

N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire



**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**

UNIVERSITÉ ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL OUED

FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES

DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Mémoire de fin d'étude

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Spécialité : Systèmes Distribués et Intelligence Artificiel (SDIA)

Thème

**Représentation Ontologique des Manipulations
chimiques au sein d'un Laboratoire Virtuel**

Présenté par: KENIOUA Laid
KHECHEKHOUCE Sâd

Soutenu devant le jury composé de

M. MAHDJOUB
M. BERDJOUH
M. GUAIA

Mohammed El Bachir
Chafik
Sana Sahar

MAA Rapporteur
MAA Président
MAA Examinatrice

Univ. d'Ouargla.
Univ. d'El Oued
Univ. d'El Oued

Année universitaire 2015/2016

REMERCIEMENT

Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier Allah tout puissant, de notre avoir permis d'arriver à ce niveau d'étude et aussi pour nous avoir donné beaucoup de patience et de courage pour réaliser ce mémoire.

C'est avec un grand plaisir que nous apportons ce témoignage écrit de nos reconnaissances à tous ceux qui nous ont gratifiés de leur soutien et de leur confiance tout au long de ce travail.

Travers ce modeste travail, nous tenons surtout à exprimer notre gratitude et nos reconnaissance et nos sincères remerciements au Monsieur MAHDJOUB Mohammed El Bachir pour son encadrement et son soutien tout en long de ce travail nous offrant ainsi la possibilité de mener à bien ce mémoire. Merci, merci et merci monsieur.

Nous remercions très sincèrement les membres du jury qui ont bien accepté de juger et d'évaluer ce travail.

Nous remercions également Monsieur Medileh Saci chef département d'informatique pour tous ces aides et ces conseils.

Nous adressons aussi notre sincère reconnaissance à tous les enseignants au département d'Informatiques de l'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued pour leurs aides et leurs conseils. Sans oublier tout le staff administratif du département.

Grand merci à tous ceux et toutes celles qui ont contribué de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	5
Motivations	8
CHAPITRE I : ETAT DE L'ART SUR LES TRAVAUX PRATIQUE, TELE-TP ET LABORATOIRE VIRTUEL	9
1.1 Introduction	10
1.2 De l'EAO aux EIAH	10
2.2.1 Les modes de formation	11
2.2.2 Formation à distance (FAD) et l'Enseignement à distance (EAD)	11
2.2.3 Enseignement assisté par ordinateur (EAO)	11
2.2.4 Formation ouverte à distance (FOAD)	12
2.2.5 La téléformation et E-Learning	12
2.2.6 Plate-forme de e-Learning	13
2.2.7 Activité pédagogique (ou activité d'apprentissage)	13
2. Travaux Pratique, Télé-TP et Laboratoire Virtuel	13
2.1 Introduction	13
2.2 Travaux Pratique (TP)	14
2.2.1 Définition	14
2.2.2 L'informatique et Les travaux pratiques	14
2.2.3 Avantages des Travaux Pratiques	15
2.3 Les Laboratoires Traditionnels	15
2.3.1 Définition	15
2.3.2 Caractéristiques	15
2.3.3 Les inconvénients et Limites	16
2.4 Les Travaux Pratiques à distance (Télé-TP)	16
2.4.1 Définition	17
2.4.2 Les avantage des Télé-TPs	17
2.4.3 Les inconvenants et les limites d'un Télé-TP	17
2.4.4 Typologie de situation	17
2.5 Laboratoire virtuel	18
2.5.1 Définition	18
2.5.2 Caractéristiques d'un laboratoire virtuel	19
2.6 Conclusion	19
CHAPITRE II LA CHIMIE : NOTIONS FONDAMENTALES, MODES D'ENSEIGNEMENT ET APPORTS DES TICS	
PARTIE 01 : LA CHIMIE : Notions fondamentales	20
2.1.1 La Chimie, introduction et définition	20
2.1.2 Les Concepts de Base	21
2.1.2.1 La matière	21
2.1.2.2 Etats de la matière et méthodes de séparation	21
2.1.3. Méthodes de séparation des constituants d'un mélange	22
a. Mélanges hétérogènes	22
b. Mélanges homogènes	23

