pas, eux, forcément alignés avec les axes des dimensions de l'environnement décomposé.
- **cellules régulières** : l'objectif est ici de construire un pavage de l'espace à l'aide de cellules de même forme (figure 1.6(d)). Chacune des cellules est ensuite analysée pour déterminer si elle est libre ou occupée (entièrement ou partiellement). Des exemples de pavages réguliers existent pour des espaces 2D [9]. Pour les espaces ayant un plus grand nombre de dimensions, les pavages sont moins originaux, et on trouve des cellules cubiques (3D) ou hyper cubiques.

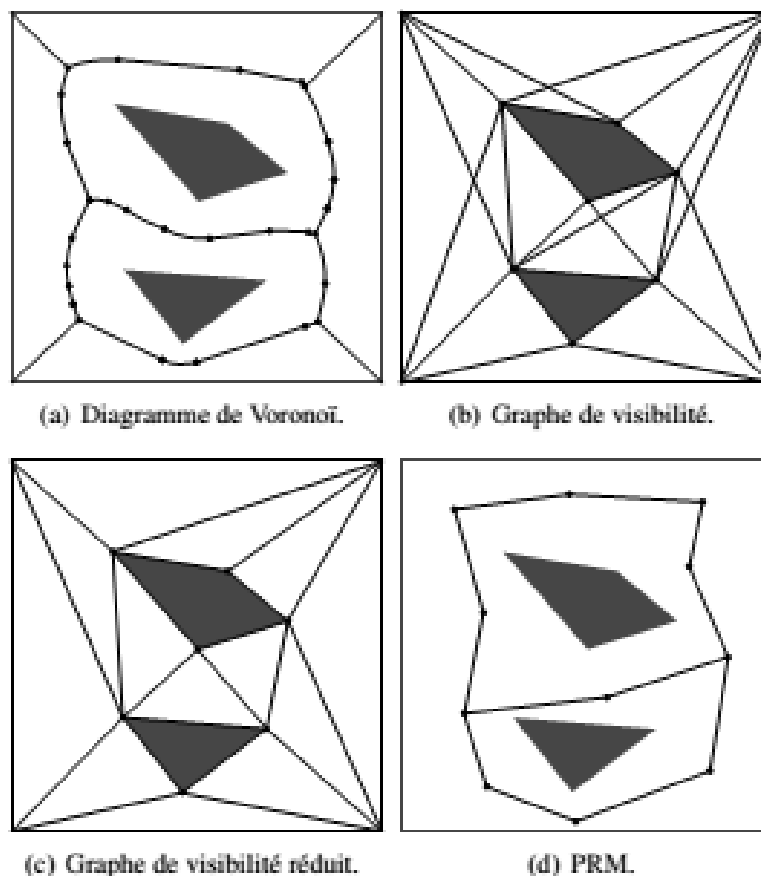
- **arbres déséquilibrés** : ces arbres représentent une structure de données facilitant l'exploration. Le pavage est ici réalisé d'abord avec une faible résolution. La résolution de la décomposition est ensuite affinée en décomposant les cellules partiellement occupées à l'aide de cellules de même forme, mais plus petites. En 2D, même si différents pavages.



**Figure 1. 6.** Décompositions en cellules d'environnement 2D.

### 1.4.2 Modélisation topologique

Les graphes sont généralement utilisés même si d'autres outils peuvent être mis en œuvre conjointement ou non (modèles de réseaux ou hiérarchiques). Le graphe est donc l'outil commun pour les modèles topologiques, mais les nœuds (représentant les lieux) comme les arcs (représentant la connectivité entre les lieux) qui le constituent peuvent être de différentes natures. Dans un premier temps, nous allons voir les différentes méthodes utilisées pour déterminer les lieux et donc les différentes natures de lieux identifiés.



**Figure 1. 7.** Rodmaps d'environnement 2D.

Ensuite, nous détaillerons les informations qui peuvent être associées aux arcs et aux nœuds du graphe topologique et qui viennent ainsi enrichir le modèle.

### 1.4.3 Modélisation sémantique

On parle d'ensemble des propriétés fonctionnelles d'un objet liées à son usage. Elle est utilisée pour permettre à l'entité de raisonner sur des concepts symboliques. Elle consiste donc à associer aux lieux des informations permettant à l'entité intelligente :

- d'interagir avec un humain de manière quasi-naturelle : notification des opérations en cours et planifiées ("Je vais à la salle de bain puis, j'irai au bureau"), interprétation de requêtes ("Amène-moi au salon"),
- de classer les lieux en fonction des éléments qui les composent,
- de traiter les ambiguïtés,
- de détecter les erreurs de localisation.

Cette modélisation est systématiquement associée à un modèle topologique et à un ancrage géométrique permettant de localiser les informations sémantiques. On peut aussi voir, dans certains travaux, une démarche incrémentale entre la modélisation topologique et

la modélisation sémantique. Le modèle sémantique vient alors comme une sur-couche du modèle topologique.

Les lieux définis au niveau sémantique agrègent dans ce cas plusieurs lieux définis au niveau topologique [10], [11]. Parmi les lieux définis au niveau topologique, ceux permettant de changer de lieu sémantique sont alors identifiés comme des "lieux de passage".

Plus généralement, les lieux identifiés dans les modèles sémantiques ne correspondent plus à des positions dans l'espace, mais à des parties de l'espace. Par exemple, dans un environnement intérieur, l'information sémantique distingue les différentes pièces d'un bâtiment pour permettre au robot de s'y localiser par exemple [12]. Dans cette application, les lieux identifiés sont interconnectés dans un graphe (topologique) en fonction de leur connectivité. Cette cartographie sans métrique est faite à la main au préalable de la navigation (le modèle de l'environnement est alors connu a priori).

L'amélioration des techniques de vision au cours des dernières années a permis de construire ces modèles en ligne en associant aux différents lieux une information sémantique déduite des éléments qui le composent [13].

Les lieux identifiés se rapprochent généralement de ceux définis par [12] : on utilise une décomposition naturelle (couloir, hall, pièce avec leur fonction,...). Ces lieux sont identifiés en ligne [14], [15] par la reconnaissance des objets qu'ils contiennent (une pièce avec une douche est une salle d'eau, avec un ordinateur, un bureau,...). Leurs liens avec des modèles topologiques et géométriques les enrichissent et facilitent la navigation et la planification de trajectoires [16].

### **1.5. La Navigation dans l'environnement virtuel**

La navigation planifiée est une autre façon de se déplacer dans une scène virtuelle, le long d'un chemin prédéterminé, en indiquant la route à suivre. À partir de là, le point de vue de l'utilisateur est modifié de manière à suivre la route, sans que celui-ci ait à intervenir. Ce type de navigation peut s'apparenter au déplacement d'une caméra lors du tournage d'un film. En effet, beaucoup de scènes sont prévues à l'avance, avec des vues sous des angles particuliers. Les techniques de navigation planifiées offrent comme avantage de ne pas se soucier du déplacement, contrairement aux techniques dirigées par exemple. Elles laissent moins de degrés de liberté, mais la charge cognitive qui y est associée, se trouve également réduite.

### 1.5.1. Chemin dessiné

Pour planifier un chemin il est possible de le dessiner préalablement. Igarashi et al. [17] proposent une technique d'interaction, où l'utilisateur dessine la route souhaitée à l'aide d'un pointeur comme par exemple un stylo. Le système calcule automatiquement les mouvements de l'avatar le long du chemin, en projetant le tracé dessiné à l'écran, sur la surface 3D dans le monde virtuel. La direction de l'avatar est fixée à la tangente de la courbe projetée.

Cette projection est réalisée de manière assez intelligente ; si l'utilisateur dessine un chemin qui passe par un tunnel dont il ne peut voir l'intérieur, le système détermine la bonne projection. À l'inverse, lorsque le chemin doit passer au dessus d'un ravin, l'algorithme adapte automatiquement le chemin 3D pour éviter de tomber au fond du gouffre. Des mécanismes d'évitement d'obstacles, ou au contraire d'ouvertures dans des obstacles (créer un tunnel temporaire dans une montagne pour la traverser) ont également été testés avec succès.

Une extension de ce système peut être réalisée à l'aide de cartes. En effet, lorsque l'environnement virtuel est grand, l'utilisateur ne peut pas forcément atteindre, de façon précise, tous les endroits. Par contre, il lui est tout à fait possible de tracer un chemin sur une carte 2D ou 3D. Le système transforme les coordonnées de la courbe sur la carte, en coordonnées dans le monde virtuel.

Galyean et al. [18] proposent de contraindre les mouvements de l'utilisateur en lui laissant une certaine marge de manœuvre, c'est-à-dire en combinant navigation guidée et navigation libre. L'utilisateur se trouve dans un véhicule qui suit un chemin (par exemple un bateau sur une rivière). Il peut s'écarter du bateau lorsqu'il souhaite voir de plus près les animaux sur les berges, mais il reste attaché à l'embarcation par un ressort qui le tire en arrière. En outre, le ressort est d'autant plus raide que le courant est fort.

### 1.5.2. Points de passage

Lorsque le chemin à parcourir ne s'intéresse qu'à certains endroits particuliers, il est possible de n'indiquer que certains points de passage. Le système détermine ensuite un chemin continu passant par ces points, sans que l'être humain ait à intervenir. Bowman et al. [19] utilise ces concepts pour tester la capacité des utilisateurs à s'orienter mentalement dans



un espace confiné (corridor). Les auteurs ont montré que lorsque les utilisateurs peuvent voir le chemin qui passe par les points de passage (directement dans l'environnement 3D ou bien sur une carte), ils ont une meilleure compréhension mentale du monde virtuel. Précisons que dans cette implantation, la carte était en 3D, puisque le corridor à explorer pouvait tourner à droite ou à gauche et monter ou descendre.

### **1.5.3. Cartes et cibles**

La navigation orientée peut être réalisée à l'aide de cartes. Leur utilisation en environnement virtuel favorise la connaissance spatiale, en favorisant la construction de la carte cognitive d'un utilisateur. Pour Edwards et al. [20], l'utilisation des cartes en environnement virtuel maintient un modèle cognitif plus cohérent de l'environnement global lors de la navigation. En effet, une carte permet de mieux appréhender la topologie d'un environnement grâce à une représentation exocentrique de l'observateur par rapport à son environnement.

L'affichage d'une carte dépend à la fois de la position de l'utilisateur sur la carte, est-il centré en permanence sur la carte ou non, et de l'orientation de cette dernière par rapport au Nord géographique. On trouve deux types d'orientation: les cartes nord-dépendantes et les cartes vue-dépendantes. Dans le premier cas, c'est la connaissance globale de l'environnement qui est avantagée. Cependant, l'utilisateur doit être capable d'effectuer une rotation mentale pour associer mentalement les éléments représentés sur les cartes avec ceux de l'environnement. Dans le second cas, les cartes dépendantes du point de vue favorisent au contraire l'association directe entre les éléments de l'environnement et ceux de la carte, puisque l'orientation de la carte correspond en permanence à la direction du regard de l'utilisateur dans la scène.

Selon la manière dont l'utilisateur se repère dans son environnement, la construction de la carte cognitive sera différente. Certaines personnes utilisent essentiellement une stratégie égocentrique ; centrée sur eux-mêmes, alors que d'autres préfèrent une stratégie exocentrique; centrée sur les objets qui les entourent. Dans ce cas, une carte dépendante du point de vue est favorable.

## **1.6. Conclusion**

Nous avons pu voir, dans cette partie, qu'il existe différentes manières de modéliser un environnement. On trouve principalement trois niveaux d'information utilisés pour la navigation et la planification de trajectoire :

1. le niveau géométrique synthétisant les données nécessaires à la navigation,
2. le niveau topologique permettant la localisation et la planification en synthétisant la connectivité de l'environnement,
3. le niveau sémantique permettant principalement l'identification et la désignation de l'ensemble des propriétés fonctionnelles d'un objet liées à son usage.

Ce dernier niveau il a besoin d'un moyen de modélisation, parmi ces moyens, l'ontologie. Elle permet la modélisation d'un domaine de connaissances du niveau sémantique.

## **Chapitre 2 : Les Ontologies**

## **2.1. Introduction**

Une ontologie est un vocabulaire contrôlé qui permet de modéliser sémantiquement les connaissances d'un domaine, et peut être vue comme un modèle conceptuel d'un domaine particulier, qui décrit les concepts de ce domaine et les relations entre ces concepts. Les ontologies sont des ressources sémantiques créées par une communauté d'expert afin d'englober et structurer des informations d'un domaine. Elles décrivent les concepts et les relations entre ces concepts pour faciliter ensuite leurs exploitations automatiques par les machines.

## **2.2. Définitions de l'ontologie**

L'ontologie est un concept utilisé dans la philosophie, c'est la métaphysique qui s'intéresse à l'existence, à l'être en tant qu'être et aux catégories fondamentales de l'existant[21]. Ce terme est composé de mots grec « ontos » qui veut dire ce qui existe, l'être, l'existant, et « logos » qui veut dire l'étude, le discours, d'où sa traduction par « l'étude de l'être ». [21]. Par conséquent, l'ontologie est défini comme suit : partie de la métaphysique qui s'attache à l'étude ou à la théorie de l'être dans son essence, indépendamment des phénomènes de son existence. [23].

Dans le domaine informatique l'ontologie est défini par Guarino & Giaretta [24] comme suit « une ontologie est une spécification rendant partiellement compte d'une conceptualisation ».

Swartout et ses collègues [25] la définissent comme suit : « une ontologie est un ensemble de termes structurés de façon hiérarchique, conçue afin de décrire un domaine et qui peut servir de charpente à une base de connaissances ».

La même notion est également développée par Gomez [26] comme : « une ontologie fournit les moyens de décrire de façon explicite la conceptualisation des connaissances représentées dans une base de connaissances ».

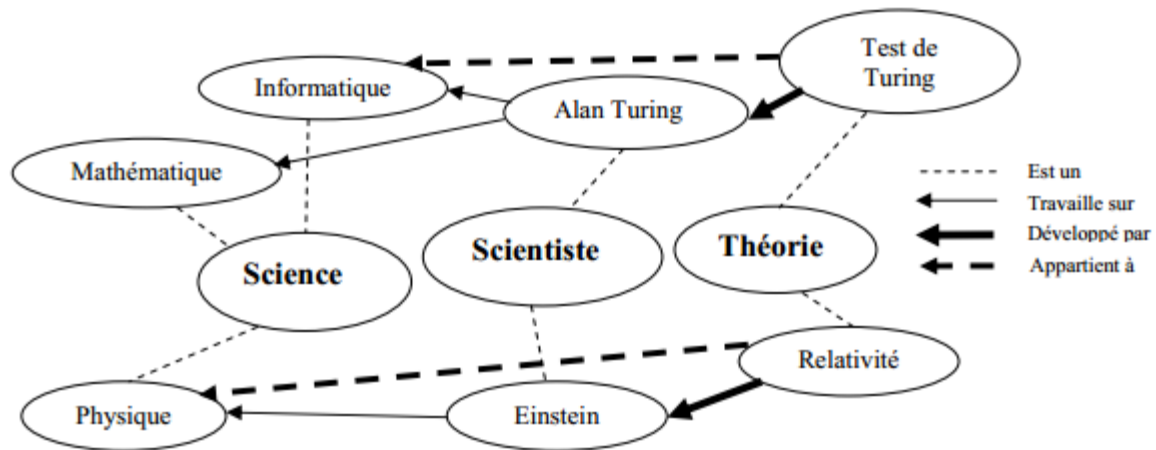


Figure 2. 1. Un exemple d'ontologie.

### 2.3. Classification des ontologies

Les ontologies ont été classifiées en plusieurs catégories, selon un ensemble de critères définis par des chercheurs.

Dans ce qui suit, on va présenter les classifications de Van Heijst [27] et celle de Guarino [28].

#### Classification de Van Heijst

Selon Van Heijst [27], l'ontologie est classifiée selon deux types de critères. Le premier critère est la richesse des structures utilisées dans l'ontologie. Donc, on peut distinguer trois catégories d'ontologies :

- Les ontologies terminologiques qui sont utilisées pour spécifier les termes du vocabulaire d'un domaine de connaissances.
- Les ontologies d'information qui spécifient la structure/le schéma d'une base de données pour permettre le stockage d'informations.
- Les ontologies qui modélisent la connaissance et qui proposent des structures internes plus riches.

Le deuxième critère de classification est également la prise en compte des "objectifs" de la modélisation. Alors, Van Heijst propose quatre catégories selon ce critère :

- Les ontologies d'applications qui permettent de modéliser les informations nécessaires aux applications particulières. Elles contiennent toutes les connaissances nécessaires pour le bon fonctionnement d'une application
- Les ontologies de domaine qui expriment la conceptualisation des connaissances d'un domaine particulier.
- Les ontologies génériques qui sont utilisées pour représenter la connaissance commune réutilisable dans les domaines. Ces ontologies incluent le vocabulaire lié aux choses, aux événements, au temps, à l'espace, à la causalité, au comportement, à la fonction, etc.
- Les ontologies de représentation qui visent à expliciter les entités du monde réel, les concepts des ontologies de représentation peuvent être utilisés dans les ontologies génériques ou les ontologies de domaine. Le schéma suivant illustre cette classification :

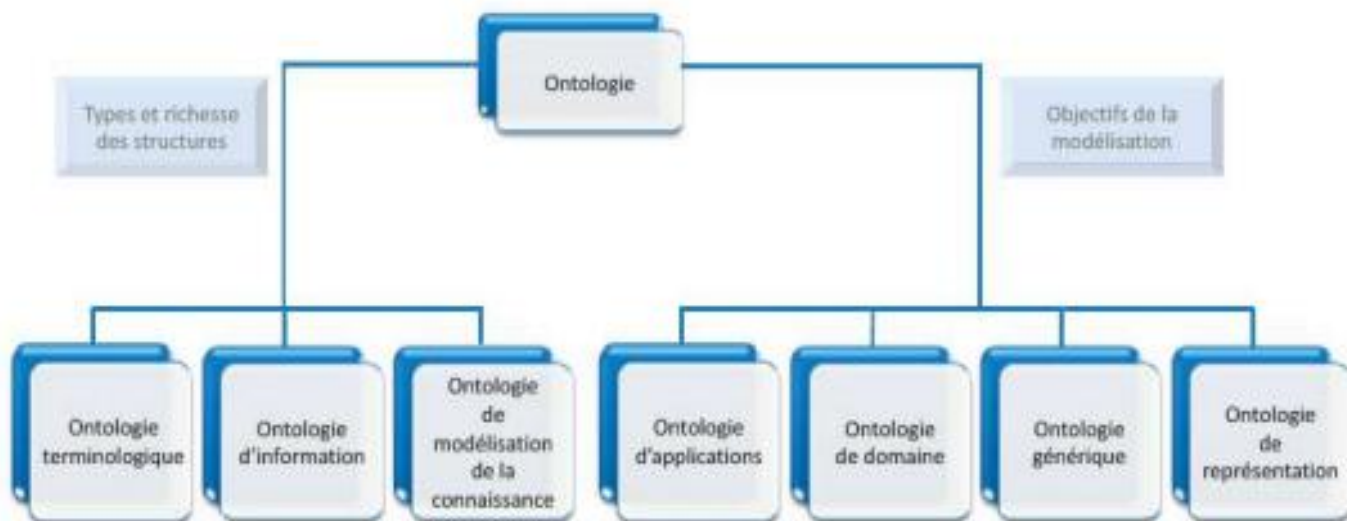


Figure 2. 2. Classification des ontologies selon Van Heijst [27].

Guarino [28] a classifié, les ontologies en cinq catégories, selon leurs degré de généralité ou du niveau de dépendance d'une tâche:

- **Ontologie de représentation de connaissances**

Dans cette catégorie les connaissances sont formalisées sous forme d'une représentation primitive sous un paradigme donné. Par exemple, une ontologie sur le formalisme des Topic Maps comportera les concepts : Topic, Type de Topic, Association, Occurrence, Type Occurrence.

➤ **Les ontologies de haut niveau**

C'est le niveau conceptuel des ontologies. Elles couvrent plusieurs domaines et elle exprime des conceptualisations valables dans différents domaines. Ce type d'ontologie utilise des concepts très généraux comme l'espace, le temps, la matière, les objets, les événements, et les actions, etc. Ces concepts appartiennent à plusieurs domaines et acceptés par une grande communauté d'utilisateurs. Ils ne dépendent pas d'un problème ou d'un domaine particulier. Son sujet est l'étude de catégories telles que les entités, les événements, les états, les processus, les actions, le temps, l'espace, les relations, et les propriétés.

➤ **Les ontologies de domaine**

Cette ontologie regroupe tous les concepts et les relations entre eux d'un domaine particulier, elle permet de modéliser et de traiter tous les problèmes qui ont une relation avec leur domaine. Pour construire ce type d'ontologie, il faut des experts d'un domaine pour fournir les concepts et les relations permettant de couvrir les termes, les activités et les théories de ce domaine.

➤ **Les ontologies des tâches ou d'activités**

L'ontologie de tâches est un ensemble de vocabulaires des termes employés pour résoudre des problèmes liés aux tâches qui peuvent être ou non du même domaine. Elle fournit un ensemble de termes avec lesquels nous pouvons déterminer d'une manière efficace comment résoudre un type de problème. Elle inclut des noms, des verbes et des adjectifs génériques dans les descriptions de tâches.

➤ **Ontologie Générique (Generic ontology)**

Elle est appelée noyau ontologique, elle permet de modéliser des connaissances assez générales mais moins abstraites que celles qui se trouvent dans les ontologies de haut niveau. Elle peut couvrir différents domaines. Cette ontologie inclut un

vocabulaire relatif aux choses, évènements, temps, espace, causalité, comportement, et fonction, etc...

➤ **Les ontologies d'applications**

C'est l'ontologie la plus spécifique, elle contient des concepts qui ont une relation avec un domaine et d'une tâche particulière, elle est spécifique et non réutilisable.

## **2.4. Composantes d'une ontologie**

Les ontologies fournissent un vocabulaire commun d'un domaine et définissent la signification des concepts et des relations entre eux. La connaissance dans les ontologies est principalement formalisée en utilisant les cinq types de composants à savoir : concepts (ou classes), relations (ou propriétés), fonctions, axiomes (ou règles) et instances (ou individus).

### **2.4.1. Concepts**

Les concepts représentent les classes de l'ontologie, qui correspondent aux abstractions pertinentes d'un segment de la réalité (le domaine du problème) retenus en fonction des objectifs qu'on se donne et de l'application envisagée pour l'ontologie. [29]

➤ La généralité :

Un concept est générique s'il n'admet pas d'extension. Par exemple : la vérité est un concept générique.

➤ L'identité:

Un concept porte une propriété d'identité si cette propriété permet de conclure quant à l'identité de deux instances de ce concept. Cette propriété peut porter sur des attributs du concept ou sur d'autres concepts. Par exemple, le concept d'étudiant porte une propriété d'identité liée au numéro de l'étudiant, deux étudiants étant identiques s'ils ont le même numéro.

➤ La rigidité:



Un concept est rigide si toute instance de ce concept en reste instance dans tous les mondes possibles. Par exemple : humain est un concept rigide, étudiant est un concept non rigide.

➤ L'anti-rigidité :

Un concept est anti-rigide si toute instance de ce concept est essentiellement définie par son appartenance à l'extension d'un autre concept. Par exemple : étudiant est un concept anti-rigide car l'étudiant est avant tout un humain.

➤ L'unité:

Un concept est un concept unité si, pour chacune de ses instances, les différentes parties de l'instance sont liées par une relation qui ne lie pas d'autres instances de concepts. Les propriétés portant sur deux concepts [29]:

- **L'équivalence**: deux concepts sont équivalents s'ils ont même extension. Par exemple : étoile du matin et étoile du soir.
- **La disjonction** : deux concepts sont disjoints si leurs extensions sont disjointes. Par exemple : homme et femme.
- **La dépendance**: un concept C1 est dépendant d'un concept C2 si pour toute instance de C1 il existe une instance de C2 qui ne soit ni partie ni constituant de l'instance de C1 (par exemple le concept "parent" est un concept dépendant du concept "enfant" et vice-versa).

#### 2.4.2. Relations

Les relations traduisent les associations (pertinentes) existant entre les concepts présents dans le segment analysé de la réalité. Ces relations incluent les associations suivantes :

- Sous classes de (généralisation-spécialisation);
- Partie de (agrégation ou composition);
- Associe à;
- Instance de, etc...