2.1.3 Atome ou Eléments chimiques	23
2.1.3.1. Atomes et molécules	23
a. Atomes	24
b. Masse atomique	24
c. Classification des éléments chimiques	25
2.1.4 Principe de la classification périodique	25
2.1.5 Liaisons chimiques	27
2.1.5.1 Définitions et caractéristiques	27
a. Règle de l'octet	27
b. Schéma de Lewis	27
2.1.5.2 Classification des liaisons chimiques	28
2.1.5.3 Les liaisons chimiques fortes	28
a. Liaison covalente	29
b. Liaisons ioniques	29
2.1.5.4 Les liaisons chimiques faibles	29
a. Liaisons hydrogène	30
b. Liaisons Van der Waals	30
2.1.6 Molécule	30
2.1.7 Masse molaire moléculaire	30
2.1.7.1 Compositions massique	31
2.1.7.2 Représentation des molécules	32
2.1.8 Réaction chimique	32
2.1.8.1 Définition	32
2.1.8.2 Equations chimiques	33
a. Coefficients stœchiométriques	34
b. Equilibrage des équations	34
2.1.8.3 Types de réactions chimiques	34
a. Réaction de précipitation	35
b. Réactions acido-base	35
c. Les réactions redox (oxydo-réduction)	35
d. Les réactions organiques	35
2.1.9 Introduction à la biochimie	36
2.1.9.1 Définitions, objectif et caractéristiques	36
2.1.9.2 Description des macromolécules	38
2.1.9.2.1 Les protéines	38
2.1.9.2.2 Les acides nucléiques	39
2.1.9.2.3 Les glucides	39
2.1.9.2.4 Classification des glucides	39
2.1.9.2.5 Les lipides	40
2.1.9.2.6 Exemples de méthodes d'analyse biochimique	40
Partie 02 :	41
2.1 Enseignement de la chimie, Objectif et apport des nouvelles technologies	41
2.2 Les modes d'enseignement et d'apprentissage	41
2.3 Apprentissage expérimental	42
2.3.1 Une expérience ? Définition	43

2.3.2 Les interactions dans un TP en chimie	43
2.3.3 Difficultés d'apprentissage en chimie	44
2.3.4 Les Apports des Tic à l'apprentissage et l'enseignement de la chimie	45
2.4 Conclusion	47
CHAPITRE 3 : WEB SEMANTIQUE ET ONTOLOGIES INFORMATIQUES	48
3.1 Web sémantique : Définition, Principe et Caractéristiques	49
3.1.1 Introduction	49
3.1.2 Le (W3C) World Wide Web Consortium	49
3.1.3 Définition et principe du Web Sémantique	50
Architecture en couche du Web sémantique	50
Architecture par niveaux du Web sémantique	51
3.1.5.1 Niveau Nommage /Adressage	52
3.1.5.2 Niveau syntaxique	53
3.1.5.3 Niveau sémantique	54
3.1.6 Annotations	55
3.2 Notion d'ontologie	56
3.2.1 Introduction	56
3.2.2 Origine de l'ontologie	57
3.2.2.1 Définitions	57
3.2.3 Notion d'ingénierie ontologique	59
3.2.4 Les objectifs d'ontologie	59
3.2.5 Les composantes d'une ontologie	59
3.2.5.1 Les concepts	60
3.2.5.2 Les relations	61
3.2.5.3 Les fonctions	62
3.2.5.4 Les axiomes (ou Règles)	62
3.2.5.5 Les instances (ou individus)	62
3.2.6 Classification des ontologies	62
3.2.6.1 Selon l'objet de la conceptualisation	63
3.2.6.2 Selon le niveau de granularité (détail)	63
3.2.6.3 Selon le niveau de formalisation de la représentation	64
3.2.6.4 Selon le niveau de la représentation des connaissances	64
3.2.6.5 Selon l'information dont l'ontologie a besoin et la richesse de sa structure interne	66
3.2.8 Les étapes suivies lors de la construction d'une ontologie	67
3.2.9 Validation d'une ontologie	68
3.2.10 Cycle de vie d'une ontologie	70
3.3 Outils d'édition des ontologies	71
3.4 Langages de représentation d'ontologies	72
3.4.1 Ontology Web Language (OWL)	73
3.4.2 JENA	74
3.5 Apport du Web sémantique et d'ontologie en chimie	75
3.6 Web sémantique en chimie	76
3.7 Conclusion	77
CHAPITRE 4 : CONCEPTION ET REALISATION	80
PARTIE 01 : Conception	80