Ces relations nous permettent d'apercevoir la structuration et l'interrelation des concepts, les uns par rapport aux autres.

Les propriétés liant deux relations sont :

- **Les propriétés algébriques:** comme la symétrie, la réflexivité et la transitivité;
- **La cardinalité :** indique le nombre possible de relation de ce type entre les mêmes concepts ou instances du concept.
- **L'incompatibilité:** deux relations sont incompatibles si elles ne peuvent lier les mêmes instances de concepts (par exemple les relations "être rouge" et "être vert" sont incompatibles).
- **L'inverse:** deux relations binaires sont inverses l'une de l'autre si, l'une lie deux instances I1 et I2, l'autre lie I2 et I1 (par exemple les relations "a pour père" et "a pour enfant" sont inverses l'une de l'autre).
- **L'exclusivité:** deux relations sont exclusives si, l'une lie des instances de concepts, l'autre ne lie pas ces instances, et vice-versa (par exemple "l'appartenance" et "la non appartenance" sont deux relations exclusives). L'exclusivité entraîne l'incompatibilité.

### 2.4.3. Les fonctions

Les fonctions constituent des cas particuliers de relations, dans laquelle un élément de la relation, (le nième) est défini en fonction des N-1 éléments précédents; Formellement, les fonctions sont définies ainsi :

$$F : C1 * C2 * \dots * Cn-1 \rightarrow Cn$$

### 2.4.4. Axiomes

Les axiomes constituent des assertions, acceptées comme vraies, à propos des abstractions du domaine traduites par l'ontologie.

### 2.4.5. Instances

Les instances constituant la définition extensionnelle de l'ontologie; ces objets véhiculent les connaissances (statiques, factuelles) à propos du domaine du problème.

## 2.5. Méthodologies pour la construction d'ontologies

Les ontologies sont devenues une composante principale dans les systèmes d'informations, leur développement doit se poser sur des techniques et des méthodes bien avancées, afin qu'une ontologie réponde aux objectifs attendus. Il est donc important de la construire en respectant des règles précises. Il existe plusieurs méthodologies de construction d'ontologie. Quelle que soit la méthodologie retenue, les auteurs s'accordent sur un processus de développement découpé en trois phases principales: (1) **la spécification sémantique**, (2) **la conceptualisation**, (3) **la formalisation**.

Cette dernière peut être complétée par **une phase d'ontologisation** et une phase **d'opérationnalisation** [30],[31]. La création d'une ontologie n'est pas linéaire mais de nombreux allers-retours entre les phases de conceptualisation et de formalisation sont nécessaires.

### Protégé 2000 : un outil pour la construction d'ontologies

Protégé<sup>1</sup> est un logiciel open source gratuit, il permet d'éditer une ontologie d'une manière facile. C'est un système d'acquisition de connaissances. Protégé fournit une interface graphique pour définir des ontologies. Il comprend également des mécanismes pour valider si des modèles sont cohérents ou non, et il permet de déduire de nouvelles informations sur la base de l'analyse d'une ontologie. Cette application est écrite en Java. Protégée est développée à l'Université de Stanford.

---

<sup>1</sup> [www.protege.stanford.edu](http://www.protege.stanford.edu)

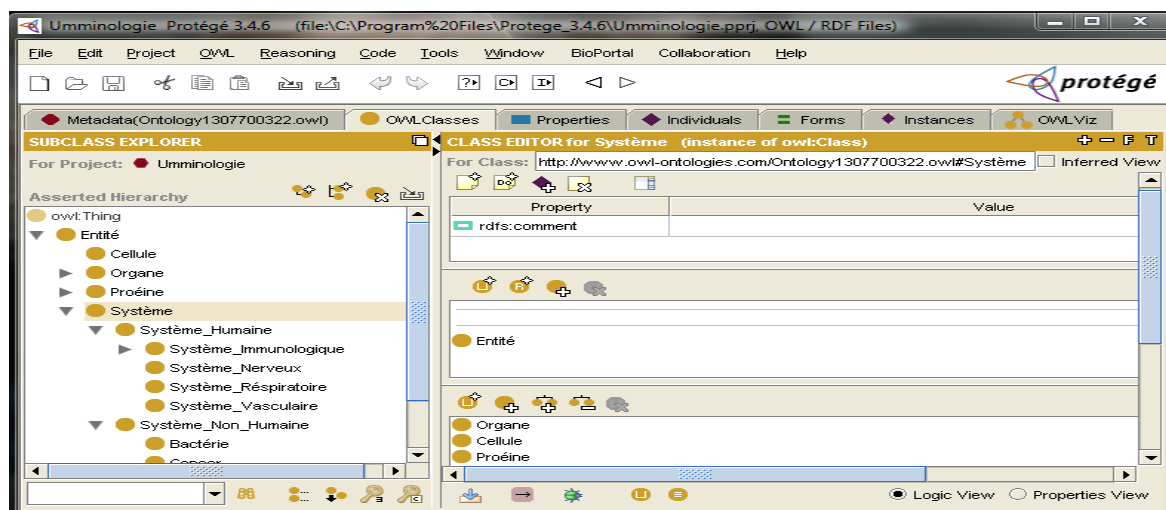


Figure 2.3. Interface graphique de Protégé 3.4.6

Cet outil supporte la plupart des langages d'ontologies tels que: XML, OWL, RDF....

## 2.6 Types d'ontologie

Ils existent différents types de ressources sémantiques telles que les taxonomies, les thesaurus, les ontologies, glossaires et dictionnaires. La plupart du temps les chercheurs utilisent souvent le mot ontologie pour indiquer ces différents concepts.

### 2.6.1 Taxonomie

C'est un classement hiérarchique des termes d'un organisme ou d'un système. Une taxonomie est une collection de termes organisés en une structure hiérarchique. Les termes dans une taxonomie sont reliés entre eux par des relations parent-enfant.

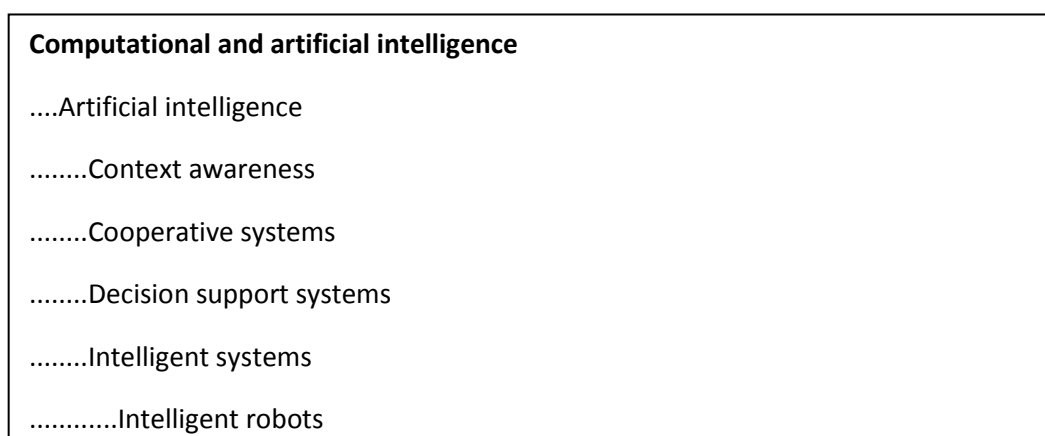


Figure 2.4. Une partie de la taxonomie du IEEE <sup>2</sup>(2014)

<sup>2</sup> www.ieee.org

### 2.6.2 Thesaurus

Un thésaurus est un réseau de termes qui utilise d'autres relations entre ces termes, en plus de la relation parent-enfant.

Un thésaurus est composé d'au moins trois éléments : une liste de mots, une relation entre les mots, et un ensemble de règles sur la façon d'utiliser le thésaurus.

Il existe des thésaurus spécialisés dans un domaine précis tels que MeSH (domaine biomédical), et des thésaurus généralistes comme WordNet.

#### WordNet

Le WordNet [32] est une grande base de données lexicale pour la langue anglaise lisible par les machines. En raison de sa conception et sa large couverture, cette ressource a trouvé une large acceptation dans le domaine de la linguistique [33].

L'élément le plus fondamental qui compose WordNet est le synset, qui signifie ensemble de synonymes. C'est l'ensemble de termes qui ont un sens commun dans le même contexte. Chaque synset a des relations sémantiques qui sont utilisées pour le relier à d'autres synsets.

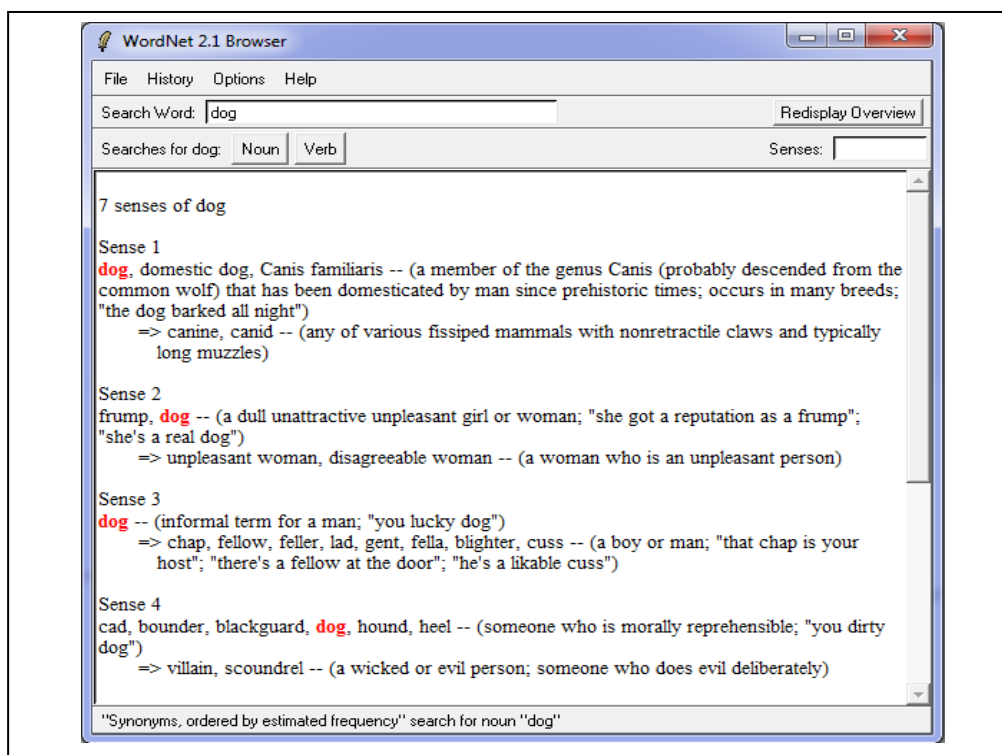


Figure 2.5. Un exemple de WordNet (version bureau).

Les relations sémantiques disponibles dans WordNet sont: Super-subordonné et partie-tout, antonymie, similitude.

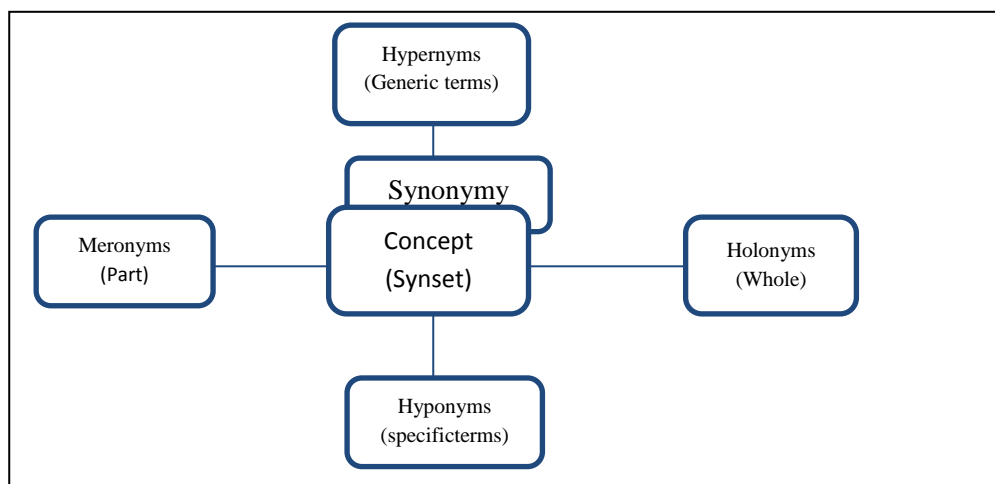


Figure 2.6. Relations sémantiques dans WordNet [34].

### 6.2.3 Ontologies

Les ontologies décrivent un ensemble d'axiomes et de règles qui permettent de générer de nouvelles connaissances à partir des concepts et des relations de concepts qui se trouvent déjà dans l'ontologie. Cette caractéristique est absente dans les autres types de vocabulaires (taxonomies, thesaurus,...).

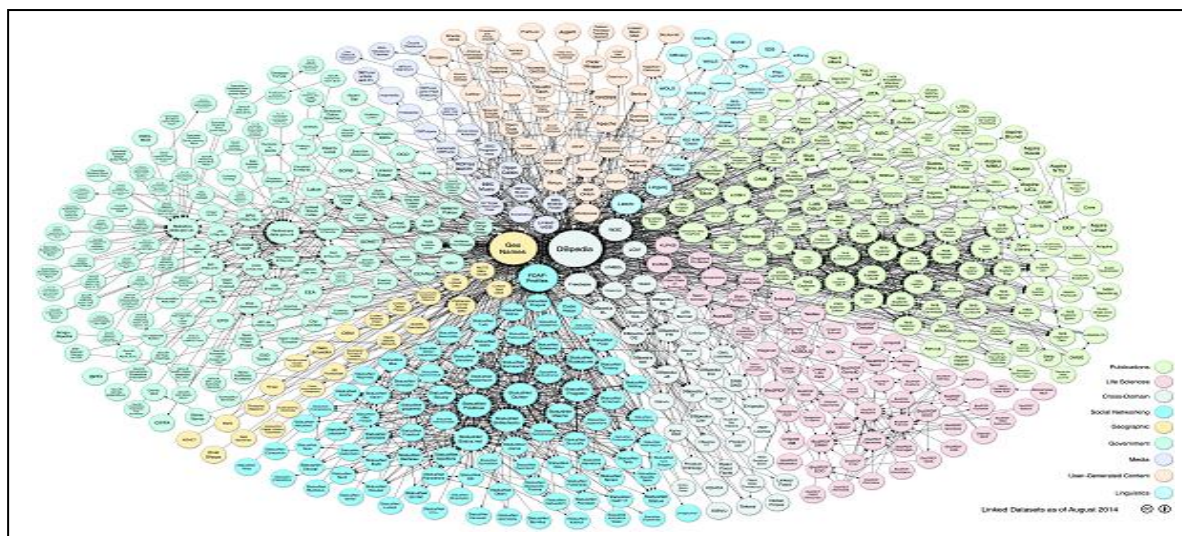
#### Exemples d'ontologies

##### 1. YAGO

Est une ontologie de grande couverture. Elle a été automatiquement extraite et combiné de Wikipédia et WordNet. Elle comprend les entités et les relations, et contient actuellement plus de 2 millions d'entités (personnes, villes...), et 20 millions de faits sur les entités.

##### 2. DEPEDIA

DBpedia est une ontologie qui contient des informations extraites à partir de Wikipedia. DBpedia permet d'interroger, avec des requêtes complexes, les données de Wikipedia et permet aussi de lier avec Wikipedia, d'autres ressources de données qui se trouvent sur le Web. [35].



## 2.7. Les langages d'ontologie

Les ontologies jouent un rôle très important dans le Web Sémantique en permettant de spécifier de manière formelle des vocabulaires pour la description du contenu du Web [36]. Ainsi, les informations du Web peuvent être accessibles et compréhensibles à la fois par les humains et par les machines. Dans la littérature plusieurs langages ont été utilisés pour la description des ontologies. Ces langages regroupent le langage de représentation des hiérarchies XML (eXtensible Markup Language), le langage RDF (Resource Description Framework), et le langage OWL (Ontology Web Language). Ces langages offrent différents niveaux d'expressivité [36].

---

<sup>3</sup> [www.dbpedia.org](http://www.dbpedia.org)

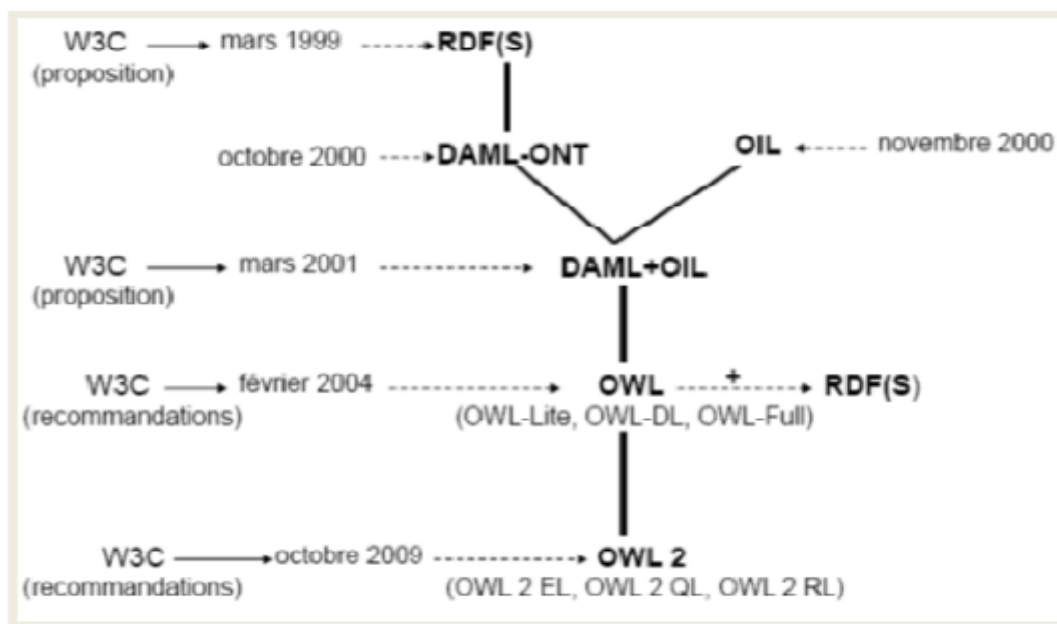


Figure 2.8. Généalogie des langages.

### 2.7.1. XML

Le langage eXtensible Markup Language (XML) soutenu par le W3C depuis février 1998 pour le balisage des documents, conçu et optimisé pour la transmission des données via le Web, XML fournit un mécanisme simple mais robuste pour l'encodage des informations sur le Web sémantique [34]. On peut citer quelques règles syntaxiques du XML:

- Un prologue qui indique la version de XML employée.
- Chaque élément doit commencer par une balise ouvrante et se termine par une balise fermante.
- l'imbrication des éléments du document se fait sans chevauchement. Concrètement, cela signifie que si la balise ouvrante d'un élément se trouve à l'intérieur d'un élément parent, la balise fermante se trouvera dans le même élément.

Le langage XML possède une syntaxe pour la description des documents structurés. Il ne permet pas d'imposer des contraintes sémantiques à la signification des documents décrits.

Le langage XML est un langage à balises. Un schéma XML est une description du type d'un document XML. Le schéma contient un ensemble de règles. Ces règles sont des contraintes sur la structure et le contenu du document XML. Un document XML doit



respecter le XML schéma qui lui est dédié afin d'assurer la validité du document selon son schéma. Le DTD (Document Type Définition) permet de définir une grammaire permettant de vérifier la conformité du document XML. Le DTD et le schéma XML sont développés pour exprimer des schémas XML.

Un document XML contient l'espace de noms (namespace) qui est un contexte ou un conteneur abstrait. L'espace des noms contient des noms, des termes, des mots qui représentent des objets ou des concepts dans le monde réel. Un nom défini dans un espace de noms correspond à un et un seul objet. Deux concepts ou objets différents sont référencés par deux noms différents dans un même espace de noms. Le langage XML ne permet de présenter que la structure des documents. Il ne prend pas en charge la sémantique de l'information. La sous-section suivante décrit le langage de description de ressources RDF.

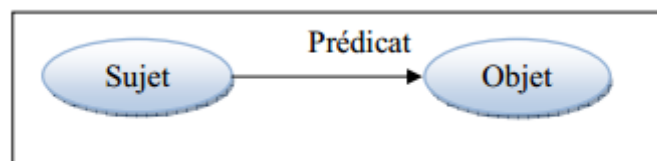
```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<article>
<titre> Ontologie </titre>
<auteur> Messaoud Mezati </auteur>
<année> 2016 </année>
<résumé> l'ontologie est un vocabulaire controlé qui permet aux machines de .....
</résumé>
<section>
  <titre> Définition de l'ontologie </titre>
  <paragraphe> Dans le domaine informatique l'ontologie est définit par Guarino & Giaretta
    [24] comme suit « une ontologie est une spécification rendant partiellement
    compte d'une conceptualisation ».....
  </paragraphe>
</section>
<section>
  <titre> Historique </titre>
  <paragraphe> Le concept du Réseau sémantique a été formé dans les années 1960
  </paragraphe>
</section>
</article>
```

Figure 2.9. Exemple d'un document XML

### 2.7.2. RDF

Le langage RDF est un modèle de méta-données pour référencer des objets (ressources) et les liens entre ces objets. Dans ce langage, les ressources sont identifiées par les URIs (Uniform Resource Identifier). Il s'agit d'un langage qui permet de décrire la sémantique des données, de manière compréhensible par les machines. Le modèle de données RDF est constitué de trois types de composantes :

- **Sujet**: il représente la ressource à décrire. Il est nécessairement identifié par une URI.
- **Prédictat** ou **Propriété** : il s'agit d'une propriété utilisée pour caractériser et décrire une ressource. Un prédictat est nécessairement identifié par une URI. Il exprime un lien ou une relation entre le sujet et l'objet
- **Objet**: représente une donnée ou une autre ressource (identifiée par une URI).



Les triplets RDF peuvent être représentés sous une forme graphique à travers un graphe décrits en XML.

Le schéma RDF est un langage qui permet de décrire des vocabulaires, des propriétés et des classes de ressources dans le modèle RDF. Le schéma RDF est une extension sémantique du langage RDF. Il assure des mécanismes pour la description des groupes de ressources similaires (classes) et des relations entre ces ressources (propriétés). Les descriptions du vocabulaire du schéma RDF sont écrites en RDF. Les deux langages RDF et schéma RDF sont référencés par RDF(S). Le RDF(S) possède des mécanismes pour la description des ressources ainsi que leurs caractéristiques.

```

<?xml version="1.0"?>
<rdf:RDF
xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:dc= "http://purl.org/dc/elements/1.1/">

<rdf:Description rdf:about="http://www.w3schools.com">
  <dc:description>W3Schools - Free tutorials</dc:description>
  <dc:publisher>Refsnes Data as</dc:publisher>
  <dc:date>2008-09-01</dc:date>
  <dc:type>Web Development</dc:type>
  <dc:format>text/html</dc:format>
  <dc:language>en</dc:language>
</rdf:Description>
</rdf:RDF>

```

Figure 2.9. Exemple d'un document RDF (W3C)

Les mêmes déclarations peuvent être représentées dans un graphe étiqueté, où les nœuds ovales représentent les ressources identifiées par des URIs et les nœuds rectangulaires représentent les valeurs de type de base. Les arcs représentent les propriétés des ressources dont la source correspond au sujet et la cible correspond à l'objet d'une déclaration RDF.

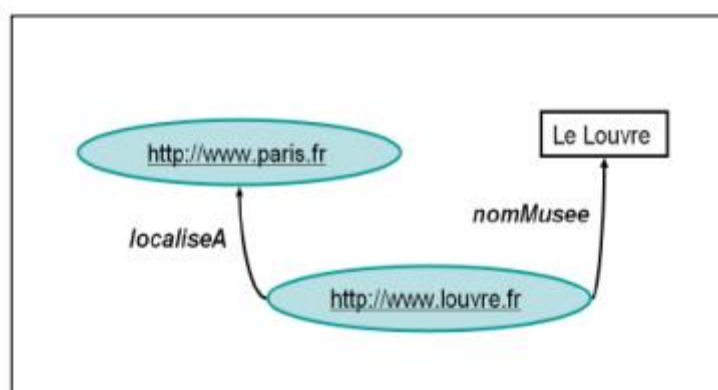


Figure 2. 10. Exemple du schéma RDF.

Une des caractéristiques les plus importantes du schéma RDF est la possibilité de définir les liens de "subsumption" entre des classes et des relations. Ces liens sont assurés

par les primitives `rdfs:subClassOf` et `rdfs:subPropertyOf`. Ces primitives sont des liens de "spécialisation" ou "is\_a". Elles permettent aux classes et aux relations d'hériter des caractéristiques définies dans les classes (ou des relations) parentes. Ce mécanisme assure le raisonnement dans RDF(S). La sous-section suivante présentera le langage de description des ontologies DAML+OIL.

### 2.7.3. OWL

OWL (Ontology Web Language) est un langage basé sur RDF. Il enrichit le modèle du schéma RDF en définissant un vocabulaire riche pour la description d'ontologies complexes. Le langage OWL est basé sur une sémantique formelle définie par une syntaxe rigoureuse. Le langage OWL est un langage pour la représentation des ontologies dans le cadre du web sémantique. Il représente une extension du vocabulaire de RDF(S). Le langage OWL est dérivé du langage d'ontologies DAML+OIL. Le langage OWL permet, en plus des primitives RDF(S), des relations entre les classes (disjonction, intersection, union, etc.), la cardinalité, l'égalité, etc. Le langage OWL permet la définition des types de propriétés (propriété d'objet, annotation, etc.), des caractéristiques des propriétés (par exemple le symétrique et la transitivité) et des classes énumérées.

Le langage d'ontologies OWL est décliné en trois sous-langages possédant une expressivité ascendante à savoir : OWL-Lite, OWL-DL (Ontology Web Language Description Logic) et OWL-Full. La raison principale de cette division concerne la complexité, la calculabilité et l'implémentation du langage.

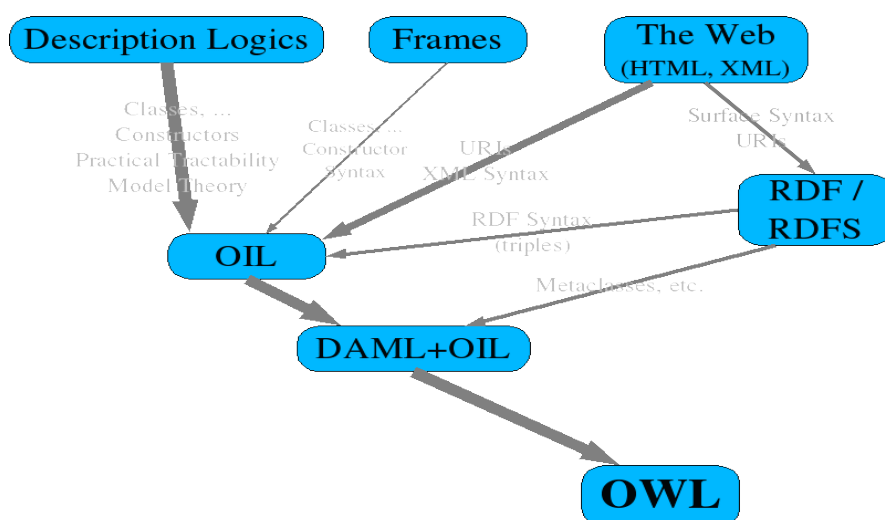


Figure 2. 11. Origine du langage OWL.

Le sous-langage OWL-Lite possède la complexité formelle la plus basse et une expressivité minimale. Il est recommandé pour la représentation des thésaurus, des taxonomies ou hiérarchie de classes avec des contraintes simples. Le sous-langage OWL-DL est caractérisé par une expressivité maximale avec une complétude computationnelle un temps de calcul fini. Le sous-langage OWL-DL est dédié pour la représentation d'ontologies nécessitant une puissance d'expressivité toute en garantissant la calculabilité. Il est destiné aux utilisateurs qui demandent une expressivité maximale tout en retenant la complétude du calcul (toutes les inférences sont garanties calculables) et la décidabilité (tous les calculs s'achèveront dans un intervalle de temps fini).

Le sous-langage OWL-Full est conçu pour les utilisateurs, qui nécessitent une expressivité maximale. Ce langage possède une syntaxe libre de RDF. Ce sous-langage ne garantit pas la calculabilité. Le OWL-Full est considéré comme une extension du langage RDF, tandis que les deux sous-langages OWL-Lite et OWL-DL sont considérés comme des extensions restreintes de RDF. Cependant, ce sous-langage OWLFull est une extension de OWL-DL, qui est à son tour une extension de OWL-Lite. Tous les documents OWL sont des documents valides en RDF. Un document RDF est un document OWL-Full, par contre seulement quelques documents décrits avec le langage RDF sont des documents valides en OWL-Lite et OWL-DL.



Figure 2. 12. **Les types du langage OWL.**

L'utilisation du langage de représentation OWL dans le cadre d'apprentissage à distance permet d'une part de faire reposer le système E-learning, et de représenter le contenu pédagogique sémantiquement pour faciliter l'exploitation d'un contenu annoté durant le processus d'apprentissage.

## 2.8. L'utilisation des ontologies

Au début, Les ontologies ont été introduites que dans le domaine de l'intelligence artificielle. Aujourd'hui les ontologies sont largement utilisées dans différents domaines (traitement de langage naturel, gestion de la connaissance, E-commerce, intégration intelligente d'information, le Web sémantique, E-Learning, ...etc.)

Donc nous pouvons résumer l'utilisation des ontologies dans de nombreux domaines d'applications tels que :

- Intégration d'information géographique ;
- Gestion des ressources humaines ;
- Aide à l'analyse en biologie, suivi médicale informatisé ;
- Commerce électronique ;
- Enseignement assisté par ordinateur ;
- Bibliothèques numériques ;
- Recherche d'informations.

## **2.9. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons rappelé la notion d'ontologies, leurs différents types et composants, et quelques outils de manipulation. A cet effet, nous allons présenter dans le chapitre suivant les littératures des différents travaux qui abordent des solutions pour la création d'approches générales permettant de modéliser ce type d'information sémantique.

## **Chapitre 3 : La modélisation sémantique d'environnements virtuels**

### 3.1. Introduction

L'être humain doit prendre en compte beaucoup de connaissances sémantiques lors de son interaction avec son environnement. Prenant comme exemple son déplacement, avant de pouvoir le faire, il a besoin de se représenter cet environnement. Cette représentation sémantique va en effet lui servir à raisonner sur cet environnement, que ce soit pour évaluer un chemin afin d'atteindre une localisation précise, ou encore pour organiser les tâches qu'il doit effectuer (comme les interactions avec l'environnement),....

### 3.2. La modélisation Sémantique

Le concept de modélisation sémantique tire son origine dans le domaine des bases de données et des systèmes d'information en général. La grande quantité de données contenues dans les systèmes d'information multimédia nécessite un support sémantique pour la navigation et la recherche efficace. Des concepts tels que « réseaux sémantiques » [36] ont été proposés pour représenter les connaissances contenues dans un ensemble de données hétérogènes. Depuis ces premiers travaux, les descripteurs sémantiques ont été utilisés comme des blocs de construction d'une base de connaissances hypermédia. Un exemple plus récent de l'utilisation de la sémantique pour créer une base de connaissances efficace peut être trouvé dans [37]. Les auteurs proposent une approche intégrée pour le développement de l'hypertexte spatiale. Ils utilisent plusieurs théories et techniques concernant les structures sémantiques qui les transforment en un espace sémantique rendu dans la réalité virtuelle. La navigation et l'interrogation sont devenues naturelles et inhérentes dans les activités compatibles dans le même espace sémantique. Le principe de conception est basé sur la théorie des cartes cognitives. Des techniques telles que l'indexation sémantique et la modélisation de réalité virtuelle sont utilisées aussi bien.

Nous utilisons la technologie du Web sémantique et l'appliquons à des outils de gestion des connaissances. Les collectivités sont en mesure de partager automatiquement des informations [38][39]. Les ontologies peuvent changer au fil du temps sur la base des concepts représentés et les informations que les utilisateurs choisissent d'associer à des concepts particuliers. Le lien à partir de systèmes à base de connaissances pour les applications de l'environnement virtuel a été progressivement mis en place grâce à l'utilisation de la réalité virtuelle pour visualiser les relations entre les concepts et autres éléments d'information. Ceci peut être illustré par le travail de Chen et al. [37], où les auteurs représentent des informations sémantiques dans un environnement du RV. Dans le même



temps, la «pure» EV modélisation a commencé à incorporer la sémantique comme un moyen d'améliorer l'interaction de l'utilisateur et de la représentation des mondes virtuels. Dans une dernière publication, Chen et al. [40] ont présenté un média approche de modélisation de l'espace de la connaissance pour construire des environnements virtuels partagés personnalisables. Ils se concentrent sur la façon dont un modèle spatial sémantiquement enrichit un médiateur de comportement interactif des utilisateurs dans un contexte spécifique au domaine.

Ce travail montre que EV sont des applications personnalisées qui ne peuvent être facilement adaptées aux différents contextes. L'information décrivant les environnements ne sont pas lisibles par différents clients –téléspectateurs et interfaces. Partager le contenu ou l'utiliser dans un scénario différent est impossible dans la plupart des cas. Un environnement virtuel sémantique doit fournir une représentation unifiée des informations décrivant un EV et de permettre un accès égal et évolutive pour des environnements hétérogènes [41]. Récemment, la sémantique des objets 3D a été explorée dans le domaine de l'architecture et du patrimoine culturel. L'idée principale est de souligner l'importance des fonctions de l'objet et de ses relations avec d'autres objets. La représentation géométrique est une suite de fonctions et du rôle de l'objet dans l'EV. Kang et Kwon [42] qui ont utilisé l'information sémantique concernant les relations entre les objets composant une scène bâtiments -Anciens dans ce sens de fournir des représentations géométriques supplémentaires d'un objet donné.

Grussenmeyer et al. [43] considèrent la structure sémantique combinée à la géométrie de la racine du modèle 3D. L'espace concerné par la modélisation est décomposé en différents «concepts sémantiques» qui comprennent une structure sémantique. La structure sémantique est le fondement des règles de connaissances et de composition qui peuvent être utilisés pour aider à la reconstruction géométrique semi-automatique d'objets différents bâtiments –historique dans ce cas.

Nous avons présenté un bref état de l'art sur la modélisation sémantique et ses applications sur des systèmes basés sur la connaissance et les environnements virtuels. Nous concluons que le potentiel de l'utilisation des informations sémantiques n'a pas été pleinement exploité. La nécessité d'intégrer les informations complémentaires sur les objets dans un monde virtuel ont été clairement identifiés. La sémantique peut être utilisé à chaque étape du cycle de vie d'un modèle 3D en commençant par les / la phase de conception de modélisation et d'aller jusqu'à l'exploitation du contenu -Navigation, et la récupération. Néanmoins, afin

d'unifier réellement et étendre l'utilisation de la sémantique pour les environnements virtuels, un modèle général pour représenter une scène virtuelle est nécessaire. Dans la section suivante, nous présentons des différentes études et travaux qui traitent la sémantique dans un environnement virtuel.

### **3.3. La modélisation sémantique d'environnements virtuels**

Pour définir notre modèle sémantique général d'un environnement virtuel, nous avons pris en compte les travaux sur la sémantique de forme cités dans la section précédente ainsi qu'une notion de base provenant du domaine des systèmes de CAD. La distinction entre la géométrie et sa fonctionnalité est un concept commun dans le contexte de la fonctionnalité basée sur la CAD et également dans le domaine de l'animation de personnages. Par exemple, quand un artiste numérique crée une séquence d'animation, il / elle utilise souvent une version simplifiée du personnage étant animée généralement un squelette ou un générique de forme articulées. La fonctionnalité (animation) est appliquée à une ou plusieurs formes (caractères) avec la même sémantique (structure ou squelette hiérarchique similaire).

L'objet qui devient une forme de diverses propriétés décrivant une entité virtuelle et qui dépend de la / les deux interfaces est disponible pour visualisation et de communication et sur les préférences de l'utilisateur. Par exemple, un personnage virtuel peut être visualisé automatiquement sous la forme de 3D à haute résolution ou réaliste comme un faible polygone squelette simplifié selon la puissance de calcul de l'observateur (par exemple une station de travail graphique ou un PDA).

En tout cas, la fonctionnalité de la nature (d'animation) est la même. Cela est possible uniquement si le personnage ne se définit ni comme un maillage 3D déformable ni comme un squelette simplifié mais comme une entité virtuelle avec une sémantique particulière (structure hiérarchique décrivant la pose et l'animation du personnage). Le long du processus d'élaboration du système et les différents modèles sont produits de manière séquentielle ou en parallèle. Il en résulte que les modèles existants diffèrent les uns des autres par leur point de vue, leur niveau d'abstraction, et la sémantique qu'ils véhiculent, bien qu'ils partagent certains concepts de base. Fondamentalement, la modélisation sémantique vise à réduire l'écart entre les différentes représentations de l'objet qui importe que les experts, les concepteurs, les ingénieurs, et les utilisateurs finaux peuvent avoir sur le système (ici l'environnement virtuel).

Les simples concepts ou tous ces acteurs qui se partagent réellement sont ceux du domaine spécifique de l'application, et non ceux liés aux aspects techniques.

Par exemple, une représentation du sens commun d'une pièce est composée d'un plancher, un plafond, des murs, au moins une porte et des fenêtres éventuellement. Dans la salle, il peut y avoir quelques morceaux de meubles, tels que des tables et des chaises. Tous ces objets ont des propriétés telles que la couleur, la taille et le style. Ce pourrait être une règle commune que l'on doit asseoir sur des chaises et non pas sur les tables. Les fenêtres peuvent être ouvertes pour rafraîchir l'air de la pièce. Tous les acteurs impliqués dans la phase de conception peuvent également s'entendre sur ce que devrait être la configuration de la salle, en définissant certaines relations entre les éléments de la pièce, par exemple, "la table se trouve en face de la fenêtre» et «le canapé est entre la table et la bibliothèque ».

### **3.4. La vue globale sur les approches**

Les techniques de modélisation sémantique sont enracinées dans les systèmes d'information, à savoir les bases de données, les systèmes d'information géographique, et le monde entier du web. La représentation des données est une question cruciale pour ces systèmes. Les approches traditionnelles se concentrent uniquement sur les techniques qui favorisent le stockage efficace et la récupération de données. En revanche, la modélisation sémantique vise à rendre les données significatives et par conséquent la machine transformable.

Le web sémantique est un bon exemple de ce que peut fournir la modélisation sémantique. En insérant des métadonnées lisibles à la machine, il permet à l'information dénuée de sens stockée sur les pages web pour être traitées par des algorithmes et recherchées en fonction de leur contenu.

Le développement actuel des actions EVs de nombreux problèmes avec les systèmes d'information sont mentionnés ci-dessus. Pour réduire l'écart entre la représentation de l'utilisateur et la mise en œuvre géométrique d'EV de bas niveau, il y a un fort besoin de représentations plus conceptuelles et abstraites d'EVs. La modélisation sémantique du EV poursuit le même objectif pour la réalité virtuelle (RV) contenue mais nécessite des langues spécifiques de modélisation des connaissances.

Comme remarqué par Ibáñez et Delgado-Mata, [44], chaque groupe de recherche a développé sa propre méthodologie et un cadre pour concevoir EV sémantiques, et il n'y a pas de norme pour la modélisation sémantique de l'EVs. Ces auteurs ont identifié trois approches principales pour la modélisation sémantique de l'EVs.

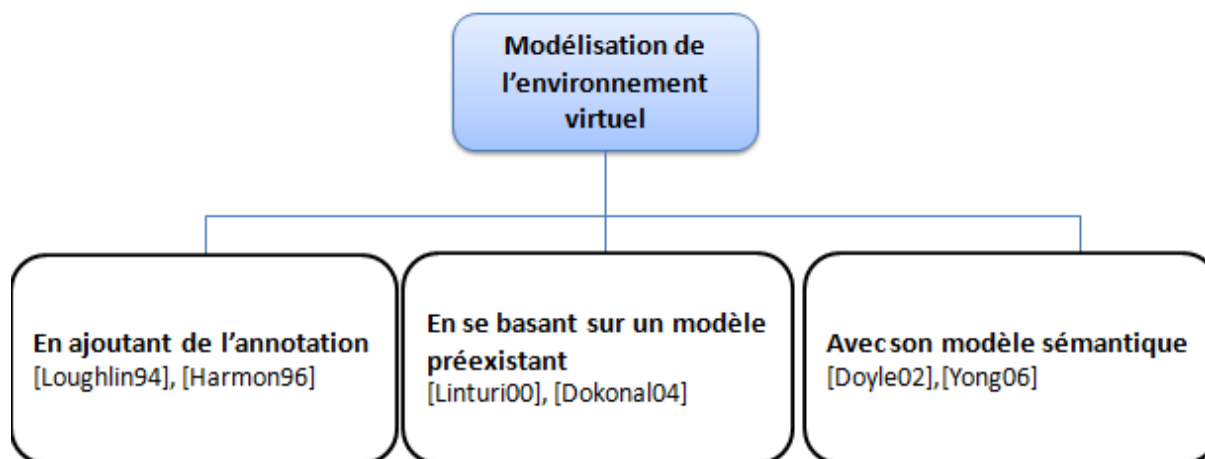


Figure 3. 1. Représentation de l'environnement virtuel sémantique

La conception de l'EV avec un modèle sémantique. Les métadonnées sont introduites dans le modèle en tant que objets créés. Cette technique a été utilisée soit pour des approches orientées de contenu ou de système.

La construction de l'EV est basée sur un niveau sémantique pré-existant. L'idée principale de cette technique est d'obtenir des avantages d'un modèle sémantique existant. Par exemple, on peut utiliser un système d'information géographique existant pour construire des environnements virtuels urbains.

L'ajout d'annotations sémantiques pré-existant à l'EV. Les annotations sémantiques peuvent être des ressources multimédias, tels que des textes, des images, des sons, et des liens Web. Dans ce cas, l'information ajoutée n'a de sens que pour l'utilisateur, mais elle n'est pas interprétée sémantiquement par le système.

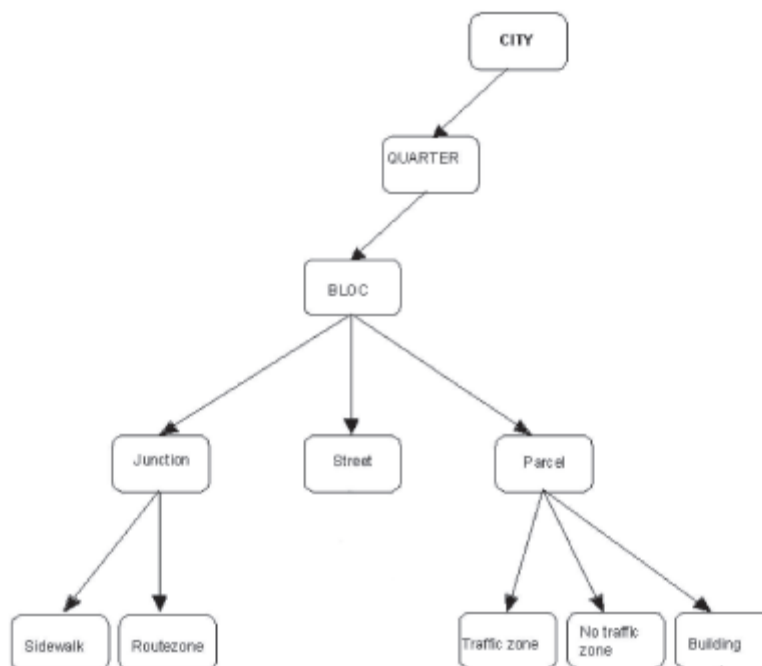
### 3.5. La modélisation sémantique dépendante du domaine

Les sémantiques des milieux urbains. Pour fournir les informations nécessaires pour la simulation du comportement des humains virtuels, notamment des tâches de navigation dans des environnements urbains, Thalmann et al. [45], ont proposé une solution basée sur le concept d'environnements virtuels éclairés.

VUEMS Badawi [46], a suivi une approche similaire. La connaissance de EV est décrite comme la décomposition hiérarchique de la scène urbaine en entités environnementales (par exemple, les rues, les trottoirs, ou les bâtiments), fournissant à la fois des informations géométriques et des concepts sémantiques. Pour chaque entité, la base de données contient des informations sur son nom, le type et l'emplacement de la scène. Chaque entité peut avoir quelques points d'entrée ou de sortie. Les entités peuvent avoir des liens avec d'autres entités, comme les entités ascendantes et descendantes. Par exemple, l'entité descendante d'une jonction peut être un bâtiment, une zone de circulation, ou une zone de non trafic.

Pour interagir avec les entités de l'environnement dans les EV informées, les entités de l'environnement sont construites sur les Smart Objects Kallmann et all, [47]. Un objet à puce est associé à des comportements prédéfinis possibles. Il est possible d'aider les utilisateurs à la façon d'interagir avec elle. Par exemple, un ascenseur dans un immeuble représenté comme un des objets intelligents est en mesure d'indiquer aux utilisateurs où pour activer le bouton pour descendre ou élever.

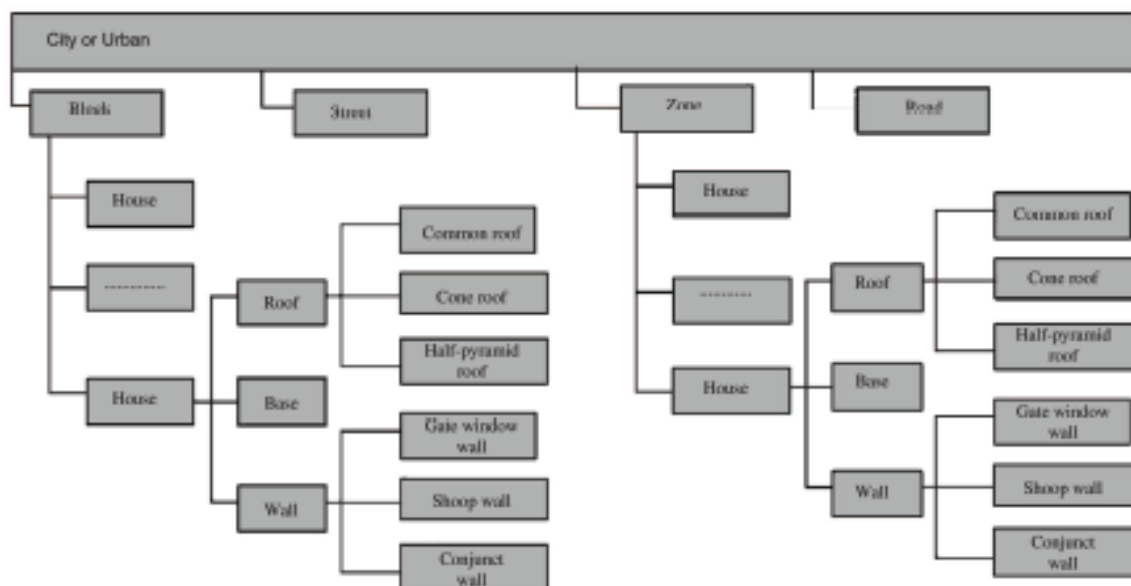
Les applications d'héritage culturel virtuelles partagent de nombreux points communs avec les environnements virtuels urbains. Outre la modélisation de l'architecture ancienne des graphismes 3D réalistes, l'information sémantique est nécessaire pour fournir des explications utiles lors de la visite de l'utilisateur ou de concevoir un guide virtuel comme un partenaire artificiel pour l'utilisateur.



**Figure 3. 2. Décomposition d'un milieu urbain** en entités environnementales fournissant à la fois l'information géométrique et sémantiques. Notions proposées dans (Thalmann et al. [45]).

Liu et al. [48] ont proposé une approche sémantique pour la conception de patrimoines numériques. La figure 3.1 montre le modèle hiérarchique des composants de la ville. Dans ce cas, la phase de modélisation sémantique précède le processus de modélisation graphique traditionnelle. Cela permet aux utilisateurs de transformer leurs plans de modélisation dans la description sémantique.