4.1 Introduction	80
4.2 Conception de l'ontologie de l'application	80
4.2.1. Choix d'une méthodologie de construction	81
4.3. Présentation de l'ontologie conceptuelle	84
4.3.1. Liste des concepts	85
4.3.2. Liste des attributs	86
4.3.3. Liste des relations	88
4.3.4. Représentation hiérarchique des concepts	89
4.3.5 Diagrammes de représentation de l'ontologie	90
4.4 UML Définition et caractéristiques	90
4.4.1 Diagrammes de représentation	91
4.4.1.1 Diagramme de classes	92
4.4.1.2 Diagramme de cas d'utilisation	92
PARTIE 02 : Réalisation et mise en œuvre	93
5. Objectifs du projet	93
5.1 Edition de l'ontologie et génération du code RDF	93
5.2.2 Création des classes et des sous classes	94
5.2.3 Ajout des propriétés des classes et des sous classes	94
5.2.4 Ajout des relations	95
5.3 Environnement de travail	96
5.4 Conclusion	99
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	100
Bibliographie	

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Relation entre les modes de formation	13
Figure 2. Les formes de TP et Télé- TP.	18
Figure 3. Structure de la matière.	21
Figure 4. Les états de la matière et ses transformations.	22
Figure 5 : Séparation par précipitation d'un cation en milieu acide ...	23
Figure 6. L'atome dans le modèle de Rutherford.	24
Figure 7. Tableau périodique des éléments chimiques.	25
Figure 8. Structure de deux macromolécules.	31
Figure 9. Molécule (Liaison covalente)	31
Figure 10. Structure des glucides.	40
Figure 11. Interactions dans un TP classique	43
Figure 12. Architecture en couche du Web sémantique (W3C).	51
Figure 13. Structure du Web sémantique (les trois niveaux).	52
Figure14. Les Composants de l'ontologie.	60
Figure15. Le concept.	60
Figure 16. Classification des ontologies.	67
Figure 17. Construction d'ontologie opérationnelle.	69
Figure 18. Cycle de vie d'une ontologie.	72
Figure 19. La fenêtre principale de Protégé.	73
Figure 20. La relation entre les trois versions de l'OWL.	74
Figure 21. Diagramme de sous buts.	83
Figure 22. Représentation hiérarchique des concepts de l'ontologie.	89
Figure 23. Diagramme de classes de notre ontologie	91
Figure 24. Diagramme de cas d'utilisation	92
Figure 25. Fenêtre de début de protégé	93
Figure 26. Choix du type de code de l'ontologie à générer	94
Figure 27. Classes et sous classes de l'ontologie Chim_Onto	94
Figure 28. Propriétés des Classes et des sous classes de Chim_Onto	94
Figure 29. Relations de Chim_Onto	95
Figure 30. Code généré de Chim_Onto	96
Figure 31. Fenêtre principale d'Eclipse.	97
Figure 32. Fenêtre d'accès à l'application	97
Figure 33. Interface principale de notre application	98
Figure 34. . Exemple (explication d'une réaction chimique).	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques des atomes.	26
Tableau 2. Diversité de la fonction des protéines.	38
Tableau 3. Méthodes d'analyses biochimiques.	41
Tableau 4. Liste des méthodes de construction d'ontologies.	70
Tableau5. Liste des concepts	84
Tableau6. Liste des attributs	86
Tableau7. Liste des relations	88

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années les systèmes technologiques du traitement de l'information et de la communication ont connus une vaste transformation. En effet, le déploiement de l'Internet, des télécommunications et une vague croissante de fusions notamment entre les sociétés d'informatique, de médias et de télécommunications évoluent toutes vers la même objectif à savoir l'émergence de la société de l'information.

Avec l'apparition des Technologie de l'Information et de la Communication, on assiste à une révolution réelle dans le domaine d'apprentissage/enseignement des connaissances appelé les TICE (Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement). Les TICE recouvrent les outils et produits numériques pouvant être utilisés dans le cadre éducatif, et regroupent un ensemble d'outils conçus et utilisés pour produire, traiter, échanger, retrouver et lire des documents numériques pour des raisons d'enseignement et d'apprentissage.