Au niveau de la mise en œuvre, des éléments sémantiques (par exemple, la ville, les rues, quartiers ou maisons) sont construits sur la base des unités de base graphiques. Les unités graphiques et les éléments sémantiques peuvent être combinés pour construire des éléments supérieurs de la sémantique de niveau. Par exemple, une règle de combinaison est une maison qui se compose de sa base, plusieurs portes, un toit, plus de quatre murs, et plusieurs fenêtres. En outre, la topologie de l'élément sémantique peut être utilisée pour définir un style architectural. Par exemple, une maison vernaculaire comprend une cour centrale, un mur de la boutique, un mur porte-fenêtre, deux murs conjoints, une petite maison au nord et une petite maison au sud. En utilisant la modélisation sémantique, il est alors possible de contrôler la génération de l'architecture antique avec des styles différents. En outre, des informations sur le style ou la topologie de l'architecture antique est explicite.



**Figure 3. 3.** Un modèle sémantique pour construire les patrimoines numériques proposé dans (Liu et al. [48]).

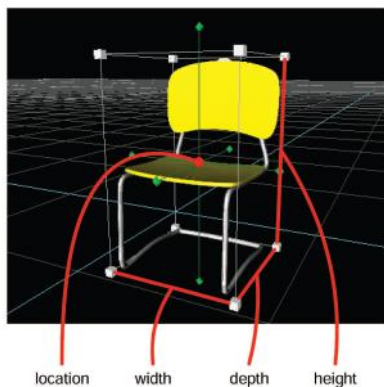
### 3.6. La modélisation sémantique orientée au contenu.

Bien motivées par les avantages d'une description sémantique des EV, il a été vu précédemment que les approches antérieures sont encore basées sur des techniques spécialisées pour des applications spécifiques. Par conséquent, les modèles sémantiques proposées sont différents des autres, et sont dépendants de l'application. Pour surmonter ce problème, les chercheurs se sont intéressés à la définition de modèles sémantiques plus génériques d'EV. D'abord, ils se concentrent sur l'identification de la sémantique de base et commun qui peuvent être partagées entre une variété d'EV. Deuxièmement, ils tentent de définir une représentation de haut niveau, abstraite et indépendante du domaine du contenu de la scène 3D.

#### 3.6.1. Environnements virtuels base de niveau sémantique commun

Ibáñez et Delgado-Mata [49] définissent un niveau de base et commun par la représentation sémantique du contenu des EVs. Leur modèle repose sur dix concepts: type d'objet, réseau de navigation, identificateur d'objet, emplacement, orientation, largeur, hauteur, profondeur, relations de confinement spatiales et chemins minimaux. Le principal avantage de ce modèle est que seuls les deux premiers éléments doivent être annotés manuellement. Les autres huit éléments peuvent être calculés.

Du point de vue des relations spatiales, les huit premiers éléments sont liés à un objet particulier, alors que les deux autres éléments sont liés aux relations spatiales entre objets. Le type d'objet se rapporte au type d'un objet selon une ontologie particulière. Chaque objet est associé à un point en trois dimensions accessible appelé nœud accessible. Un ensemble de nœuds accessibles se compose d'un réseau de navigation dans l'EV.



**Figure 3. 4. La sémantique de base et commun des environnements virtuels** proposé dans Ibáñez et Delgado-Mata, [49].

Dans la Figure 3.3, la description d'une chaise est enrichie par des informations sémantiques telles que l'emplacement, la largeur, la profondeur et la hauteur.

Chaque objet est identifié de manière unique par un identificateur d'objet. La largeur, la hauteur et la profondeur sont calculées sur la base du cadre de délimitation de l'objet. L'emplacement d'un objet est défini comme son centre de gravité (cf. Figure 3.3). L'orientation est extraite directement du modèle géométrique d'un EV. Chaque nœud représente un objet, et l'organisation de nœuds est hiérarchique. Ainsi, l'espace de confinement peut être facilement obtenue. Enfin, les chemins minimaux représentent un plus court chemin entre deux nœuds accessibles arbitraires.

### 3.6.2. Couplage des environnements virtuels et ontologie

Nous présentons ici trois types de modèles ontologiques qui fournissent les plus complexes descriptions abstraites qui ont été permise par l'approche présentée ci-dessus.

#### 3.6.2.1. Ontologie X3D

Kalogerakis et al. [50] ont proposé de coupler ontologies avec des contenus graphiques représentés par les formats standards VRML ou X3D. Les contenus graphiques sont mappés sur l'ontologie, appelée ontologie X3D et représentée par le Web Ontology



Language (Owl). Pour construire l'ontologie X3D, les nœuds de X3D représentant des concepts graphiques sont mappés en classes d'Owl (cf. Figure 3.4).

Chaque classe Hibou dans l'ontologie X3D est l'abstraction d'une ressource graphique. Il contient des informations relatives à la géométrie et l'apparence des objets, de la navigation de la scène, les lumières, les effets environnementaux, le son, les interpolateurs (pour l'animation linéaire), des capteurs, des événements, l'animation humanoïde et la géographie.

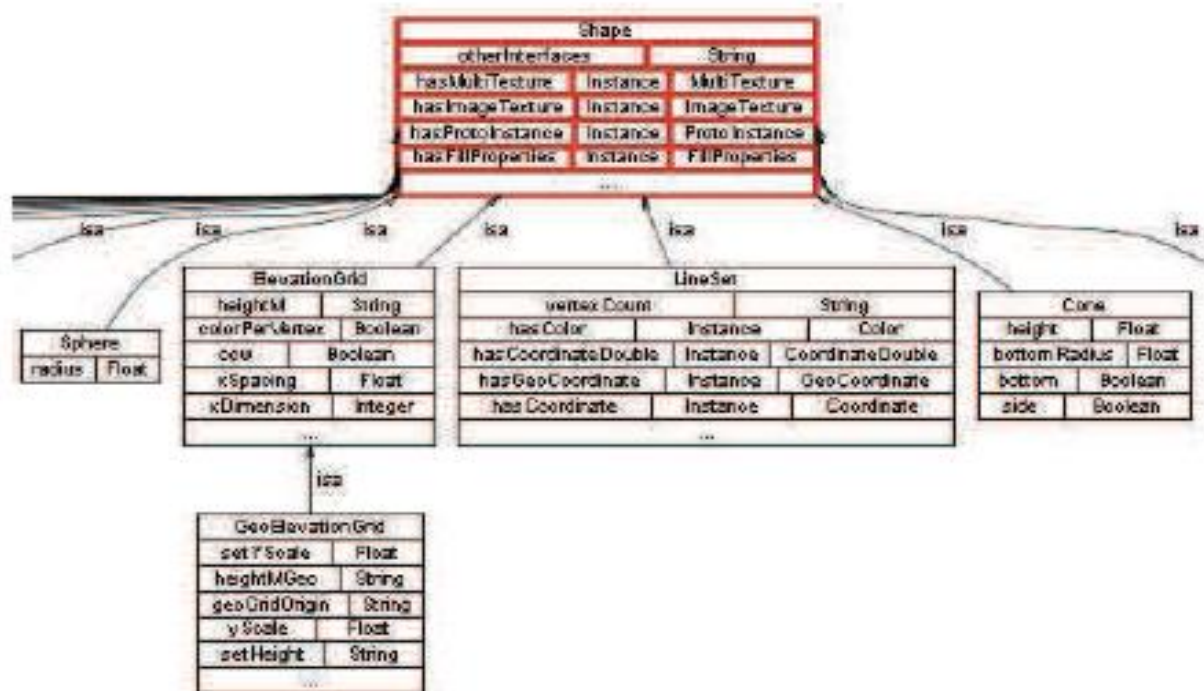


Figure 3. 5. Un modèle sémantique d'une scène 3D obtenu par couplage avec l'ontologie.

Le couplage de la scène avec une ontologie offre plusieurs avantages importants. D'une part, une description sémantique des relations entre les ressources graphiques est obtenue. Des exemples de relations sémantiques sont "isPartOf", "generalizationOf", "hasFunction", ou "hasBehaviour". D'autre part, l'ontologie permet aux agents d'effectuer le raisonnement automatisé sur le contenu graphique. Par exemple, *OntologyX3D* est combinée avec un moteur d'inférence à base de règles sur la base du *Semantic Web Rule Language (SWRL)*.

Par conséquent, il est possible de répondre à des requêtes sur le contenu. Par exemple, pour répondre à la requête "quelle est la fonctionnalité de ce composant?", le système permet

d'abord de correspondre entre l'objet cliqué dans la scène et la classe mappée dans l'ontologie X3D et cherche ensuite les relations "hachage de fonction" de cette classe.

### 3.6.2.2. La Plateforme Seven

Suivant le même principe de couplage contenu graphique avec ontologies, la plateforme Seven est proposée pour concevoir EV sémantiques, Otto [41][51]. Les auteurs ont remarqué que les EV existants ont parfois les mêmes fonctionnalités (par exemple, pour visiter les musées), mais ils ne sont pas interopérables. Par exemple, un agent de guidage d'un musée ne peut pas exploiter un autre environnement dans le même domaine. L'objectif principal est donc de développer un modèle sémantique d'EV qui contient des concepts communs et abstraits d'VE.

Alternative à l'ontologie X3D, la plate-forme Seven utilise le Resource Description Framework 5 (RDF) pour décrire les types, les propriétés et les relations d'éléments d'EV. En couplant la scène avec un graphe RDF, ce qui permet un accès uniforme à des entités d'environnements hétérogènes. En outre, comme les graphes RDF sont traitables, la machine et les agents peuvent travailler dans différents graphes RDF d'une manière transparente.

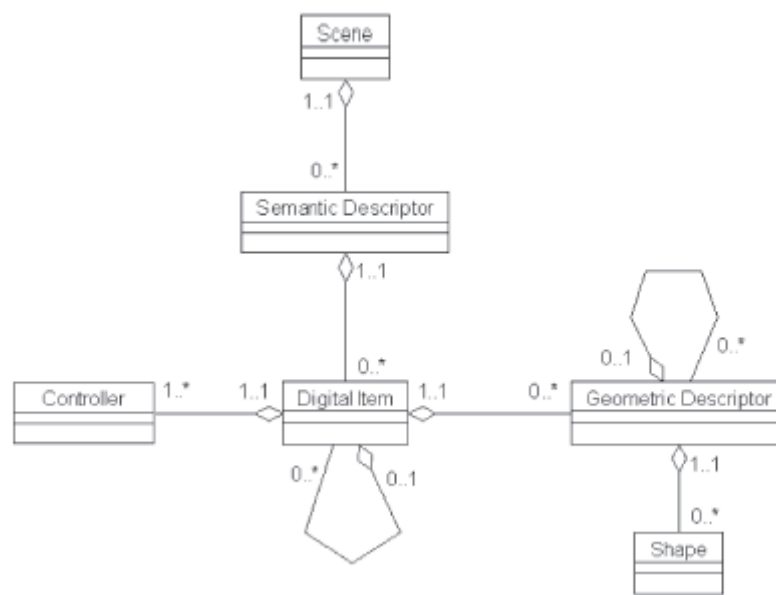
### 3.6.2.3. Ontologie à base XML

Un modèle sémantique générique basé sur XML pour représenter les EV est proposé dans Gutierrez et al. [52]. Le modèle sémantique est construit autour du concept de Digital Point qui correspond à chaque entité dans le EV; par exemple, des personnages virtuels ou des objets (cf. Figure 3.5). L'organisation de l'élément numérique est récursive, à savoir, un élément numérique peut contenir d'autres éléments numériques. Un élément numérique a différentes représentations géométriques définies dans le descripteur géométrique qui spécifie le type de forme associé à l'élément numérique. Un contrôleur se définit comment l'élément numérique se comporte, par exemple, par des animations autonomes basées sur l'entrée de l'utilisateur à partir d'un appareil.

Enfin, un élément numérique est décrit par le descripteur sémantique qui fournit des informations lisibles par l'homme et la machine sur un élément numérique particulier. Les descripteurs sémantiques sont extraits de la norme MPEG-7 sous la forme de descripteurs de Xml [53]. Le principal avantage de ce modèle sémantique est d'accroître l'évolutivité, la réutilisation et l'interopérabilité des EV. Le modèle sémantique de l'EV peut être utilisé à plusieurs fins, comme l'animation, l'interaction et la visualisation [52].

Sur le descripteur sémantique de l'élément numérique, il est possible de choisir la géométrie correcte et une interface pour présenter l'objet numérique et la fonction de l'appareil de sortie.

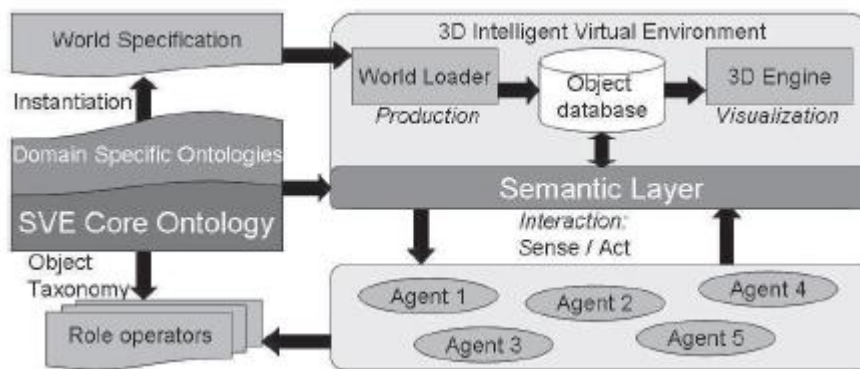
Par exemple, pour animer des personnages virtuels, les deux dans un appareil de poche et un grand écran avec des résolutions différentes, un élément numérique est associé à deux représentations graphiques avec différents niveaux de détail. Basé sur le descripteur sémantique de l'élément numérique, il est possible de choisir la géométrie correcte et une interface pour présenter l'objet numérique fonction de l'appareil de sortie.



**Figure 3. 6. Modèle sémantique des environnements virtuels basé sur XML**, proposé dans Gutierrez et al. [52].

#### 3.6.2.4. Les ontologies des domaines spécifiques

Les ontologies ont été utilisées dans les approches précédentes comme un formalisme pertinent pour fournir une représentation conceptuelle de contenu de scène. L'idée principale a été une correspondance directe entre le contenu et les ontologies graphiques. Les concepts dans l'ontologie doivent être la copie exacte des ressources graphiques spécifiques. Cela a conduit à plusieurs inconvénients. Tout d'abord, les ontologies ne peuvent pas représenter les entités sans représentation graphique dans les EVs. Deuxièmement, il est impossible de partager les propriétés communes parmi une famille de ressources graphiques. Par exemple, les objets mobiliers ont certaines propriétés en commun par rapport à des objets non mobiles.



**Figure 3. 7. Environnements virtuels sémantiques basés sur l'ontologie de base et de domaine ;**  
les ontologies spécifiques, proposées dans Grimaldo et al. [54].

Grimaldo et al [54] ont proposé une approche différente basée sur l'ontologie pour les EVs sémantiques. Le raffinement principal repose sur l'utilisation de deux types d'ontologies: L'ontologie de base et le domaine ontologies spécifiques (Figure 3.6).

L'Ontologie de base définit des concepts abstraits, ainsi que leurs propriétés et leurs relations entre eux. Les concepts abstraits sont génériques et indépendants pour les domaines d'application. Il y a une taxonomie de concepts abstraits basés sur des termes spécifiques dans le domaine d'EV. Par exemple, les concepts abstraits sont divisés en agents ou des objets. Les objets sont ensuite classés en mobile / non mobile objets, ou objets graphiques / non graphiques.

Chaque concept abstrait est associé à une liste de propriétés. Les propriétés d'un concept abstrait peuvent être quantitatives (par exemple, l'emplacement et la hauteur) ou qualitatives (par exemple, vide, pleine).

Les relations entre les concepts abstraits sont organisées dans un ordre hiérarchique. Autrement dit, une notion abstraite peut être le récipiendaire d'autres. En ce qui concerne les objets mobiliers, il y a trois relations supplémentaires possibles: "en", "ON" et "choisi par". Une ontologie Domaine Spécifique qui définit des concepts concrets d'un domaine particulier.

Les concepts spécifiques au domaine sont étendus à partir de concepts abstraits prédéfinis dans l'Ontologie de base. Un concept de domaine spécifique hérite des propriétés et des relations de son concept abstrait. Ainsi, une ontologie Domaine Spécifique représente des connaissances sur un domaine.

### 3.7. La modélisation sémantique orientée système

La section précédente a examiné les principales techniques utilisées pour la modélisation orientée contenu sémantique. Ces modèles sémantiques fournissent une description ontologique des entités de la scène: des identifiants, des types, des structures, des attributs d'entités, et les relations entre eux. Orientée vers le système, la modélisation sémantique adopte un point de vue différent.

Il est plus orienté vers la modélisation de la dynamique de la simulation. Les modèles sémantiques transmettent les informations nécessaires par les différents modules de l'application de RV (à savoir des moteurs différents, par exemple pour le rendu, la physique, ou l'interaction) pour soutenir l'exécution de la simulation. La modélisation sémantique orientée à système traite des concepts liés à la mise en œuvre et tire profit des mécanismes prévus par la programmation orientée objet comme l'introspection.

#### 3.7.1. Environnements virtuels riches en informations (Information-rich virtual environments)

Dans (Bowman et al. [55]), la sémantique est considérée comme information abstraite, à savoir, des informations qui ne sont pas directement perceptible par l'utilisateur. Par exemple, l'apparence ou la texture de la surface visuelle d'une table est directement perceptible, tandis que des informations utiles telles que la date et le lieu de fabrication de la table ne le sont pas. Par conséquent, les EV sémantiques devraient être complétées par des informations abstraites. Ces EV augmentés sont appelés information riche environnements virtuels (IRVEs).

Le concept d'objets sémantiques accessibles par les API est utile pour l'intégration des connaissances de domaine en objets sémantiques en utilisant nœuds du graphe de scène spéciale qui reste une tâche difficile. En outre, la recherche dans IRVEs est principalement axée sur les techniques pour la conception et l'affichage des informations [56]. Les questions sont liées pour afficher l'emplacement (par exemple, où pour peut-on afficher des informations abstraites dans un EV) ou le niveau de détail des informations abstraites a la manière de faciliter la conceptualisation de IVREs.

#### 3.7.2. Réflexion sémantique multicouches

Un autre axe de recherche de la modélisation sémantique orientée à system est basé sur le concept de la réflexion sémantique. Inspirée des paradigmes de programmation orientée objet, la réflexion implique les capacités d'accéder aux entités de l'application lors de l'exécution. Ainsi, la réflexion fournit des informations sur les services fournis par l'entité et de son état actuel (ie, les attributs et les relations avec d'autres entités). Les entités avec des capacités de réflexion sémantiques sont appelées entités sémantiques.

Tutenel et al. [57] ont présenté une bibliothèque des classes sémantiques pour concevoir EV sémantiques, notamment des jeux en 3D. Après la création d'un modèle 3D, le concepteur associe les éléments du modèle 3D à des classes existantes dans la bibliothèque. Sinon, le concepteur peut créer une nouvelle classe avec les propriétés souhaitées. Au-delà des représentations 3D des objets présents dans le monde du jeu, la Bibliothèque de classes sémantique fournit une sémantique supplémentaire pour les objets, tels que les attributs physiques (par exemple, la masse ou matérielles), l'information fonctionnelle (par exemple, comment on peut interagir avec un objet).

SCIVE (Simulation de base pour les environnements virtuels intelligents) est un cadre en utilisant la réflexion sémantique pour concevoir EV sémantiques [58].

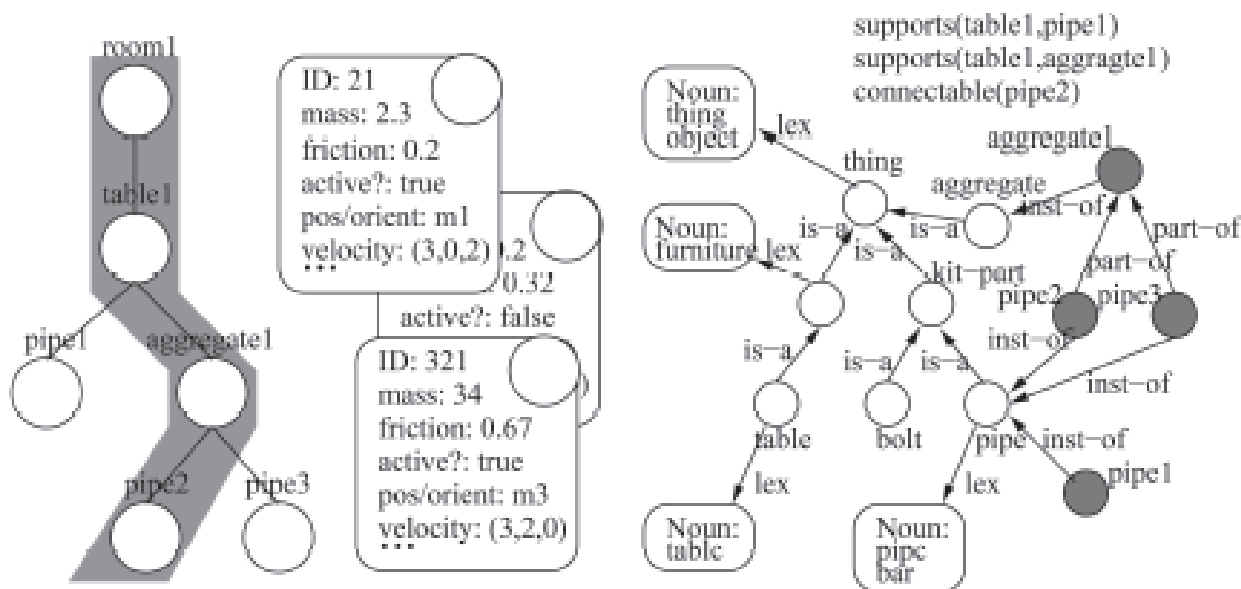


Figure 3. 8. L'architecture de SCIVE est basée sur le réseau sémantique [58].

L'architecture de SCIVE est basée sur le réseau sémantique - un réseau d'entités sémantiques fournissant une représentation commune pour les EVs. Un EV est une intégration de différentes représentations (ie, la base de données graphiques, base de données

physiques, et la base de connaissances). Scive fournit une couche de représentation commune d'entre eux (Figure 3.7). Cette couche de représentations commune basée sur FESN (Fonctionnellement extensible Semantic Network) [58],[60].

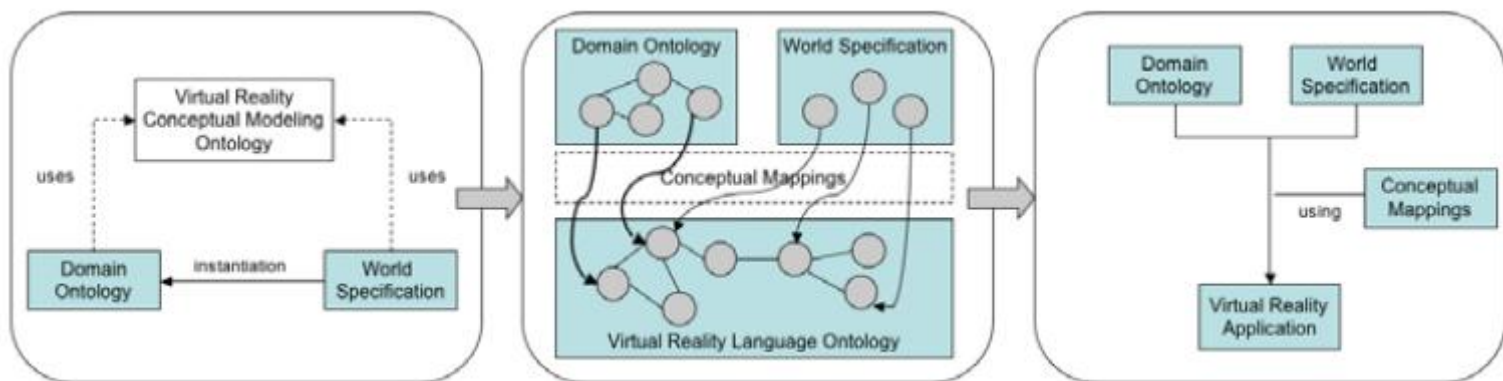
Dans FESN, des informations sur les entités assimilatives, attributs et relations sont décrits explicitement en utilisant une représentation basée sur XML. Au niveau de la mise en œuvre, les entités sémantiques sont programmées en C ++. Ils permettent à l'introspection de leurs attributs et leurs services. En conséquence, des informations sur les entités sémantiques sont programmés en C ++. Ils permettent à l'introspection de leurs attributs et leurs services. En conséquence, des informations sur les entités stockées dans le réseau sémantique peuvent être synchronisées au moment de l'exécution.

Une application de RV qui permet aux utilisateurs d'effectuer des tâches d'assemblage d'objets complexes en 3D est un bon exemple illustrant le concept de réflexion sémantique. Chaque objet virtuel a trois représentations séparées : une représentation graphique, une représentation physique (par exemple, la masse, la position, l'orientation), et une représentation des connaissances (par exemple, l'objet peut être assemblé à ce que les objets?). Le SCIVE ainsi que la bibliothèque de classes permettent une couche sémantique de connaissances unifiée de ces trois représentations.

### **3.8. La modélisation sémantique avec modélisation conceptuelle**

#### **3.8.1. Conceptualisation Scène et comportements statiques**

Vr-Wise (Réalité virtuelle Avec Spécifications intuitives activées) est une approche fondée sur l'ontologie pour la conception d'applications de réalités virtuelles sémantiques [66]. L'idée principale est d'introduire une phase conceptuelle dans le processus de conception d'EV. Ainsi, le processus de développement dans Vr-Wise se compose de trois étapes successives, à savoir l'étape de spécification, l'étape de mise en correspondance, et l'étape de génération (Figure 3.8).



**Figure 3.9. Vue d'ensemble du processus de conception selon l'approche Vr-Wise** (De gauche à droite): spécification, la cartographie, et l'étape de génération [61].

L'étape de spécification permet de spécifier l'EV à un niveau conceptuel, en utilisant la connaissance du domaine, et sans tenir compte de tous les détails de mise en œuvre. Le cahier des charges se fait à deux niveaux: le niveau du concept et le niveau de l'instance.

Au niveau du concept, les concepts de domaine sont mappés dans les concepts de l'ontologie, dits ontologie de domaine. Il est possible de décrire les propriétés ainsi que les relations entre les concepts. Les comportements de concepts tels que "déplacer", "tour" ou "roll" peuvent également être spécifiés. L'invocation des comportements des objets est basée sur les événements (événements de temps, les événements de l'utilisateur, ou des événements d'objets) [62]. Au niveau de l'instance, les instances représentent les objets qui peupleront l'EV, comme spécifié par l'ontologie de domaine. Dans la seconde étape, la mise en correspondance par rapport au niveau conceptuel pour les primitives géométriques est spécifiée. Le but de cette cartographie est de spécifier comment les concepts du domaine devraient être représentés dans le monde virtuel. De même à l'étape de spécification, l'application est définie à deux niveaux. La cartographie de domaine relie les concepts de l'ontologie à la mise en œuvre des primitives de RV. Par exemple, un bac est représenté par un cylindre. Bien que plusieurs cas puissent être instanciés à partir du même concept, dans certains cas, ils peuvent exiger différentes représentations.

Par conséquent, la cartographie mondiale permet de définir les correspondances pour les instances à des primitives de mise en œuvre RV. De cette façon, le mappage par défaut, spécifié dans la cartographie de domaine, peut être écrasé. Enfin, l'étape de génération va produire le code source de l'EV défini dans l'étape de spécification, en utilisant les correspondances définies dans la deuxième étape. Il y a deux fichiers source générés. Le



premier fichier contient la structure 3D de la scène avec ses objets au format VRML. Le deuxième fichier contient l'information sémantique générée dans le format MPEG-7.

### 3.8.2. Conceptualisation d'interactions

NiMMiT (Notation pour les techniques de l'interaction multimodale) est une approche alternative pour la conception EV sémantiques en mettant l'accent sur les interactions de la sémantique [63]. L'approche considère deux étapes principales : la conceptualisation de la scène statique et la conceptualisation des interactions. A la phase conceptuelle, l'approche en NiMMiT est partiellement similaire à la Vr-Wise et l'approche de Grimaldo et al.[59]. NiMMiT utilise une ontologie pour cartographier les concepts de domaine à ceux de l'ontologie. L'ontologie permet de spécifier les propriétés des objets liés aux interactions, comme sélectionnables / objets non sélectionnables ou des objets mobiles / non-mobiles. Par la suite, la conceptualisation des interactions dans NiMMiT se fait en utilisant une notation basée schéma-destiné à décrire les interactions multimodales entre l'utilisateur et l'ordinateur [64].

Une interaction primitive est décrite comme une tâche, comme "sélectionner un objet" ou "déplacer un objet". Un ensemble d'interactions est représenté par une chaîne d'entrées. L'interaction commence dans l'état début et se termine avec l'état final. Un événement est basé sur l'entrée de l'utilisateur qui peut être multimodal comme ; énoncés de parole, des gestes, des événements de périphériques de pointage, ou des clics de bouton. Une étiquette est utilisée pour stocker des valeurs échangées au cours de l'interaction.

Enfin, lorsque la chaîne de la tâche a été complètement exécutée, une transition d'état se déplace de l'état-diagramme en l'état suivant. L'avantage principal est que le modèle sémantique produit dans la phase de modélisation conceptuelle peut être utilisé pour enrichir la phase de modélisation de l'interaction. Par exemple, au cours d'une tâche de sélection, certains objets ne devraient être sélectionnables mais d'autres non plus. De même, la tâche mouvement est uniquement appliquée à plusieurs objets (par exemple, des tables et des chaises d'une pièce), mais pas tous d'entre eux (par exemple, les murs et les fenêtres de la salle).

**3.9. Conclusion**

L'utilisation de l'information sémantique des EVs permet de définir une base de connaissances complexe sur l'environnement telles que les comportements, les aspects dynamiques, etc. Nous trouvons dans la littérature, différents travaux qui abordent des solutions pour la création d'approches générales permettant de modéliser ce type d'information sémantique.

Cependant, nous sommes loin d'une solution complète pour modéliser des environnements virtuels. La plupart des solutions proposées utilisent des ontologies pour modéliser l'information sémantique parce qu'elles permettent de modéliser des relations très complexes qui ne peuvent être représentées avec d'autres types de représentation (comme les taxonomies ou les thésaurus). Dans la partie qui suit, nous entamons le développement de notre contribution.

**Chapitre 4 : l'approche Sémantique d'Humain Virtuel dans  
L'Environnement Virtuel**

### **4.1. Introduction**

Cette partie est consacrée à la définition et à la formalisation de notre modèle sémantique de l'environnement virtuel qui consiste à faire deux couches sémantiques au niveau de l'environnement et au niveau de chaque humain virtuel. Nous allons détailler notre contribution en abordant les fondements théoriques utilisés dans la mise en pratique des différents cas d'études. Nous allons commencer par exposer les modules de notre approche. Nous présentons dans cette partie aussi un modèle de représentation de la sémantique de l'humain virtuel qui permet aux piétons une navigation dans un environnement urbain. C'est une navigation qui consiste en des mécanismes d'aide à la décision de produire des comportements crédibles. Par ailleurs, en réponse à des contraintes inhérentes à la simulation urbaine, notre approche est capable de traiter un grand nombre d'humains virtuels, en temps réel.

### **4.2. L'approche Sémantique d'Humain Virtuel dans l'Environnement Virtuel**

Dans notre approche, nous essayons d'appliquer l'influence de l'intégration de la couche sémantique dans les mondes virtuels. Cette couche sémantique est répartie selon deux niveaux. Le premier niveau est global; dans ce niveau, nous pouvons définir des informations sémantiques de manière plus globale. Le deuxième niveau concerne les objets virtuels; dans ce niveau, les objets doivent transcender les concepts de la géométrie et de l'information plus abstraite et doivent être incorporés dans la description de l'objet. Beaucoup de propriétés des objets du monde réel devraient être représentées dans leurs homologues virtuels pour permettre un algorithme d'effectuer une sorte de raisonnement sur des objets (par exemple, les attributs physiques définissent si oui ou non l'objet est trop lourd à porter, ou l'information fonctionnelle est nécessaire pour décider si un agent AI peut utiliser l'objet pour atteindre un but).

Dans notre proposition d'information sémantique nous utilisons l'ontologie pour décrire les concepts utilisés dans le domaine, ainsi que leurs propriétés et les relations entre eux, dans chacun des deux niveaux.

Notre contribution est d'ajouter des informations sémantiques (attributs contextuels et relations entre les concepts) à des objets virtuels et dans le but d'utiliser ces informations pour définir et redéfinir l'interaction avec l'environnement. Comme indiqué précédemment dans le présent document, le cadre proposé est basé sur l'intégration de l'information sémantique dans un environnement virtuel, et nous montrons cette intégration dans la couche différente. En

outre, pour chaque objet dans l'environnement composé de deux aspects la géométrie est sémantique, la sémantique de l'image est basée sur des informations contextuelles seulement, mais en utilisant la relation entre les différents concepts. Ces concepts sont la sémantique qui présente l'information des différents objets dans un environnement virtuel.

Dans cette partie, nous présentons une approche de l'environnement virtuel sémantique qui utilise les ontologies comme une base appropriée pour animer des environnements virtuels habités par des humains virtuels intelligents. La figure 4.1 montre l'architecture de notre cadre multi-agent qui peut être divisé en plusieurs parties:

Les ontologies définissent la base de connaissances du monde ainsi que l'ensemble de toutes les relations possibles entre les agents et les humains virtuels. On distingue deux niveaux de représentations : le SVE de base Ontologie est une ontologie de base unique, adaptée à tous les environnements virtuels qui peuvent être étendus par différentes ontologies spécifiques de domaine afin de modéliser les connaissances spécifiques à l'application. Ensuite, les milieux peuvent être construits en instanciant des classes de ces ontologies. Par exemple, dans la section Mise en œuvre, nous allons créer des piétons dans une ville virtuelle avec un grand nombre d'objets - voitures, carrefour, etc.

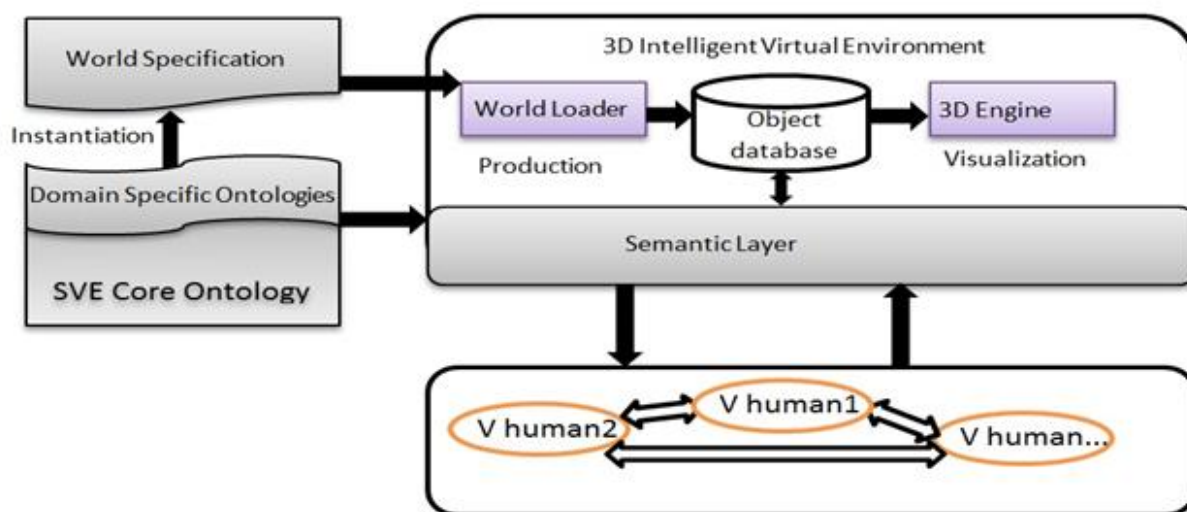


Figure 4. 1. L'architecture du notre approche.

La couche sémantique est l'interface entre l'humain virtuel et le monde. Il utilise l'ontologie de façon à réduire le flux d'informations. Cette couche est chargée d'exécuter les actions demandées par les agents ainsi que le maintien de leurs effets sémantiques.

Dans la structure de l'humain virtuel, nous trouvons la combinaison entre les trois aspects: l'humain virtuel intelligent (VHI), l'interrogation et les lignes directrices. Le VHI assure l'interaction intelligente avec le monde et les autres VHI, l'interrogation assure la communication (demandes et réponses) avec le monde et, enfin, les lignes directrices assurent la planification des tâches différentes.[65]

### **4.3. L'ontologie d'un environnement virtuel**

L'objectif de la conception de l'ontologie de l'environnement virtuel dans cette architecture est des deux parties. Tout d'abord, nous tenons à garder l'information qui existe dans l'environnement virtuel telle que la géométrie et la transformation de l'objet. En second lieu, on utilise des informations sémantiques concernant les objets virtuels qui peuvent faciliter le calcul des procédures de raisonnement avancées telles que la navigation dans le monde.

Notre conception de l'ontologie de l'environnement virtuel est représentée dans la figure 4.2. La racine de l'ontologie est le nœud de l'environnement, qui contient des informations, un monde (environnement) et tous les objets virtuels (objet) dans l'environnement. Chaque objet possède aussi quelques attributs supplémentaires tels que le nom, le poids, la hauteur et l'étiquette. Tous ces attributs sont conçus pour les propriétés publiques des objets virtuels. Par exemple, dans l'environnement urbain, on peut marquer certains objets comme zone de piétons et zone de voitures de telle sorte que ces régions peuvent être traitées de manière appropriée par l'environnement urbain en fonction de leur signification dans le monde. Chaque objet environnement (feux de circulation, voitures et Colonne ...) peut aussi avoir l'attribut d'Approximation 3D, ce qui est un polygone qui peut être utilisé pour définir approximation 3D des obstacles dans l'environnement pour la navigation.

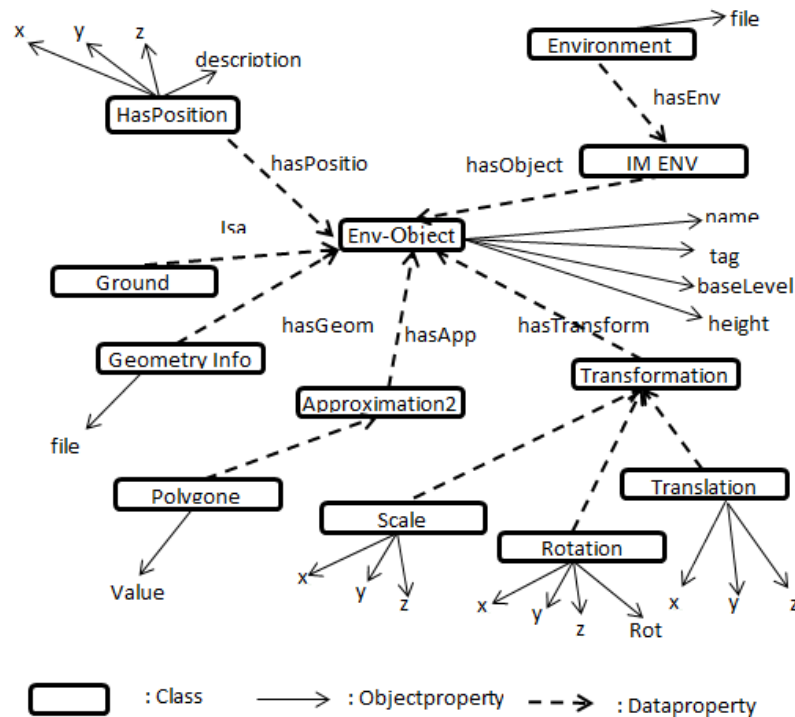
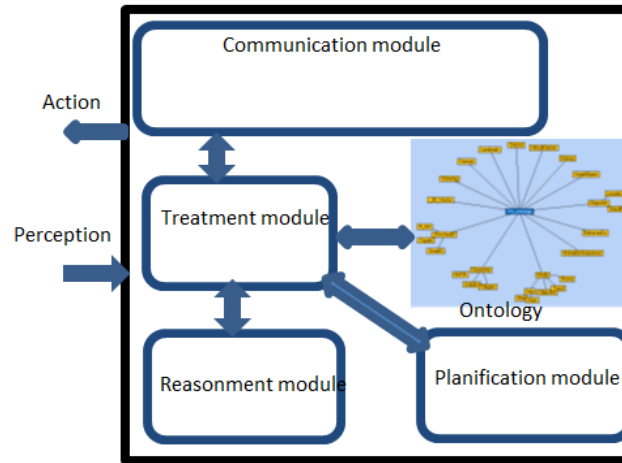


Figure 4. 2. Architecture d'un humain virtuel.

L'humain virtuel repose sur trois aspects; l'humain intelligent virtuel (VHI), l'interrogation et les lignes directrices. Le VHI donne l'interaction intelligente avec le monde et d'autres VHI, l'interrogation donne la demande et la réception des réponses avec le monde, les lignes directrices donnent la pacification des tâches différentes.

Le module donne l'interrogation d'aspect. C'est un module de communication et dans ce module, nous montrons deux types de communications : les premiers protocoles avec d'autres humains virtuels par un message, par exemple, exigent le service ou l'information, le second protocole avec l'environnement par les requêtes. La réponse à ces requêtes est divisée en deux cas selon la réponse naturelle; si la réponse est l'information statique comme la position ou la direction par exemple, dans ce cas, la réponse est un traitement simple; nous prenons la requête et la recherche dans l'ontologie de l'information de données sans traitement. En second cas, nous utilisons différents modules comme modules de raisonnement et de l'ontologie.[66]



**Figure 4. 3.** Modèle de l'humain virtuel.

### 4.3.1. Module du raisonnement

La combinaison des modes de raisonnement (mode de raisonnement sur les règles SWRL avec le raisonnement sur les logiques de description) permet d'augmenter les performances de notre système, en donnant une représentation plus riche des connaissances contenues dans l'ontologie.

Le raisonnement concerne la manipulation des connaissances déjà acquises pour produire de nouvelles connaissances. La base de faits constitue la première mémoire de travail. Les faits sont les informations décrivant les données du monde réel; Il utilise des mécanismes d'inférence qui permettent la résolution des problèmes pour lesquels il n'existe pas de procédures explicites dans le programme.

### 4.3.3 L'ontologie

Dans notre architecture, un HV a une ontologie. Dans cette ontologie, nous décrivons les classes de base de l'ontologie et les attributs (comme le montre la figure 4.3) que nous avons conçus pour les applications de navigations VH. Bien qu'un VH soit également un objet dans un environnement virtuel, il a un rôle plus actif et compliqué à jouer. Par exemple, l'utilisateur, dans une anthropométrie Description de jeu attribue la hauteur, poids, âge, sexe, vitesse et Acuité. L'HV peut contenir certains attributs de base tels que le nom transformé et le statut. Nous prenons également la **fatigue** et le **stress** pour présenter l'influence de ces propriétés de la vitesse et de l'acuité de HV.



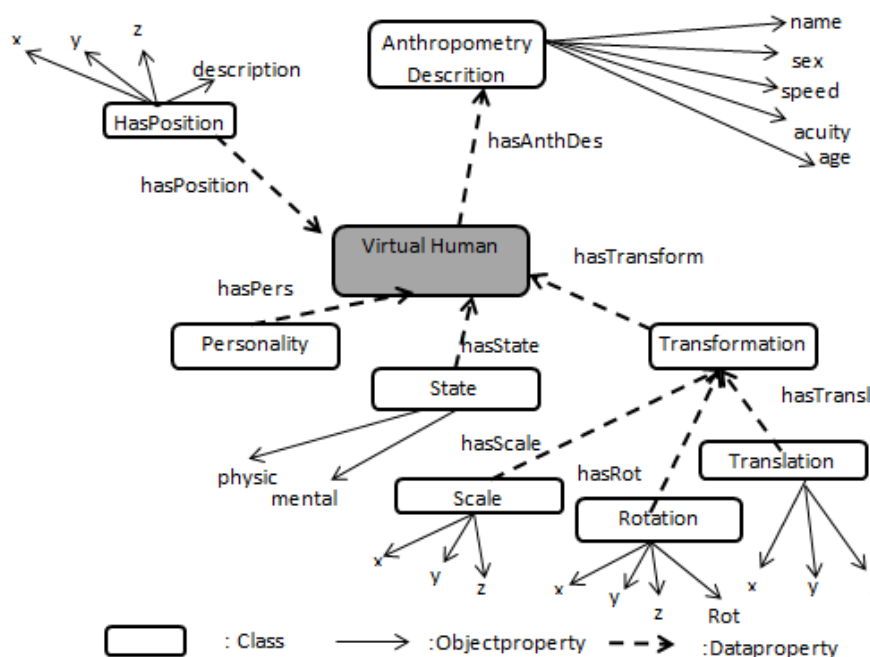


Figure 4. 4. Conception d'ontologies pour HV.[67]

#### 4.4. La planification de chemin

Ce type de problème présente la particularité d'être défini dans le domaine continu qui est l'espace. Cela se répercute sur la définition des états qui se doivent donc d'être caractérisés spatialement, mais également sur la spécialisation des algorithmes exploitant ces états.

##### 4.4.1. Paramétrisation de l'environnement

Même si l'espace est continu, il va être nécessaire d'en donner une paramétrisation discrète afin d'y appliquer un algorithme de planification qui lui est discret. Deux approches sont possibles :

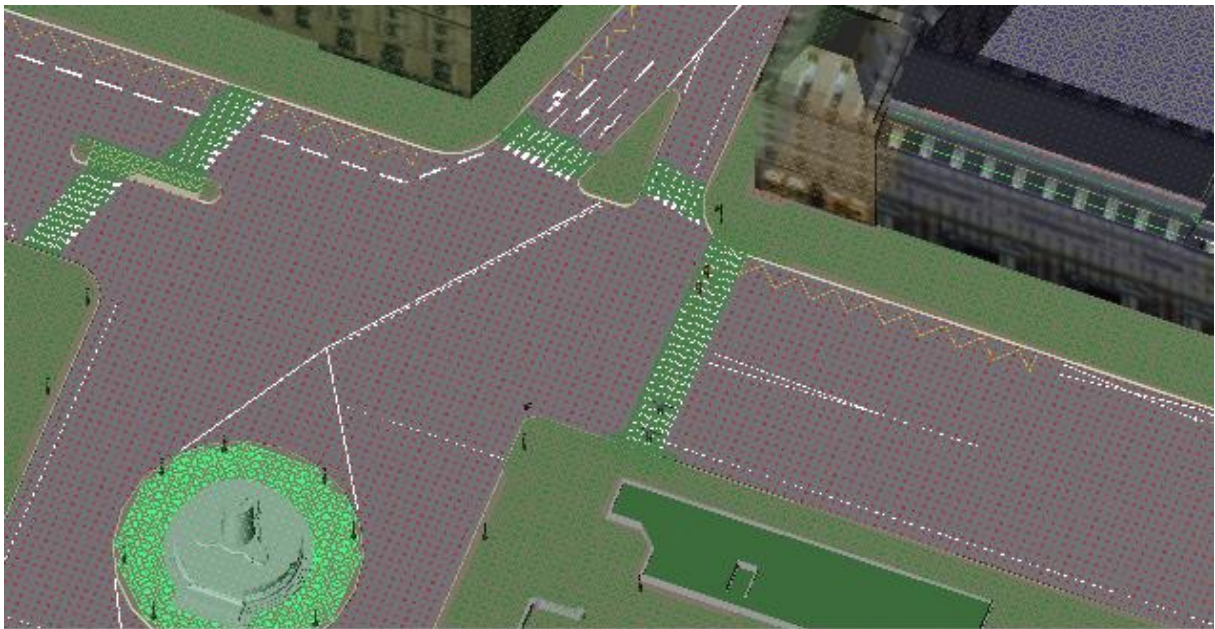
- partitionnement de l'espace en cellules, par exemple sous forme d'une grille régulière.
- partitionnement sous forme de graphe où les nœuds représentent des positions stratégiques, et les arcs les lignes droites praticables entre ces positions.

### **Probabilistic Road Map (PRM)**

Cette méthode consiste à échantillonner l'environnement de manière statistique et/ou stochastique afin de créer un ensemble de points pouvant être reliés par des segments qui n'intersectent aucun obstacle.