Les TICE permettent aussi d'assurer une formation théorique en ligne par le biais des cours interactifs. Bien que ces environnements de formation favorisent l'atteinte de plusieurs objectifs pédagogiques, la formation pratique (réalisation effective des expériences de laboratoire à travers le réseau) n'est pas encore très répondue. Bien que, dans de plusieurs domaines, notamment en sciences expérimentales, la manipulation pratique est complémentaire et primordiale à tout enseignement théorique.

A côté des concepts de plates-formes d'enseignements à distance et plus généralement les environnements numériques de travail et les universités virtuelles, se développe le concept de laboratoire virtuel (LV).

Les environnements numériques de type laboratoire virtuel pour l'apprentissage sont destinés aux acteurs de la communauté scientifique et plus précisément aux apprenants afin de réaliser et conduire leurs travaux pratiques à distance. Ces derniers qu'on appelle aussi Télé-TP sont définis comme étant une forme d'activité d'apprentissage qui se fait dans un laboratoire et qui permet à un groupe d'apprenants d'expérimenter les notions théoriques appris-en suivant les consignes de l'enseignant.

L'idée de recourir à la numérisation des laboratoires classiques vienne de leurs limites comme les tranches horaires sont limitées dans l'emploi du temps et la séance d'apprentissage peut ne pas avoir lieu dans l'ordre le plus approprié pour certains groupes. En outre, les contraintes des emplois du temps font que, parfois, certaines séances d'apprentissage arrivent avant le cours.

L'objectif visé par le présent travail est de proposer un environnement numérique pour les travaux pratiques. Cet environnement va offrir aux apprenants un espace de travail complet afin d'assurer un bon déroulement des Télé-TP soit d'une façon individuelle ou collaborative en palliant les contraintes ou bien les limites des laboratoires conventionnels. L'enseignant à son tour trouvera son espace qui comprend toutes les fonctionnalités d'assistance et de contrôle des activités de l'apprenant.

Cela a conduit à des initiatives visant à constituer des nouvelles techniques pour l'accès et la gestion de ressources dans le Web. En effet, certaines techniques informatiques traditionnelles sont soutenues par des techniques plus poussées exploitant les possibilités qu'offre le Web, et sa nouvelle génération, le Web sémantique, qui apparaît comme une technologie prometteuse pour l'implémentation du e-learning, et pour résoudre les problèmes d'accès et de gestions de ressources.

Le Web sémantique offre une base sémantique pour la communication et l'interaction. Un des atouts majeurs du Web sémantique (à savoir qu'il fournit une compréhension partagée) est qu'il est basé sur les ontologies qui en constituent l'épine dorsale.

Afin de représenter l'information sur le Web sémantique et de la rendre simultanément interopérable aussi bien syntaxiquement que sémantiquement à travers les applications, il est nécessaire d'utiliser des langages spécifiques. Certains d'entre eux sont dits de « haut niveau », d'autres de « bas niveau », mais la plupart d'entre eux sont basés sur les caractéristiques techniques de XML (eXtensible Markup Language), XML Schemas, RDF (Resource Definition Framework), RDF Schemas ou OWL (Ontology Web Language), ces cinq langages étant développés sous les auspices du W3C et utilisant la syntaxe XML.

Il ne suffit pas cependant de mettre en contact les apprenants avec des ressources pour que l'apprentissage ait lieu. Un travail d'ingénierie pédagogique est généralement nécessaire pour cela.

Pour que l'apprenant puisse utiliser les nombreuses ressources mises à sa disposition avec efficacité, il faut satisfaire deux exigences à priori antinomiques, à savoir celle qui vise à lui accorder une certaine liberté de choix, et celle qui lui évite de se disperser en égard à ses connaissances du moment.

Pour cela, la création d'une plate-forme qui assiste son processus d'apprentissage ou formation paraît comme une solution pratique et efficace afin de lui éviter les problèmes de surinformation et de désorientation posés par la grande masse d'informations disponibles sur le Web.

Dans cette introduction, nous expliquons dans la section motivations les éléments de problématique et les motivations sur lesquelles nous sommes basées. Puis, nous décrivons dans la partie contributions les objectifs et l'approche méthodologique adoptée. Nous terminons cette introduction générale par la présentation de l'organisation du document.