De nombreux travaux ont été réalisés dans ce domaine afin d'optimiser les routes générées par cette technique car elle ne garantit pas :

- la couverture de l'ensemble des routes de l'environnement : certains passages peuvent ne pas être échantillonnés,
- la couverture minimale des routes possibles : certains échantillons peuvent être redondants.



**Figure 4.5** Exemple de Probabilistic Road Map

Pour l'extraction de Road Map via un diagramme de Voronoï généralisé, on remplace les sommets d'un diagramme de Voronoï par les obstacles de l'environnement (non ponctuels) et on calcule le diagramme de Voronoï généralisé. La partition duale (équivalent du Delaunay d'un diagramme de Voronoï classique) est alors le roadmap.

#### **.4.4.2. Algorithmes de planification de chemin**

Dans l'environnement discrétisé, on peut alors définir un état de planification comme étant caractérisé par un nœud du graphe ou une cellule de l'environnement. L'utilisation d'algorithmes de planification devient alors possible. Ces algorithmes font partie des algorithmes d'optimisation. Afin d'éviter toutes explications liées au problème de cycle dans un graphe, et par la suite garantir la convergence des algorithmes suivants, nous ne nous

intéresserons ici qu'aux algorithmes à stratégie du "meilleur en premier". Dans ces derniers, on ne garde que la meilleure évaluation de coût pour chacun des états de l'environnement. Ils présentent alors la particularité d'avoir une occupation mémoire maximale limitée et toujours converger vers une solution.

Ils seront illustrés à travers un partitionnement de l'environnement par grille régulière pour en simplifier l'explication.

### **Algorithme A\***

C'est l'algorithme d'optimisation du domaine de l'Intelligence Artificielle le plus utilisé. Il utilise une évaluation heuristique afin de guider l'exploration des états de résolution et ainsi converger plus rapidement vers une solution que Dijkstra mais sans garantir son optimalité. L'heuristique représente une estimation du coût minimum jusqu'à l'état but, elle est donc très dépendante du problème traité. Pour le problème du plus court chemin, les états étant localisés spatialement, une évaluation heuristique valide est la distance en ligne droite entre l'état courant et l'état but :  $h(e) = \text{distance}(e, \text{but})$ .

La stratégie d'exploration est alors la même que celle utilisée par Dijkstra, à la différence que l'évaluation du meilleur candidat à développer ne se réalise plus sur la valeur d'accumulation des coûts  $g$  mais sur la somme  $f = g + h$ . La convergence vers une solution optimale n'est alors plus garantie mais la plupart des applications du A\* se satisfont d'une solution suboptimale.

Cependant, le principal problème lié à l'évaluation heuristique est que sa détermination peut se révéler très complexe voire impossible.

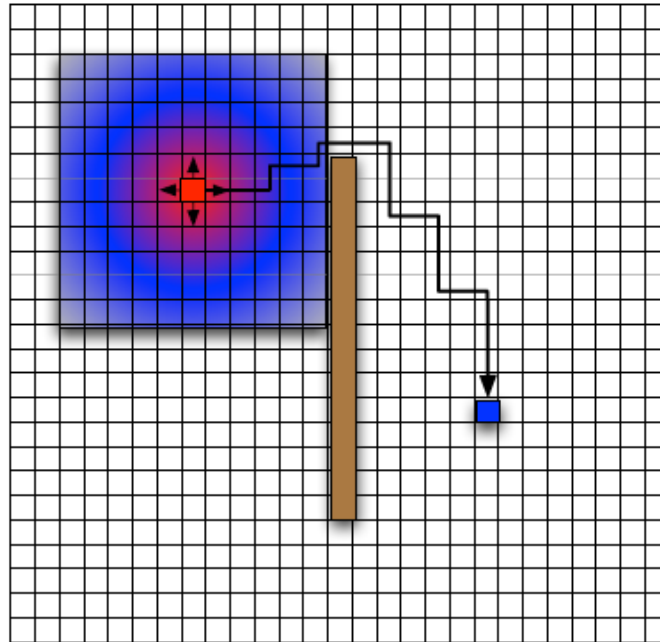
### **Exemple :**

Dans le problème du plus court chemin, si l'état but est caractérisé partiellement, il est préalablement nécessaire de déterminer sa localisation spatiale afin de rendre calculable l'heuristique. Et pire, si plusieurs états correspondent à cette caractérisation, l'heuristique devient alors :  $h(e) = \min(\text{distance}(e, \text{but})) \forall \text{but} \in \text{Buts}$ .

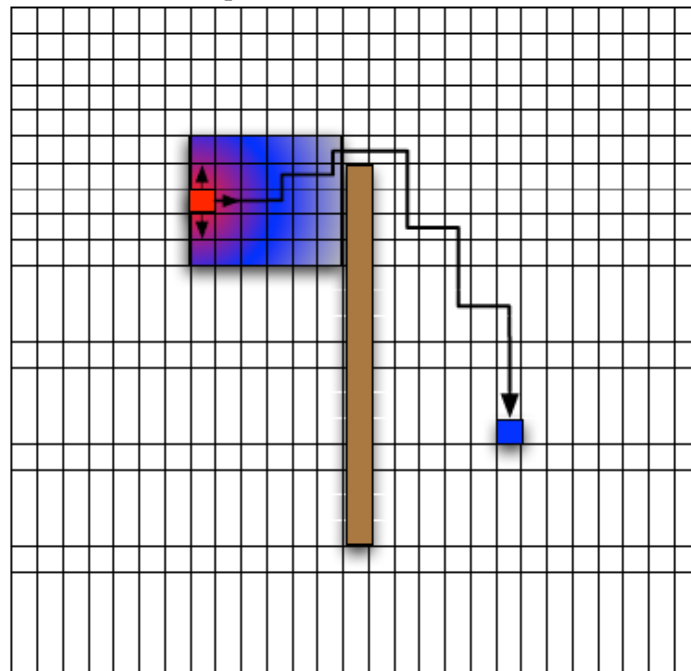
Ceci accroît considérablement la complexité calculatoire de la planification.

Cet algorithme constitue la base des algorithmes modernes d'exploration de graphe et il est de complexité  $O(n \log n)$ .

L'utilisation d'une heuristique concerne simplement l'utilisation d'un champ supplémentaire  $f$  qui sera utilisé comme clé d'ordonnancement de la liste ordonnée.



**Figure 4.6 Méthode Dijkstra pour la navigation.** La propagation illustrée représente le milieu de la procédure algorithmique. Le chemin indique quelles cases successives emprunter pour atteindre la destination en parcourant un minimum de distance.



**Figure 4.7 Méthode A\* pour la navigation.** La propagation est orientée selon la navigation directe par rapport à figure 4.6

### **4.5. La sémantique d'humain virtuel**

Certaines recherches ont été effectuées sur les questions de crédibilité des groupes de personnages synthétiques, généralement centrées sur les interactions soit entre un utilisateur humain et un personnage virtuel [68] ou entre personnages virtuels.[69] La création d'humains virtuels est une tâche complexe, qui implique plusieurs domaines Informatique: Modélisation géométrique, Infographie, Intelligence artificielle et interfaces multimodales [70]. Dans ses œuvres, Gutierrez [52] a proposé une approche fondée sur la sémantique en vue d'organiser les différents types de données qui constituent un humain virtuel.

La sémantique pour des humains virtuels vise à organiser les connaissances et les données des trois principaux thèmes et des applications impliquant des représentations graphiques de l'homme: modélisation humaine du corps et de l'analyse: l'analyse morphologique, la similitude de mesure, l'édition de modèle et de la reconstruction.

Le comportement humain virtuel: Les contrôleurs de comportement sont des algorithmes qui animent le comportement du personnage compte tenu de l'état émotionnel et son individualité interaction des humains virtuels avec des objets virtuels: objets virtuels \ intelligents »qui contiennent l'information sémantique indiquant comment les interactions entre les humains et les objets virtuels sont à effectuer.

Cette partie présente la sémantique définie pour ces aspects des humains virtuels. La section suivante traite de la description du processus de création de modèles 3D et des séquences d'animation capture de mouvement (Motion Capture).

### **4.6. L'ontologie d'humain virtuel**

L'ontologie humaine virtuelle (HVO) est une ontologie de domaine spécialisée qui est la description des humains virtuels pour soutenir leur processus de création et la population des environnements virtuels.

#### **4.6.1. Les information Générales**

La description des humains virtuels comprend des concepts généraux qui partagent des informations à propos de leurs créateurs et versions. La figure 4.4 présente les principaux concepts de la HVO, il y a:

- humain Virtual
- virtuel séquence d'animation humaine,
- contrôleurs humain virtuel,
- des objets virtuels (Smart Object et vêtements).

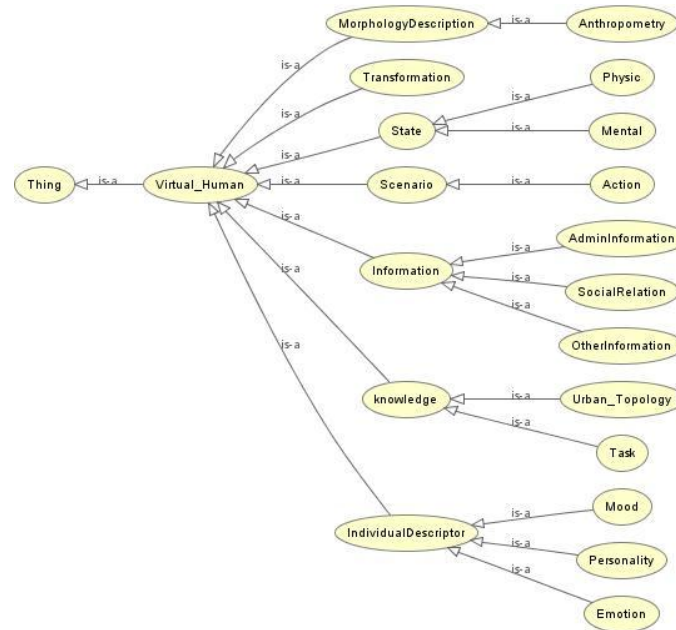
L'humain virtuel est le concept principal de cette ontologie et il représente un corps entier ou représentation partielle d'un humain virtuel.

Un humain virtuel peut représenter une personne réelle à travers un avatar ou un monde virtuel avec un comportement autonome. Les humains virtuels sont caractérisés par un ensemble d'attributs généraux (sexe, âge, taille, poids), une géométrie et des descripteurs structurels. Un humain virtuel peut effectuer des séquences d'animation ; il peut porter un vêtement virtuel, peut utiliser des objets intelligents et peut être contrôlé par les contrôleurs humain virtuel.

Les paragraphes suivants décrivent en détail les propriétés de données et propriétés de relations de chacun des concepts qui décrivent l'humain virtuel.

### **4.6.2. La géométrie et la structure**

Lors de l'acquisition d'une forme de l'analyse, les résultats sont un seul instantané statique de la forme du corps. Pour de nombreuses applications de la gamme, cet instantané statique ne suffit pas, car il ne tient pas compte de tous les degrés possibles de la flexibilité de la forme humaine. Pour imiter le comportement flexible et dynamique de la forme humaine, l'approche traditionnelle axée utilise déformations squelettiques.



**Figure 4. 8.** Les concepts liés à la description de l’humain virtuel.

Cette méthode classique de déformation de la peau est la technique la plus largement utilisée dans l'animation de personnages 3D. L'animation du corps lie une forme 3D à un squelette articulé de contrôle. Reliure information est ensuite utilisée pour déformer la forme du corps en fonction de contrôler le mouvement squelette. Par conséquent, un humain virtuel est décrit par une géométrie qui peut avoir une structure interne et un type de formation de peau. La structure représente un squelette qui peut être défini comme un centre de la ligne graphique. La figure 4.6 présente le schéma de l'ontologie où l'humain virtuel est décrit par la propriété à géométrie liée à la classe de géométrie, qui a la propriété d'une structure qui décrit le squelette.

La description de la structure humaine virtuelle commence par la définition de son nœud (racine en utilisant la propriété le nœud racine). Un nœud est une classe abstraite qui décrit une famille de nœuds du graphe comme pouvant constituer des structures diverses. Un nœud est défini par ses nœuds enfants avec la propriété des enfants qui pointe vers lui-même. Cette propriété est transitive, qui permet de déduire tous les nœuds enfants qui sont dans la structure d'un nœud. Le squelette d'humain virtuel est à proximité lié à la standard H-Anim [67]. Cette spécification considère que le corps humain est confirmée par un certain nombre de segments (tels que l'avant-bras, de la main et du pied), qui sont reliés les uns aux autres par des joints (tels que le coude, le poignet et la cheville). Un H-Anim devrait contenir un

ensemble de nœuds conjointes qui sont disposées dans une forme hiérarchique. Chaque nœud mixte peut contenir d'autres nœuds conjoints, et peut également contenir un nœud de segment qui décrit la partie du corps associée à cette articulation. Chaque segment peut aussi avoir un certain nombre de nœuds Monuments qui définissent les emplacements relatifs à géométrie 3D.

Cette norme apporte son soutien à la création d'humanoïdes interchangeable, des comportements et des animations. Le schéma d'ontologie présentée dans la figure 4.8 indique qu'un nœud peut être de types différents. Les types de nœuds considérés sont: Segment (segmentation d'une forme géométrique), Haut-lieu touristique (points phares) et mixte (articulations). Cette structure squelettique décrit indirectement les parties du corps humain. La propriété appartient à la partie liée à la classe Modèle partie qui représente cette association. Même cette représentation de la structure humain virtuel est proche de la H-Anim, il est également suffisamment souple pour toutes les autres structures qui ont le principe de la ligne graphique de centre.

Pour faire des inférences des humains virtuels qui ont des caractéristiques intégrées, un ensemble de sous-classes a été défini. Ce sont des sous-classes de la classe humaine virtuelle. Elles sont présentées dans la figure 4.7. Ces classes ne sont pas destinées à être utilisées directement pour la création d'instances. À la place, elles sont utilisées pour déduire quelles instances humaines virtuelles accomplissant les conditions données (en cochant les restrictions nécessaires et suffisantes à la description de classe)



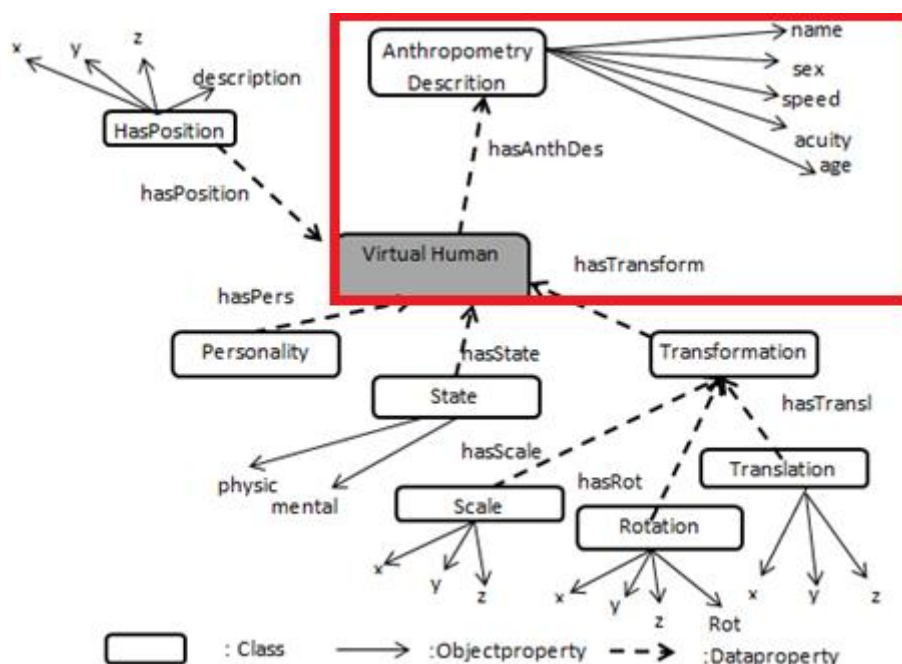


Figure 4. 9. Description des caractéristiques morphologiques.

Cette condition signifie que les instances virtuelles des humains qui seront classés dans l'humain virtuel avec classe Monuments devraient avoir au moins une instance sous le virtuel classe Structure humain, et cette instance a la propriété du nœud racine liés avec un nœud de l'instance, qui a la propriété du fils liées avec une autre instance de type Landmark.

Ce paragraphe a traité la description géométrique et structurelle des humains virtuels. Cependant, les humains virtuels ont d'autres descriptions plus abstraites qui sont utilisées pour fournir le mouvement / le comportement correspondant selon leur apparence.

#### 4.6.3. La Morphologie et individualité

Il y a quelques caractéristiques morphologiques de base tels que: le sexe, la taille, le poids et l'âge, qui influent sur les mouvements et les comportements de chaque personne. Certaines de ces caractéristiques sont inhérentes à la forme du caractère et d'autres à des traits individuels. Les connaissances sur la forme de la morphologie et de l'individualité de corps sont importants pour reconstruire une forme d'adapter les motions à différents personnages et aussi de paramétrer les animations de comportement. Les caractéristiques morphologiques de la forme humaine (géométrie) et du mouvement humain (animation) sont décrits dans l'ontologie. Dans la figure 4.8, humain virtuel est décrit en utilisant la morphologie Description class. Cette classe vise à encapsuler la description de la forme humaine tel que le sexe, l'âge et les mesures anthropométriques. Les mesures anthropométriques comprennent

les sous-classes spécialisées de mesures spécifiques anthropométriques (taille, poids). Ce pourrait être étendu pour des mesures plus spécialisées.

L'humain virtuel est également de type Posture propriété pour spécifier la position à laquelle le modèle se distingue.

Dans la figure 4.8, les concepts créés pour décrire les traits individuels sont regroupés dans la description individuelle de classe. Ces concepts sont décrits par le Trait sous-classes de la personnalité, l'état émotionnel et l'humeur. L'état émotionnel est lié à un ou plusieurs émotions, une durée et une intensité; la personnalité est décrite par une ou plusieurs Personnalités Dimensions et leurs valeurs; l'humeur est décrit par une valeur unique. Les attributs individuels mentionnés sont importants pour annoter des animations avec des traits particuliers de la personnalité ou des émotions. La sémantique de séquences d'animation est décrite juste après.

Dans la lignée des chercheurs en Intelligence Artificielle, nous souhaitons modéliser des humains virtuels dont le comportement est cognitif, émotionnel et social.

Nous avons vu à travers l'état de l'art présenté dans la partie précédente qu'il est possible de créer des humains virtuels cognitifs et émotionnels (EMA). Cependant, la spécification des différences entre les individus (personnalité, buts) est représentée de manière agrégée et implicite par l'association d'une valeur d'utilité à chacune des situations spécifique du domaine. De plus, l'objectif étant de modéliser des humains sociaux, il est indispensable que ceux-ci soient liés par des relations sociales.

Nous proposons d'explicitier l'impact de la personnalité, des relations sociales et des buts sur la prise de décision de l'humain virtuel. Pour cela, nous reprenons le socle fourni par les théories de l'évaluation cognitive, et dotons notre humain virtuel d'une personnalité, de relations sociales et d'un arbre d'activités. Les modèles utilisés seront présentés dans la première partie de ce chapitre.

Nous détaillerons ensuite les processus dynamiques qui entrent en jeu afin d'intégrer ces dimensions humaines, en particulier leur couplage avec les processus d'évaluation cognitive qui permet de générer un état émotionnel et le *coping* qui permet d'évaluer différentes stratégies avant de prendre une décision.

### **4.8. Conclusion**

Nous présentons dans cette partie un modèle de représentation de la sémantique de l'humain virtuel qui permet aux piétons une navigation dans un environnement urbain. C'est une navigation qui consiste en des mécanismes d'aide à la décision de produire des comportements crédibles. Dans la section suivante nous présentant les techniques utilisée pour de la navigation dans l'environnement urbain dans lequel nous avons intégré notre modèle.

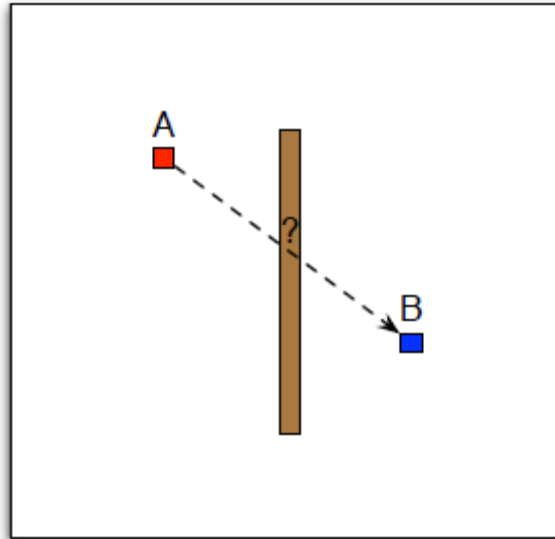
## **Chapitre 5: L'évitement des collisions avec SHV**

### **5.1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons détailler notre contribution avec le problème de l'évitement des collisions; le problème de la navigation dans l'environnement urbain dans lequel nous avons intégré notre modèle, La détection de la collision avec des piétons est effectuée en utilisant l'information obtenue en percevant l'environnement. Pour percevoir l'environnement nous employons des requêtes scène queries du moteur l'Unity 3D (c'est-à-dire, en obtenant l'information liée à la scène) différents types de requêtes de scène (scene queries) existent : ray queries, sphere queries, bounding-box queries, et bounding-plane queries.

### **5.2. Navigation**

La caractéristique la plus évidente d'un individu en mouvement est son intention de se rendre d'un point à un autre. Le plus souvent, l'environnement dans lequel il évolue n'est pas vide et est composé d'obstacles entravant sa progression, comme illustré en figure 5.1. Il est alors nécessaire de trouver un chemin menant à destination, en empruntant éventuellement le chemin optimal minimisant la distance parcourue. Cette stratégie est aussi appelée path-planning. La méthode « humaine » de navigation la plus classique se base sur la constitution d'un chemin à partir de points clés où la direction de l'individu change. Elle se base sur le compromis entre une navigation réactive (direction du point courant à la destination) et le contournement d'obstacles visibles à l'instant courant. Cette méthode souffre néanmoins de la difficulté à concilier des considérations locales avec une planification globale pouvant devenir inadaptée au fil du parcours emprunté. Les méthodes les plus répandues dans ce domaine sont celles basées sur un domaine discrétisé donnant une description Eulérienne du chemin à emprunter.



**Figure 5.1: Schéma de la problématique de navigation.** Comment se rendre de A à B en évitant l'obstacle et en parcourant un minimum de distance.

Le comportement est utilisé pour simuler l'évitement d'obstacle et l'évitement de collision. Dans notre travail, à chaque pas de simulation chaque HV doit vérifier les futures collisions potentielles avec tous les autres agents de la foule et aussi les obstacles. Si une collision a été prédite, le type de cette collision doit être déterminé. Dans la réalité, il y a trois types de collisions possibles (figure 5.2).

- a. Collision face à face : se produit si les agents se déplacent l'un vers l'autre;
- b. Collision en arrière : quand l'agent est derrière un autre agent ou un obstacle;
- c. Collision de côté : se produit si les deux agents marchent presque dans la même direction;

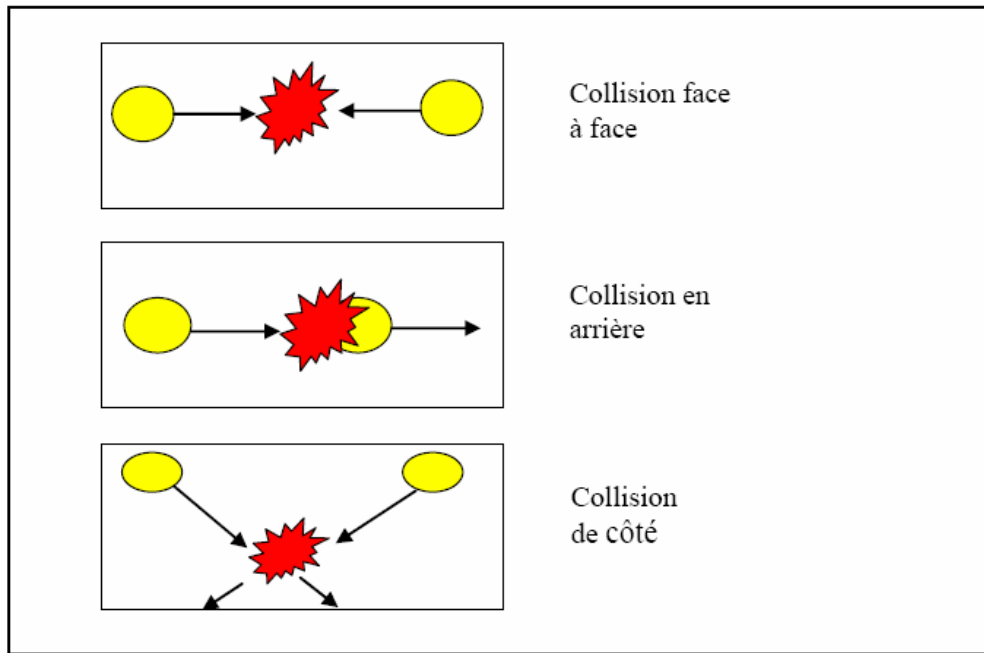


Figure 5.2 : Les trois types de collision

· *Action* : Les forces d'évitement des obstacles (murs) et des plus proches agents sont appliquées sur l'agent en question, et l'accélération (ou la décélération) est calculée, la vitesse est mise à jour et l'agent se déplace un pas selon la direction indiquée.

### 5.3 L'évitement des collisions avec SHV

Les problèmes d'évitement des collisions ont été étudiés dans différents contextes tels que la simulation de la foule et de la robotique. Plusieurs techniques et de travaux concrets concernant la prévention des collisions en groupe et la foule des simulations ont été présentées dans [71], [72], [73], [74]. Celles-ci sont basées sur des modèles de vitesse, des systèmes locaux de coordination, des techniques basées sur la force et les règles d'établissement des priorités. La notion d'obstacles de vitesse a été offerte pour les problèmes de l'évitement des collisions dans des environnements dynamiques et a été étendue pour faire face à l'incertitude dans les données des capteurs [74], [76], [77]. Récemment, Berg et al. [78], [79], ont utilisé la vitesse des obstacles pour minimiser les collisions entre les piétons.

### 5.3.1. Champs de potentiel (Potential fields)

Dans les méthodes traditionnelles, on veut que les agents diffusent uniformément un potentiel qui repousse le robot. Le désavantage est que de nombreux minima locaux peuvent apparaître. Il faut alors éviter que le robot ne se retrouve piégé par ces minima locaux. Différentes solutions existent : l'une d'elle consiste à s'échapper en se dirigeant vers un minimum voisin, et ainsi de progresser en saut de puce. Une autre consiste à faire des déplacements aléatoires pour s'échapper. Chen et al. ont implémenté en 2006 une fonction appelée « Navigation Function » qui garantit l'absence de minima-locaux milieu multi-agents.

### 5.3.2. Velocity Obstacle

La méthode consiste à modéliser dans l'espace des vitesses la zone dite de Velocity Obstacle (VO). Cette zone correspond à l'ensemble des vitesses qui, empruntées par le robot, garantissent une collision avec un agent. Pour construire le VO, on commence par construire le Collision Cône (CC). Le CC correspond à l'ensemble des vitesses du robot relatives à l'agent qui garantissent une collision. Puis on translate le CC de la vitesse de l'agent. La figure 5.3 résume la construction. Une fois le VO construit, le choix de la vitesse du robot est régi par une fonction de coût. La fonction de coût a pour but de maximiser la survie du robot, puis de maximiser sa progression par rapport à l'objectif. Elle pénalise fortement toute vitesse appartenant au VO, en pénalisant plus fortement celles qui mènent à une collision rapide.

Dans l'implémentation pratique, un horizon temporel est considéré : les collisions qui arrivent au-delà de cet horizon temporel ne sont pas considérées. L'approche des VO a par la suite été enrichie, notamment avec sa généralisation au concept.

Les modèles les plus microscopiques se concentrent sur les stratégies d'évitement entre individus et de prédiction de collision. Ils se basent essentiellement sur des considérations géométriques formées par la vitesse des individus environnants. On citera notamment, ou plus récemment la méthode Reciprocal Velocity Obstacle (RVO), que l'on peut traduire par « Obstacle par Vitesses Réciproques », Ces méthodes offrent des comportements d'interaction et d'anticipation très fins, et permettent de créer une grande variabilité décisionnelle des individus composant une foule. Et inclure dans ces stratégies l'adaptation du comportement des individus à la dynamique de leurs voisins pour des foules de forte densité.



Dans cette méthode, la vitesse des obstacles est supposée connue ou mesurable et le concept de « Velocity Obstacle » permet de définir l'ensemble des vitesses qui assure, sur un horizon de temps donné, la non-collision du robot avec les obstacles. Dans le cas où la vitesse des obstacles est connue à l'avance, cette technique permet de planifier des trajectoires dans un environnement fortement dynamique. Dans le cas contraire, la vitesse des obstacles est estimée et supposée constante sur des petits horizons de temps. On détermine alors pour le prochain intervalle de temps la meilleure vitesse qui assure la non collision et le rapprochement du but.

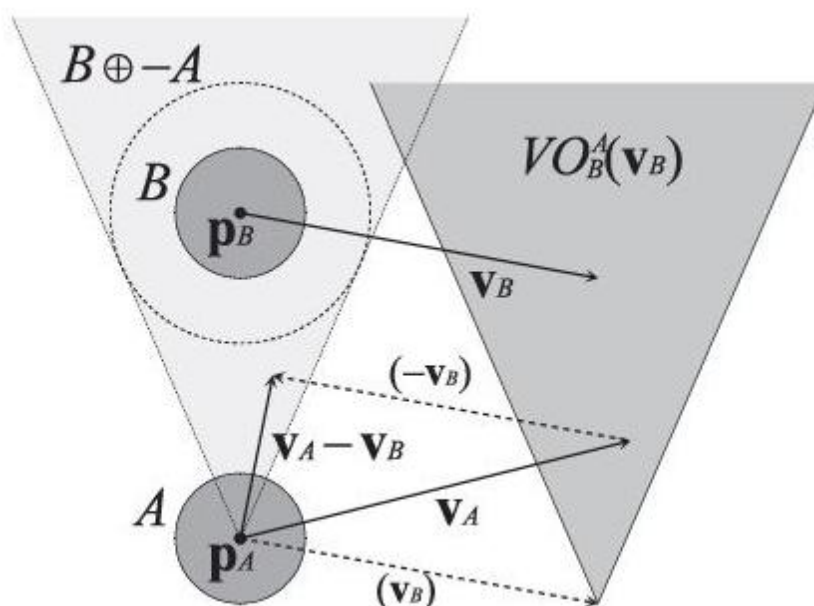


Figure 5.3. Deux obstacles avec leurs vecteurs de vitesse.

Dans la figure 5.3. Les deux disques foncés représentent deux agents dans le plan cartésien. L'agent contrôlé est celui du bas. Les cônes représentent des constructions dans l'espace des vitesses. Celui de gauche est le CC, celui de droite le VO.

Dans notre architecture, l'humain virtuel est décrit par l'ontologie. Dans cette ontologie, nous décrivons les classes de base de l'ontologie et les attributs (comme le montre la figure 5.4) que nous avons conçus pour les applications de navigations HV. Bien qu'un HV soit égalée à un objet dans un environnement virtuel, ils ont un rôle plus actif et compliqué à jouer. L'ontologie de l'humain virtuel est divisée en six classes. Maintenant, nous présentons la relation entre ces classes. Dans la classe de l'Etat; il dispose de deux catégories (mentales et physiques). En classe mentale, nous trouvons des informations de stress. Cette information

résulte de l'influence de plusieurs paramètres. Par exemple, la nature ou la catégorie de tâche a une influence sur le stress comme indiqué dans le tableau suivant.

**Tableau 5. 1.** Les relations entre Catégorie de tâches et le stress.

Category of Task	Uninterested	Normal	Urgent	Serious
Value of Stress	$V-(V*0.25)$	V(value initial)	$V+(V*0.25)$	$V+(V*0.5)$

Dans la Description individuelle classe, nous trouvons des informations sur la personnalité. Ce paramètre a une influence sur la valeur de la catégorie des tâches. Dans le tableau suivant, nous présentons cette influence.

**Tableau 5. 2.** Les relations entre la personnalité et de la catégorie des tâches.

Personality / Category of Task	Apathetic	Normal	Excessively
Uninterested	-Uninterested	Uninterested	Normal
Normal	Uninterested	Normal	Urgent
Urgent	Normal	Urgent	Serious
Serious	Urgent	Serious	+Serious

La classe du scénario a une liste d'actions avec ordre de priorité. L'action de classe a le nom de la tâche, la destination et le temps. L'information de classe contient des informations administratives (nom, adresse, adresse e-mail, et de la nationalité), des informations sur les

relations sociales (comme groupe, amis, etc.), et d'autres informations (comme la vitesse, l'acuité, la priorité, etc.).

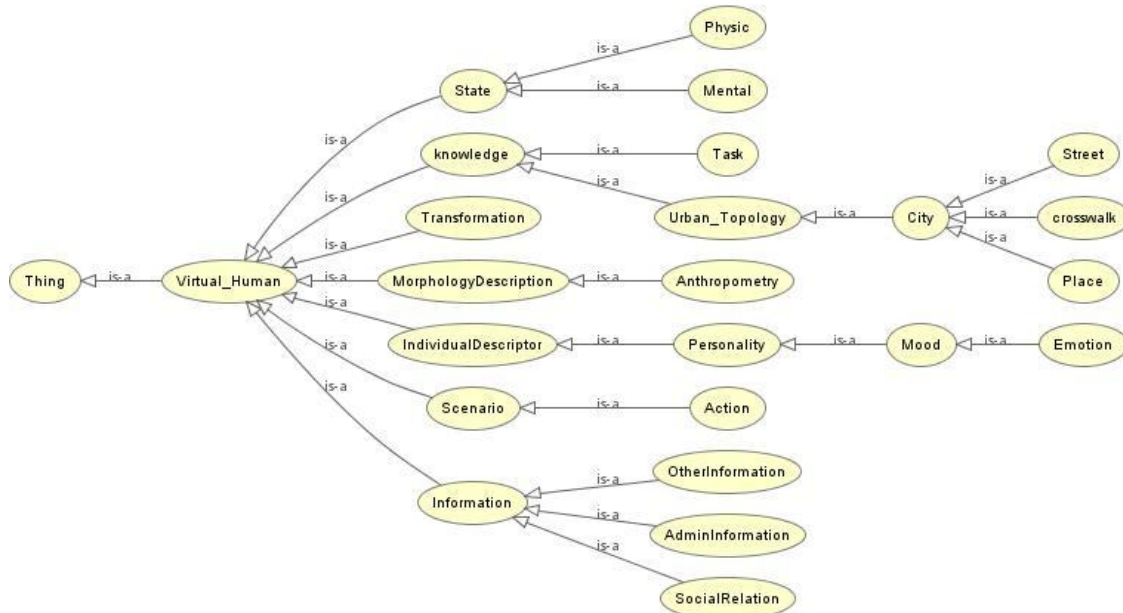


Figure 5.4. Conception d'ontologies pour HV.

### 5.4. Implémentation et résultats

Nous avons mis en œuvre notre modèle en langage C#, en utilisant Unity3D. Nous avons construit nos ontologies en utilisant Protégé et Jena pour la manipulation comme le montre la figure 5.5. Dans cette section, le résultat de Protégé est sur l'ontologie. Nous avons utilisé Jena pour importer le résultat de manipuler et protéger toutes les instances de ces concepts dans Unity3D.

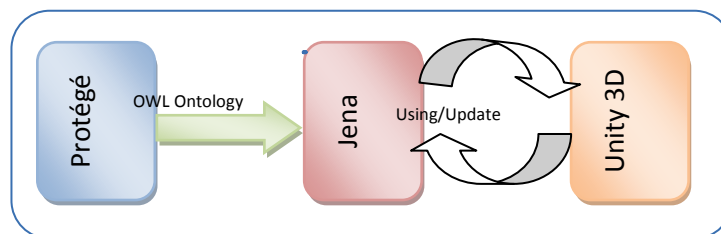
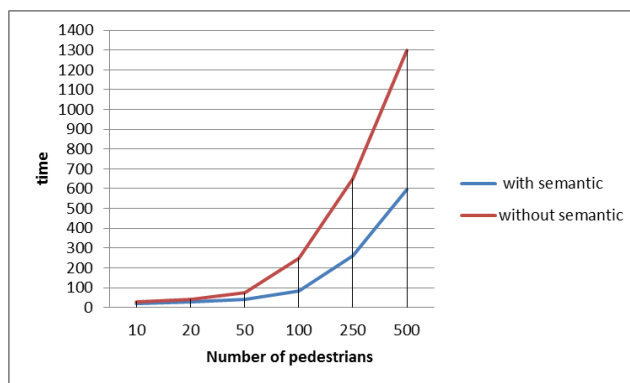


Figure 5.5. Les relations entre Protégé, Jena et Unity3D.

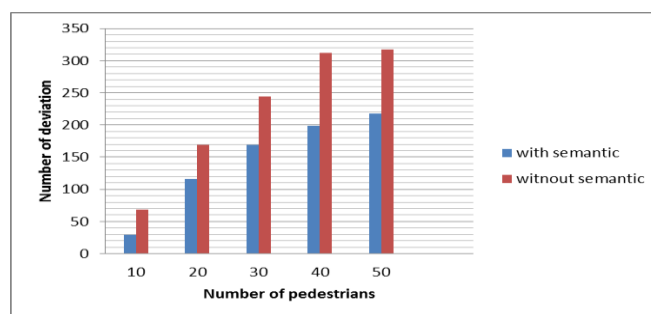


**Figure 5.6.** Scénario Cercle dense: 16 piétons sont disposés uniformément autour d'un cercle et se déplacent vers leur position antipode.



**Figure 5.7.** L'influence de l'information sémantique sur le temps total avec le nombre de piétons.

La figure 5.7 montre comment le nombre de piétons augmente le temps de fonctionnement en utilisant une approche standard (rouge) et notre approche (bleu). La courbe bleue montre la performance de notre modèle par rapport à l'approche standard. Ce résultat est influencé par le nombre total des écarts parce que chaque écart prend plus de temps.



**Figure 5.8.** L'influence de l'information sémantique sur le nombre déviation.

La figure 5.8 présente le nombre d'écarts avec deux approches. Nous montrons que dans notre modèle le nombre d'écarts a diminué par rapport à l'approche standard. Ce résultat est influencé par les différences dans les valeurs de la vitesse et de l'acuité pour chacun des piétons.

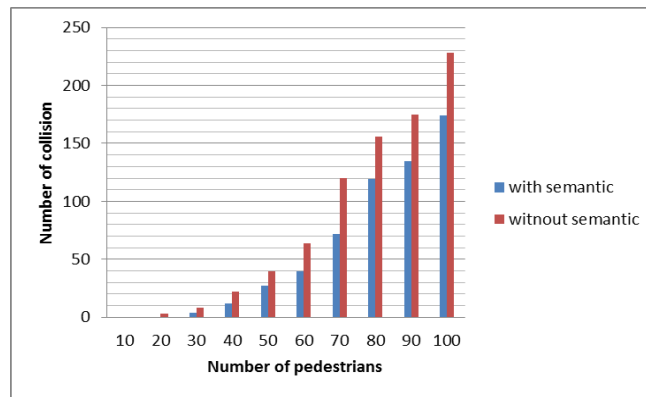


Figure 5.9. L'influence de l'information sémantique sur le nombre de collisions.

La figure 5.9 présente le nombre de collisions avec deux approches. Avec notre modèle, le nombre d'écarts a diminué par rapport à l'approche standard.

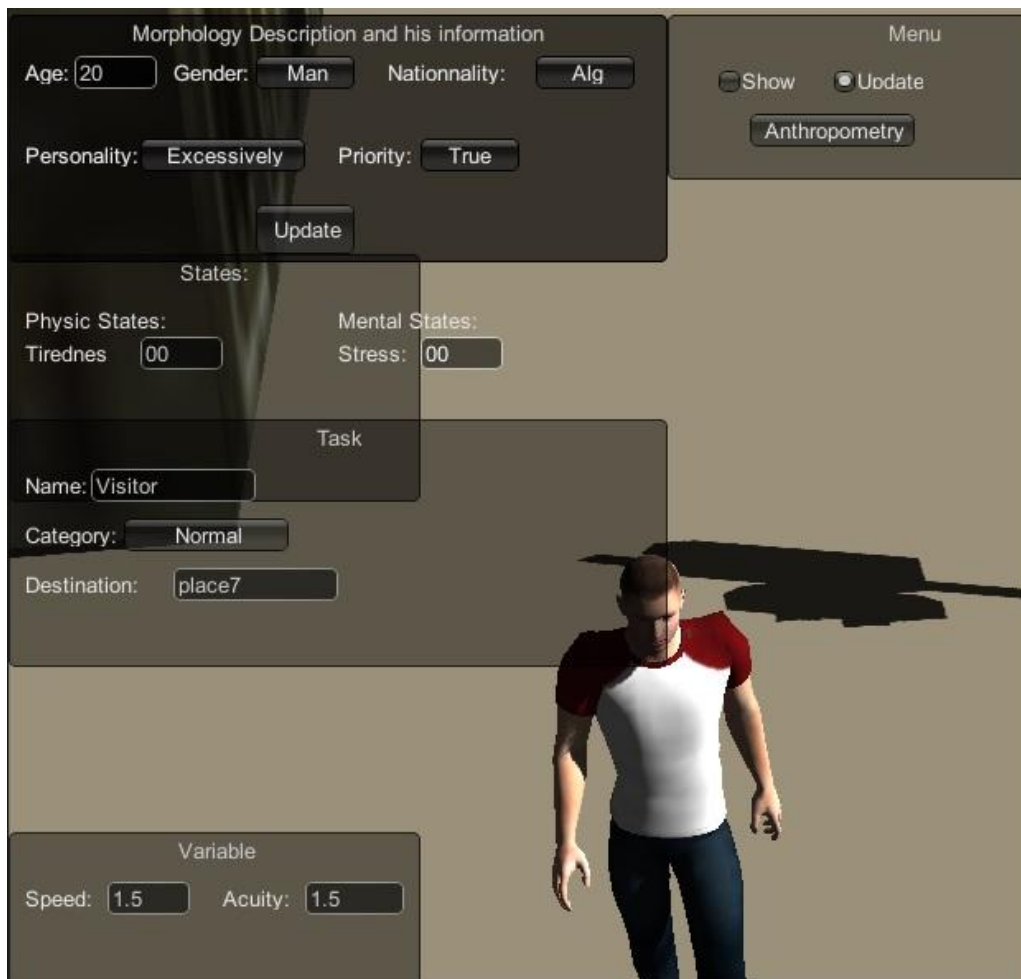
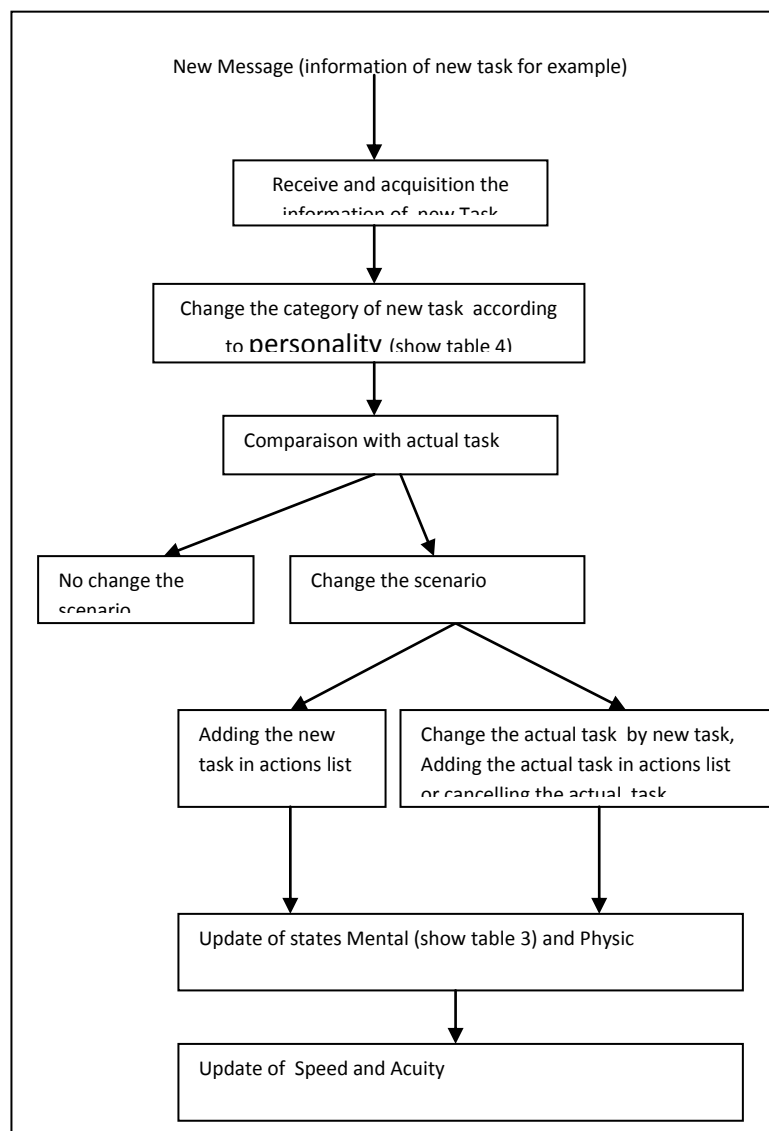


Figure 5.10. Les informations de l'homme virtuel.

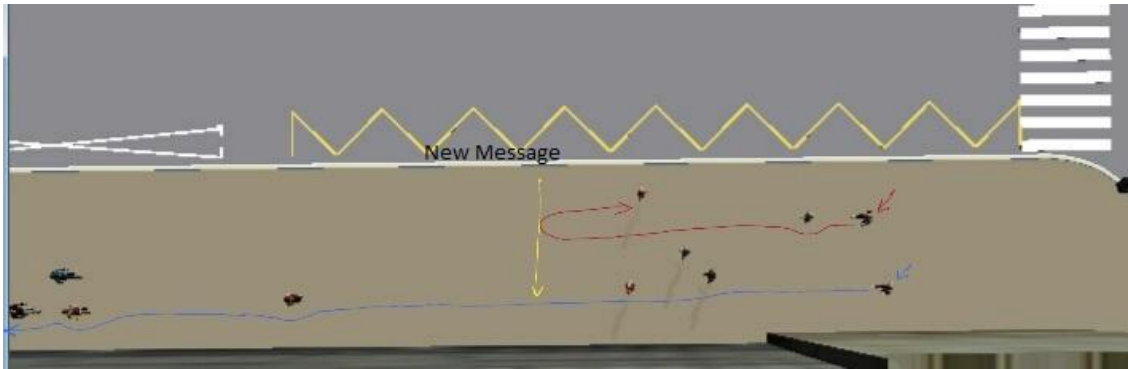
Dans la figure 5.10, nous montrons une application de notre modèle dans un environnement urbain virtuel. Cette demande concerne l'évitement des collisions entre

plusieurs agents. Nous considérons deux agents, l'un avec un arc rouge et l'autre avec un arc bleu. Chaque agent a un ensemble différent d'informations. Par exemple: l'agent avec l'arc rouge a une personnalité excessive avec des informations influencées par la catégorie de la tâche. Par exemple: la tâche avec une catégorie désintéressent se transforme en catégorie normale. D'autre part, la catégorie normale est transformée en une catégorie d'urgence. Cette transformation a une influence sur l'état mental de l'agent. Nous considérons que le stress a un élément de l'état mental. Tout ce changement dans les valeurs de la contrainte ou de la fatigue applique sur la vitesse et de l'acuité de la rue piétonne.

Ce changement dans les valeurs de la vitesse et de gravité est le résultat du processus de traitement du nouveau message pour chaque piéton. Nous présentons ce processus dans la figure 5.11.



**Figure 5.11.** Le processus de traitement d'un nouveau message.



**Figure 5. 1.** Le résultat visuel de notre scénario.

La figure 5.12 montre le scénario visuel pour deux piétons et leur influence sur la vitesse et de l'acuité. L'agent à l'arc bleu a une personnalité Apathetic qui donne ses valeurs initiales de la vitesse et de l'acuité. La contrainte modifie également sa vitesse et son acuité.