Notre contribution se résume en :

La conception et la formalisation d'une ontologie pour les manipulations chimiques qui sont considérés comme une partie importante et contribution marquante dans la réalisation d'un environnement de type laboratoire virtuel sur le web pour l'expérimentation à distance.

Organisation du mémoire

Le mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une chronologie des EIAH ainsi un aperçu sur les modes de formations existants : Ensuite un panorama des TPs, les Télé-TPs et leurs environnements, les avantages, les limites, et les caractéristiques TP, les laboratoires traditionnels, les Télé-TPs et les laboratoires virtuels.

Le deuxième chapitre de ce travail est en deux parties où nous avons fait une vue panoramique de notre domaine d'étude la chimie, en deuxième partie nous avons présenté l'enseignement de la chimie, ses objectifs et les apports des nouvelles technologies.

Le troisième chapitre présente une introduction sur le web sémantique et les ontologies et leurs apports au processus d'apprentissage et enseignement de la chimie, puis on termine ce mémoire par un dernier chapitre, la démarche suivie pour la conception et l'implémentation et l'évaluation de notre système, ainsi les résultats obtenus et les perspectives.

MOTIVATIONS

Notre travail s'appuie initialement sur les limitations que présente l'apprentissage classique. Les tranches horaires sont limitées dans l'emploi du temps et la séance des travaux pratiques qui peut ne pas avoir parfois lieu dans l'ordre le plus approprié pour certains groupes.

De plus, les contraintes des emplois du temps font que, parfois, certaines séances d'apprentissage arrivent avant le cours. Dans ce cas, le bon sens voudrait que ces séances soient pédagogiquement reconstruites. Pour la documentation, dans le pire des cas, le sujet est découvert en début de séance. Même distribué avant la séance, il est rarement lu avant par les apprenants. Les premières alternatives aux travaux de laboratoire classiques sont les laboratoires virtuels. Ces derniers ont certainement un nombre d'avantages significatifs tels que :

- ✧ La possibilité de faire des expériences irréalisables concrètement pour des raisons divers (coûts trop élevé, durée d'expérimentation excessive, habileté des apprenants insuffisante, etc.).
- ✧ Les expérimentations peuvent être simplifiées, les opérations à effectuer sont en tous cas plus faciles et plus rapides que dans un travail pratique concret dans des laboratoires conventionnels.
- ✧ Ni le matériel expérimental, ni l'expérimentateur lui-même ne courent des risques en cas de fausse manœuvre.
- ✧ La machine peut guider l'apprenant et mémoriser le travail accompli.
- ✧ Si la simulation est suffisamment complexe, l'apprenant dispose d'une liberté d'investigation qui ne lui est que très rarement octroyée au cours de travaux pratiques concrets. Il peut décider lui-même sa stratégie expérimentale, procéder par tâtonnements, recommencer un grand nombre de fois des tentatives similaires.
- ✧ L'ordinateur lui permet en effet de se tromper sans danger, et sans autre pénalisation qu'une minuscule perte de temps.
- ✧ La création d'un mode actif d'apprentissage qui améliore ainsi le rendement des apprenants.

Ces motivations ont inspiré le travail de ce mémoire, dont le but est la modélisation d'une plateforme pour les TPs à base de services offerts par l'ingénierie ontologique.

Notre travail donc, propose une solution afin d'améliorer la qualité d'apprentissage.

**CHAPITRE 01 : ETAT DE L'ART SUR LES
TRAVAUX PRATIQUE, TELE-TP ET
LABORATOIRE VIRTUEL.**

CHAPITRE 01 : ETAT DE L'ART SUR LES TRAVAUX PRATIQUE, TELE-TP ET LABORATOIRE VIRTUEL.

1.1 Introduction

Le développement de la technologie informatique ces dernières années et la popularité croissante et permanente d'utilisation internet ont eu un impact très important sur le processus d'enseignement et apprentissage. Cette évolution technologique offre de nouveaux outils pour toutes les disciplines. Ces outils facilitent les techniques d'enseignement et de formation à savoir les simulations, les démonstrations, illustrations et la communication. Actuellement, l'apprentissage par Internet est devenu très important dans le processus d'enseignement.