Dans le même temps, les deux agents reçoivent le même message. Ce message contient des informations sur une nouvelle tâche. Chaque agent reçoit ces informations et décide comment exécuter la tâche suivante, selon son état actuel et sa tâche. Dans la figure 5.12, nous montrons deux résultats différents pour les deux personnes.

La catégorie de la nouvelle tâche est considérée comme normale. L'agent à l'arc rouge a décidé d'exécuter la nouvelle tâche et à cause de sa personnalité "excessive", il a décidé de changer la catégorie de la tâche vers Urgent.

L'agent avec un arc bleu a poursuivi sa tâche en cours et a décidé d'ajouter la nouvelle tâche dans sa liste d'attente. Puisque sa personnalité est Apathique, il a décidé de changer la catégorie de la nouvelle tâche à Uninterested.

## 5.5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le principe général et la formalisation de notre modèle conçu pour la représentation de l'information sémantique de l'environnement, qui est utilisée sous forme d'ontologie pour décrire les concepts utilisés dans le domaine, ainsi que leurs propriétés et les relations entre eux.

Notre contribution est d'ajouter des informations sémantiques (attributs contextuels et relations entre les concepts) à des humains virtuels et dans le but d'utiliser ces informations pour définir et redéfinir l'interaction avec l'environnement. C'est ainsi que nous trouvons la

combinaison entre les trois aspects: humain virtuel intelligente (HVI), Interrogation et lignes directrices. Le HVI assure l'interaction intelligente avec le monde et les autres HVI.

L'interrogation « querring » assure la communication (demande et réponses) avec le monde, le guide-lines assure la planification des tâches différentes, l'implémentions de notre modèle sur deux applications ; la première dans l'évitement des collisions et la deuxième gestion la planification des taches du HV en temps réel.



## **Conclusion Générale**

La représentation des connaissances pour les environnements virtuels (EV) est un problème qui a pris de l'importance ces dernières années. En effet, les agents évoluant dans un EV ont besoin d'information sémantique sur celui-ci pour adapter leurs comportements aux éléments identifiables de cet environnement et faire des choix d'action.

Le besoin est de simuler des comportements humains Virtuels (HVs) dans des environnements virtuels peuplés de personnages animés. Pour que l'agent ait des comportements crédibles, il doit regrouper plusieurs caractéristiques dont l'autonomie, qui veut dire que l'HV a un total contrôle de son état interne et qu'il est capable de faire la planification d'actions et prendre des décisions. L'HV doit aussi être réactif, c'est-à-dire, qu'il doit réagir en un temps raisonnable aux événements qui opèrent dans son environnement tout en étant capable de s'adapter aux changements qui peuvent y survenir.

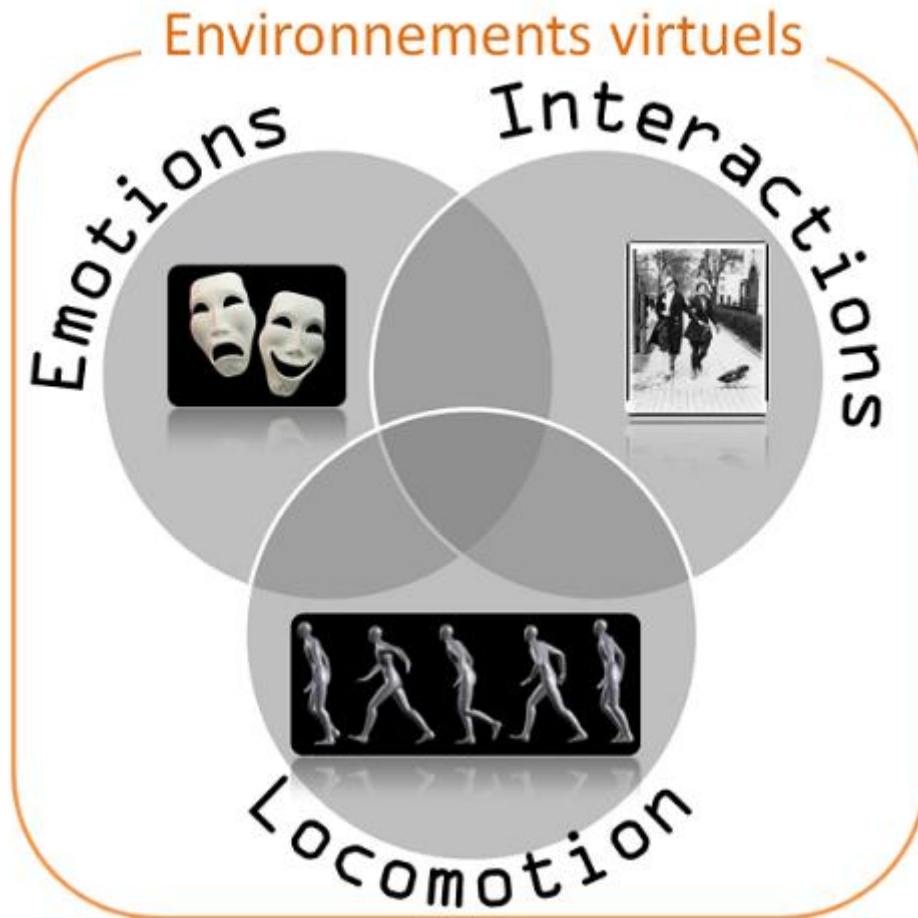
Cela leur permet d'intégrer les connaissances sur leur environnement dans leur processus de décision. Ainsi, ils pourront planifier leurs actions tout en ayant la capacité d'anticiper leurs conséquences. Nous avons donc proposé un modèle qui permet de représenter les informations sémantiques de l'environnement et déduire les informations utiles pour l'aide à la décision des HVs, afin qu'ils puissent faire des choix d'objets crédibles tout en étant en adéquation avec leur situation.

Nous avons proposé, dans cette thèse un modèle de représentation de la sémantique de l'environnement pouvant être utilisé pour la définition sémantique d'objets variés pour différents scénarios d'utilisation, pour produire des données d'aide à la décision qui permettra aux Humains virtuels d'adopter des comportements crédibles.

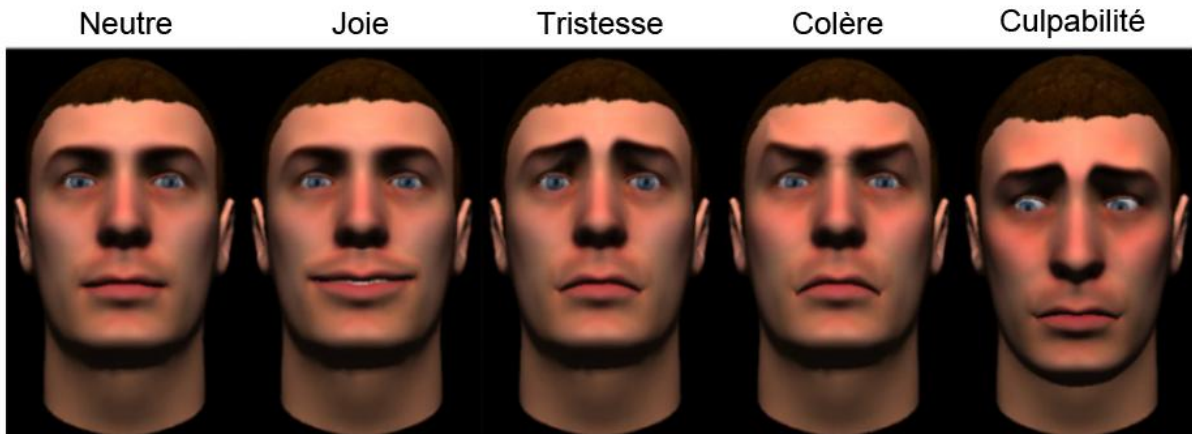
- nous avons présenté en détail l'environnement virtuel et des différentes approches de modélisation de leur sémantique. Nous avons parlé par la suite des techniques de modélisation de la sémantique dans l'environnement virtuel dont s'inspire notre approche.
- Nous avons présenté notre modèle qui consiste à représenter dans des couches sémantiques intégrées dans les éléments qui composent l'environnement.
- Nous avons terminé par présenter les détails concernant la mise en œuvre de notre modèle, et notre système. Il s'agit principalement de donner des informations sur le contexte de notre travail, c.-à-d., le problème de la navigation dans l'environnement urbain dans lequel nous avons intégré notre modèle. Nous avons présenté les différentes interfaces que nous avons développées permettant de comprendre la manière dont fonctionne le système.

Parmi les améliorations, il sera nécessaire d'enrichir la base de connaissances; cet enrichissement devra concerner d'une part les données concernant les objets qui composent EV; Il devra également concerner les personnages et la prise en compte des états émotionnels en considérant plus précisément le contexte d'environnement.

D'autres perspectives s'inscrit dans une thématique pluridisciplinaire dont les domaines sont les interactions, les émotions, la locomotion et ce dans le cadre des environnements virtuels.



Pour atteindre la perspective précédente il faut attaquer une autre perspective; c'est permettra d'avoir des postures et des expressions plus réalistes que celles créées manuellement par l'utilisateur. En alimentant la base de connaissances avec des captures de mouvements et des expressions faciales réelles, le réalisme des simulations sera grandement amélioré.



Enfin pour pouvoir stocker les informations concernant les émotions dans la base de connaissances, l'encodage des expressions faciales ainsi que les expressions posturales.

## **Bibliographie**

- [1] Martin Hachet. Interaction avec des environnements virtuels affichés au moyen d'interfaces de visualisation collective. Thèse PhD, Université Bordeaux I, 2003.
- [2] Mel Slater and Martin Usoh. Body centred interaction in immersive virtual environments. *Artificial Life and Virtual Reality*, pages 125–148, 1994.
- [3] S.R. Ellis. Nature and origins of virtual environments : A bibliographical essay. *Computing Systems in Engineering*, 2(4): pages 321–347, 1991.
- [4] David Zeltzer : Autonomy, interaction, and presence. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 1(1): pages 127–132, 1992.
- [5] Delphine Dufourd. Des cartes combinatoires pour la construction automatique de modèles d'environnement par un robot mobile. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2005.
- [6] Douglas Demyen & Michael Buro. Efficient triangulation-based pathfinding. In national conference of the American Association on Artificial Intelligence, volume 6, pages 942–947, 2006.
- [7] Franco P. Preparat & Michael Ian Shamos. *Computational geometry : an introduction*. Texts and Monographs in Computer Science. Springer-Verlag. 1985.
- [8] Rodney A. Brooks & Tomas Lozano-Perez. A subdivision algorithm in configuration space for findpath with rotation. Rapport technique 684, MIT, 1982.
- [9] Hanan Samet. The quadtree and related hierarchical data structures. *Computing Surveys*, vol. 16, no. 2, pages 187–260, 1984.
- [10] Andrzej Pronobis, O Martinez Mozos, Barbara Caputo & Patric Jensfelt. Multi-modal semantic place classification. *The International Journal of Robotics Research*, vol. 29, no. 2-3, pages 298–320, 2010.
- [11] Andrzej Pronobis & Patric Jensfelt. Hierarchical multi-modal place categorization. *European Conference on Mobile Robots*, vol. 11, pages 159-164, 2011.
- [12] Iwan Ulrich & Illah Nourbakhsh. Appearance-based place recognition for topological localization. In *International Conference on Robotics and Automation*, volume 2, pages 1023–1029. IEEE, 2000.
- [13] Pooja Viswanathan, Tristram Southey, James Little & Alan Mackworth. Place classification using visual object categorization and global information. In *Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, pages 1–7. IEEE, 2011.
- [14] Antonio Torralba, Kevin P. Murphy, William T. Freeman & Mark A. Rubin. Context-based vision system for place and object recognition. In *International Conference on Computer Vision*, pages 273–280. IEEE, 2003.
- [15] Julia Vogel & Bernt Schiele. A semantic typicality measure for natural scene categorization. In: *Pattern Recognition Symposium DAGM*, pages 195–203. Springer, 2004.
- [16] Cipriano Galindo, Alessandro Saffiotti, Silvia Coradeschi, Pär Buschka, Juan-Antonio Fernandez-Madriral & Javier González. Multihierarchical semantic maps for mobile robotics. In *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 2278–2283. IEEE/RSJ, 2005.

- [17] Takeo Igarashi, Rieko Kadobayashi, Kenji Mase, and Hidehiko Tanaka. Path drawing for 3d walkthrough. In ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pages 173–174, 1998.
- [18] Tinsley A. Galyean. Guided navigation of virtual environments. In Proceedings of Symposium on Interactive 3D Graphics, pages 103–104, 1995.
- [19] Doug A. Bowman, Elizabeth T. Davis, Larry F. Hodges, and Badre Albert N. Maintaining spatial orientation during travel in an immersive virtual environment. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments, volume 8(6), pages 618–631, 1999.
- [20] John Edwards and Chris Hand. Maps : Movement and planning support for navigation in an immersive vrml browser. In VRML'97, 1997.
- [21] Borst W.N., Akkermans M., Top J., "Engineering ontologies". International Journal of Human-Computer Studies, vol. 46, pages 365-406, 1997.
- [22] GRUBER T. R., "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing", presented at International Workshop on Formal Ontology, Padova, Italy, 1993.
- [23] Sowa J. F., "Knowledge Representation: Logical, Philosophical and Computational Foundations". Brooks Cole Publishing Co., Pacific Grove, California. 2000.
- [24] Guarino N., "Semantic Matching : Formal ontological distinctions for information organization, extraction, and integration". Lecture Notes in Computer Sciences, Technology LNAI, 1299 : pages139-170, 1997.
- [25] Neches R., Fikes R., Finin T, Gruber T., Patil R., Senator T., Swartout W., "Enabling technology for knowledge sharing". AI Magazine, 12(3) s : pages 36-56, 1991.
- [26] Fernandez-Lopez M., Gomez A., Juristo N., "METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering", pages 33–40.1997.
- [27] Van Heijst G., Schreiber Th., Wielinga B., "Using explicit ontologies in KBS development". International Journal Human-Computer studies, 47(2-3): pages 183-292, 1997.
- [28] Guarino N., "Semantic Matching: Formal ontological distinctions for information organization, extraction, and integration". Lecture Notes in Computer Sciences, Technology LNAI, Vol 1299, pages 139-170, 1997.
- [29] Zghal S., "Contributions à l'alignement d'ontologies OWL par agrégation de similarités", Thèse pour l'obtenir le grade de docteur, faculté des sciences Tunis, Soutenue le 21 décembre 2010.
- [30] De Nicola A., Missikoff M., Navigli R., "A software engineering approach to ontology building". Information Systems 34, pages 258–275. 2009.
- [31] Fernandez-Lopez M., Gomez A., Juristo N., "METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering", pages 33–40.1997.
- [32] MILLER, G. A. WordNet: A Lexical Database for English. Communications of the ACM, v. 38, n. 11, p. 39–41, 1995
- [33] FELLBAUM, C. WordNet and wordnets. In: K. Brown (Ed.); Encyclopedia of

- Language and Linguistics. Pages;665–670. Oxford: Elsevier. 2005
- [34] Mustapha Baziz, "Indexation conceptuelle guidée par ontologie pour la recherche d'information", thèse de doctorat, IRIT, Toulouse. France. 2005
- [35] Arnaud Renard, S. Calabretto, B. Rumpler. Une approche de recherche d'information structurée fondée sur la correction d'erreurs à l'indexation des documents, Dans *19ème conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN 2012)*, Grenoble, France. 2012.
- [36] J. Chudziak and M. Piotrowski. Semantic support for multimedia information system. In Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pages 3914–3919, 1995.
- [37] C. Chen and M. Czerwinski. From latent semantics to spatial hypertextan integrated approach. In *HYPertext '98: Proceedings of the ninth ACM conference on Hypertext and hypermedia : links, objects, time and space structure in hypermedia systems*, pages 77–86. ACM Press, 1998.
- [38] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila. The Semantic Web. In: *Scientific American*, May 17, 2001.
- [39] J. Davies, A. Duke, and Y. Sure. Ontoshare: a knowledge management environment for virtual communities of practice. In *K-CAP '03: Proceedings of the international conference on Knowledge capture*, pages 20–27. ACM Press, 2003.
- [40] C. Chen, L. Thomas, J. Cole, and C. Chennawasin. Representing the semantics of virtual spaces. *IEEE Multimedia*, 6(2): pages 54–63, 1999.
- [41] K. Otto. Towards semantic virtual environments. In *SVE '05: Workshop towards Semantic Virtual Environments*, pages 47–56, 2005.
- [42] H. B. Kang and Y. M. Kwon. The needs and possibilities of non-photorealistic rendering for virtual heritage. In *VSMM2002: Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 2002.
- [43] P. Grussenmeyer, M. Koehl, and M. Nour El Din. 3d geometric and semantic modelling in historic cities. *XVII International Committee for Architectural Photogrammetry (CIPA) International Symposium*, Brazil, 1999.
- [44] Jesús Ibáñez&Carlos Delgado-Mata, "Lessons from research on interaction with virtual environments". *J. Network and Computer Applications* 34(1), pages 268-281.2011.
- [45] Thalmann D, Farenc N, Boulic R, "Virtual human life simulation and database: why and how", *International symposium on database applications in non- traditional environments, DANTE'99*. 1999.
- [46] Badawi M, Donikian S, "Autonomous agents interacting with their virtual environment through synoptic objects", *CASA*, 2004.
- [47] M. Kallmann and D. Thalmann. Direct 3d interaction with smart objects. In *VRST '99: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 124–130. ACM Press, 1999.



- [48] Liu, Y., Xu, C., Pan, Z., and Pan, Y. Semantic modeling for ancient architecture of digital heritage. *Computers & Graphics*, 30(5): pages 800 – 814. 2006.
- [49] Ibânêz J, Delgado-Mata C. "Abasics semantic common level for virtual environments", *International Journal of Virtual Reality* 5(3), pages 25-32. 2006
- [50] Kalogerakis, E., Christodoulakis, S., and Moutoutzis, N. Coupling ontologies with graphics content for knowledge driven visualization. *Virtual Reality Conference, IEEE*, pages 43–50. 2006
- [51] Otto, K. "Semantic virtual environments". In *Special interest tracks and posters of the 14th international conference on World Wide Web*, pages 1036–1037. Japan . 2005.
- [52] Mario a. Gutierrez, "Semantic Virtual Environments", Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne. 2005.
- [53] Manjunath, B., Salembier, P., and Sikora, T. *Introduction to MPEG-7: multimedia content description interface, volume 1*. John Wiley & Sons Inc. 2000.
- [54] Grimaldo F, Barber F, Lozano M, "An ontology-based approach for IVE+VA", *International conference on intelligent virtual environments and virtual agents (IVEVA)*. Aguascalientes, Mexico; pages 67–76. 2006.
- [55] Bowman, D. A., North, C., Chen, J., Polys, N. F., Pyla, P. S., and Yilmaz, U. Information-rich virtual environments: theory, tools, and research agenda. In *VRST '03: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 81–90, New York, NY, USA. 2003.
- [56] Polys, N. and Bowman, D. Design and display of enhancing information in desktop information-rich virtual environments: challenges and techniques. *Virtual Reality*, 8(1): pages 41–54. 2003.
- [57] Tuteneel, T., Smelik, R., Bidarra, R., and Jan De Kraker, K, Using semantics to improve the design of game worlds. In *Proceedings of the Fifth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE'09)*, pages 14–16. 2009.
- [58] Latoschik, M. E. and Fröhlich, C. Towards intelligent VR - multi-layered semantic reflection for intelligent virtual environments. In *Braz, J., Vázquez, P.-P., and Pereira, J. M., editors, GRAPP (AS/IE)*, pages 249–260. INSTICC - Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication. 2007.
- [59] Latoschik, M. and Schilling, M. Incorporating VR databases into AI knowledge representations: A framework for intelligent graphics applications. In *Proceedings of the Sixth IASTED International Conference on Computer Graphics and Imaging*, pages 79–84. 2003.
- [60] Heumer, G., Schilling, M., and Latoschik, M. Automatic data exchange and synchronization for knowledge-based intelligent virtual environments. In *Virtual Reality, 2005. Proceedings. VR 2005. IEEE*, pages 43–50. 2005.
- [61] Kleinermann, F., De Troyer, O., Mansouri, H., Romero, R., Pellens, B., and Bille, W.. Designing semantic virtual reality applications. In *Proceedings of the 2nd INTUITION International Workshop, Senlis, France*, pages 5–10. 2005.
- [62] Pellens, B., De Troyer, O., Bille, W., and Kleinermann, F. Conceptual modeling of object behavior in a virtual environment. In *Proceedings of Virtual Concept*, pages 93–94. 2005.

- [63] Vanacken, L., De Boeck, J., Raymaekers, C., and Coninx, K.. Using relations between concepts during interaction modelling for virtual environments. In Latoschik, M. E., Reiners, D., Blach, R., Fiduroa, P., and Dachselt, R., editors, *Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive System (SEARIS)*, pages 65–70. 2008.
- [64] Vanacken L, Raymaekers C, Coninx K, “Introducing semantic information during conceptual modelling of interaction for virtual environments”, *WMISI '07: proceedings of the 2007 workshop on multimodal interfaces in semantic interaction*. New York, NY, USA: ACM; pages 17–24. 2007.
- [65] Mezati, M., Cherif F., Sanza, C., Gaildrat, V.: *Semantic Representation Of Virtual Humans*. In *Advanced Science Letters*, Vol. 21, No. 10, pages 3102-3105, 2015.
- [66] Mezati, M., Cherif, F., Sanza, C., Gaildrat, V.: *An Ontology For Semantic Modelling Of Virtual World*. In *International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAAIA)*, Vol. 6, No. 1, pages 65-74, 2015.
- [67] Mezati, M., Cherif F., Sanza, C., Gaildrat, V.: *SVHsIEVs for Navigation in Virtual Urban Environment*. In *Proc of Second International Conference on Foundations of Computer Science & Technology(CST 2015)*, pages 49–62, 2015.
- [68] Grimaldo F, Lozano M, Barber F, “A multi agent framework to animate socially intelligent agents”, *Innovations in hybrid intelligent systems*, pages17–24. 2008.
- [69] Grimaldo F, Lozano M, Barber F, Viguera G, “Simulating socially intelligent agents in semantic virtual environments”, *The Knowledge Engineering Review*; 23(4): pages 369–88. 2008.
- [70] T. humanoid animation working group. H-anim. <http://www.h-anim.org>
- [71] Sugiyama Y., Nakayama A., Hasebe K.: *2-Dimensional Optimal Velocity Models for Granular Flow and Pedestrian Dynamics*. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, pages 155-160. 2001.
- [72] Thalmann D., O'sullivan C., Ciechomski P., Dobbyn S.: *Populating Virtual Environments with Crowds*. *Eurographics Tutorial Notes*, 2006.
- [73] Cherif F., Djedi N.: *Collision avoidance in crowd simulation with priority rules*. *European Journal of Scientific Research*, vol. 15, no. 1, pages 6–17. 2006.
- [74] Sud A., Gayle R., Andersen E., Guy S., Lin M., Manocha D.: *Real-time navigation of independent agents using adaptive roadmaps*. *Proc. of ACM VRST*, pages 99-106. 2007.
- [75] Fiorini P., Shiller Z.: *Motion planning in dynamic environments using velocity obstacles*. *International Journal on Robotics Research* 17, pages 760-772. 1998
- [76] Fulgenzi C., Spalanzani A., Laugier C.: *Dynamic obstacle avoidance in uncertain environment combining PVOs and occupancy grid*. In *ICRA*, pages 1610-1616. 2007.
- [77] Kluge B., Prassler E.: *Reactive navigation: Individual behaviors and group behaviors*. In *Proc. of International Conf. on Robotics and Automation*, pages 4172-4177. 2007.
- [78] Berg J., Lin M., Manocha D.: *Reciprocal velocity obstacles for realtime multi-agent navigation*. *Proc. of IEEE Conference on Robotics and Automation*, pages 1928-1935. 2008.

- [79] Berg J., Patil S., Sewall J., Manocha D., Lin M.: Interactive navigation of individual agents in crowded environments. Proc. of ACM Symposium on I3D, pages 139-147. 2008.