Ce chapitre est consacré à la définition du contexte général de notre travail : les laboratoires virtuels pour les travaux pratiques. Mais avant d'entamer ces derniers, ils seront d'abord remis dans un contexte plus général de ces nouvelles technologies.

La première partie du présent chapitre est dédiée à la présentation de la chronologie des EIAH ainsi à la définition des concepts concernant quelques modes de formation afin de situer notre recherche vis-à-vis ces modes.

1.2 De l'Enseignement Assisté par l'Ordinateurs aux Environnement Intelligent d'Apprentissage Humain

L'évolution technologique des ordinateurs et leur utilisation pour des raisons pédagogiques s'est concrétisée pour la première fois au début des années 60. Il s'agit de l'apparition du terme EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur). Par conséquent, dans les années 70, les chercheurs en Intelligence Artificielle reprennent la problématique de l'EAO qui a abouti à l'EIAO (Enseignement intelligemment Assisté par Ordinateur).

Avec le développement des systèmes à base de connaissances en Intelligence Artificielle, les systèmes tutoriels intelligents sont apparus dans les années 80-90. Nombreux travaux dans cette catégorie, à titre d'exemple, nous citons TUTORIN (Prévôt, 1992). A la fin des années 80 comme le précise (Bruillard, Delozanne, leroux, Delannoy, Dubourg, Jacoboni, Lehuen, Luzzati, Teutsch, 2000), le même terme EIAO prenait un autre sens : Environnement Interactif d'Apprentissage par Ordinateur, soulignant l'importance fondamentale de l'interactivité des systèmes. Actuellement, le sigle EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain) a pris la place des termes précédents.

Une définition pour décrire un EIAH est celle de (tchounikine, Baker, Balacheff, Baron, Derycke, Guin, Nicaud, Rabardel, 2004) : «un EIAH est environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire, la construction de connaissances chez un apprenant. Ce type d'environnement mobilise des agents humains (élève, enseignant, tuteur) et

artificiels (agents informatiques, qui peuvent eux aussi tenir différents rôles) et leur offrent des situations d'interaction, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées), ici encore locales ou distribuées ».

2.2.1 Les modes de formation

Depuis plus d'un siècle, la FAD (Formation A Distance) et la FOAD (Formation Ouverte et A Distance) sont apparus dans le processus d'enseignement/apprentissage, grâce à l'apparition des TIC et l'évolution d'Internet ont permis la naissance de nouvelles formes de formation : l'e-formation et la téléformation. Nous allons préciser ces terminologies afin de situer nos recherches vis-à-vis de ces modes.

2.2.2 Formation à distance (FAD) et l'Enseignement à distance (EAD)

C'est une sorte de formation où l'apprentissage est individualisé et l'accès à des ressources et compétences locales à distance, elle ne nécessite pas l'existence en permanence du formateur.

L'AFNOR a défini la FAD comme étant : « un système de formation conçu pour permettre à des individus de se former sans se déplacer sur le lieu de formation et sans la présence physique d'un formateur. La formation à distance recouvre plusieurs modalités (cours par correspondance, e-Learning) et est incluse dans le concept plus général de formation ouverte et à distance ».

D'après (Ben Mohamed, 2007), la FAD : « est un sous ensemble de la FOAD. Elle peut être simplement définie par toute situation éducative dans laquelle les processus d'apprentissage et/ou d'enseignement sont faits hors de la situation présentielle classique entre les différents acteurs ».

La FAD couvre l'ensemble des dispositifs techniques et des modèles d'organisation qui ont pour but de fournir un enseignement ou un apprentissage à des individus qui sont distants de l'organisme de formation prestataire du service.

2.2.3 Enseignement assisté par ordinateur (EAO)

L'intégration de l'outil informatique (ordinateur) dans le processus d'enseignement a donné naissance à l'EAO, qui désigne, l'ensemble des techniques et des méthodes d'utilisation de systèmes informatiques comme outils pédagogiques intégrés au contexte éducatif.

L'EAO est un enseignement suivi ou un apprentissage réalisé sans présence de l'enseignant. C'est une situation éducative dans laquelle la transmission des connaissances et les activités d'apprentissage se situent en dehors de la relation directe face à face (présentiel) entre l'enseignant et l'enseigné (apprenant).

L'UNESCO le considère comme : « un mode d'enseignement, dispensé par une institution, qui n'implique pas la présence physique du maître chargé de le donner à l'endroit où il est reçu, ou dans lequel le maître n'est présent qu'à certains moments ou pour des tâches spécifiques. Les

communications enseignants-enseignés se font principalement par le recours à la correspondance, aux imprimés, aux divers médias audiovisuels, à l'informatique, à certains regroupements ».

2.2.4 Formation ouverte à distance (FOAD)

La FOAD est un élargissement de l'apprentissage à distance, en offrant à l'apprenant une grande liberté de choix non seulement quant aux lieux, rythme et durée d'apprentissage mais également quant aux stratégies d'apprentissage mises en jeu, voire quant au contenu des cours étudiés.

L'UNESCO caractérise la FAOD : « par un dispositif de formation fondé sur une prise en compte des besoins des apprenants, articulant les contenus de formation à des services variés (tutorat, forum, exercices ou simulation...), les libérant des contraintes de lieux et de moments. La FOAD peut être ainsi partiellement ou intégralement à distance. »

La formation à distance peut être **synchrone** ; où l'apprenant est en contact simultané avec un formateur et éventuellement avec d'autres apprenants composant ensemble une classe virtuelle. Ce mode met en œuvre des technologies de transmission d'images (plus au moins animées) et de son, permettant aux différents participants d'échanger des informations (chat, système de visioconférence, partage d'application, tableau blanc partagé, etc.).

Elle est dite **asynchrone** lorsque l'apprenant n'a pas de contact simultané avec son formateur ni avec les membres d'une classe virtuelle, ou en tout cas lorsque ces temps de contact ne constituent pas la majeure partie de la formation. Dans un système asynchrone, l'apprenant se forme bel et bien sans formateur et uniquement par le biais d'un contenu pédagogique disponible sur une ressource informatique distante et plus au moins interactive.

2.2.5 La téléformation et E-Learning

La téléformation est considérée comme un sous-ensemble de la FAD ; elle s'appuie sur l'utilisation des TICE via Internet, Intranet ou Extranet. Ce mode de formation permet de fournir un enseignement/apprentissage à tout individu ou groupe d'individus distants de l'organisme prestataire du service de formation selon des modalités souples adaptées au mieux aux possibilités de chacun des individus en formation (Mbala-Hikolo, 2003).

Le e-Learning ou la formation en ligne est le nom utilisé pour évoquer la rencontre de la formation et des technologies d'Internet. Le e-learning est une FOAD qui s'appuie sur l'utilisation d'Internet et les TICE Il se définit plus précisément comme la création, le déploiement et la gestion d'action de formation via un réseau, qu'il s'agisse d'Internet, de l'Intranet d'une entreprise ou d'un Extranet. Par le réseau, les apprenants ont accès aux ressources pédagogiques et à d'autres outils, comme l'email et les chats. Ce type de formation est également appelé Web-Based Training.

2.2.6 Plate-forme de e-Learning

Une plate-forme de formation (ouverte) à distance (système de gestion de l'apprentissage) est un système informatique qui permet l'intégration et le suivi de l'ensemble des constituants du dispositif de formation à distance. Elle est hébergée sur des serveurs. Elle permet aussi de gérer les inscriptions et le suivi des apprenants, c'est l'outil favorisant la rencontre de tous les acteurs de la formation.

2.2.7 Activité pédagogique (ou activité d'apprentissage)

L'activité pédagogique désigne l'unité élémentaire d'un module (étude, TP, conférence, atelier, exercice, recherche d'information, etc.). Ce terme indique la nécessité de centrer la conception et la réalisation de ces unités sur l'apprenant. Elle peut s'appuyer ou non sur des documents pédagogiques (livre, Cd-rom, intervention d'expert, atelier, etc.).

Elle est définie par un ensemble de paramètres tels que « objectif pédagogique, lieu et temps de travail de l'apprenant, documents et accompagnements associés, technologies mises en œuvre ». La lecture, l'observation, l'analyse, la conception, la résolution d'exercice et de problème, l'évaluation personnelle, sont toutes des activités pédagogiques.

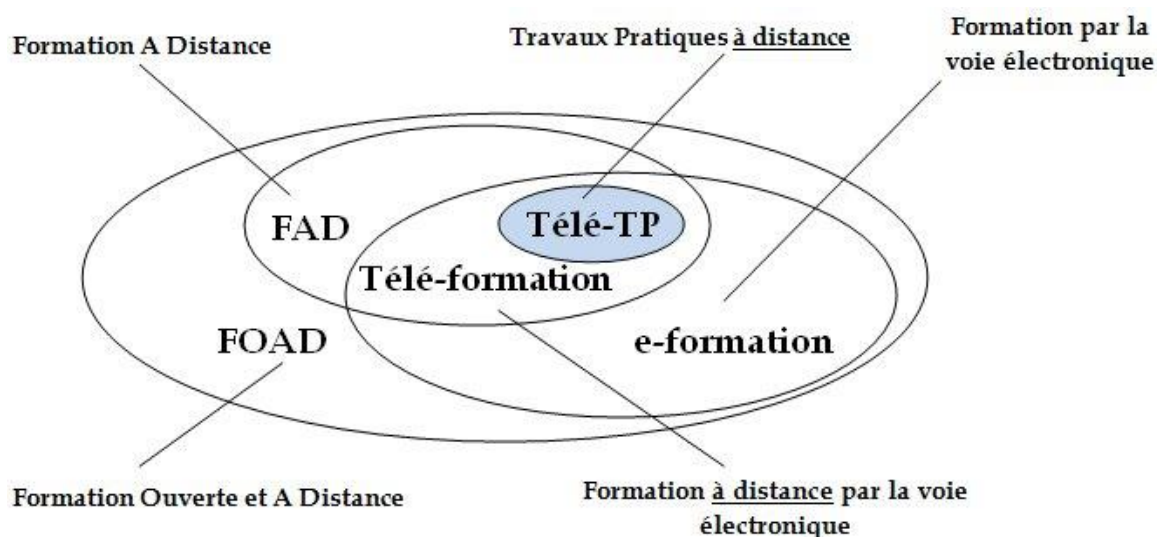


Figure 1. Relation entre les modes de formation

2. Travaux Pratique, Télé-TP et Laboratoire Virtuel

2.1 Introduction

Un environnement virtuel de type laboratoire virtuel pour l'apprentissage des sciences expérimentales est destiné aux acteurs de la communauté scientifique et plus exactement aux apprenants afin de réaliser leurs travaux pratiques à distance. Ces derniers sont définis comme étant une forme d'activité d'apprentissage qui se fait dans un laboratoire et qui permet à un groupe d'apprenants d'expérimenter les principes théoriques appris-en suivant les consignes de l'enseignant.

Un environnement virtuel pour les travaux pratiques va offrir aux apprenants un espace de travail complet afin d'assurer un bon déroulement des Télé-TP soit d'une façon individuelle ou collaborative en remédiant les contraintes ou les limites des laboratoires ordinaires.

La deuxième partie de chapitre est consacré à la présentation et la définition générale du contexte de notre travail : Travaux Pratiques, les Télé-TP, et ses environnements de travail (Les laboratoires virtuels).

Ou nous commençons par la présentation et la définition de TPs : leur définition, avantages et leurs inconvénients, leurs environnements : laboratoires traditionnels, leur définition, leurs caractéristiques, et leurs inconvénients et limites.

Puis la présentation de Télé-TP : leur définition, avantages et inconvénients, leurs environnements : les laboratoires virtuels, leur définition, et leurs caractéristiques.

2.2 Travaux Pratique (TP) :

2.2.1 Définition

Les Travaux Pratiques ou "practical works" en anglais, sont des activités complémentaires à la partie théorique composée de cours et travaux dirigés. Ce type de travaux peut être mené dans un laboratoire. Plusieurs définitions ont été proposées par les auteurs concernant les TP. (Neau, 2003) a défini les travaux pratiques par « l'activité qui consiste, pour les étudiants, à effectuer une ou plusieurs expérimentations, c'est-à-dire des manipulations de dispositifs expérimentaux avec l'objectif de mettre en évidence un phénomène ». Selon (Salmi-Bouabid, 2005), « les travaux pratiques dans l'enseignement sont une forme d'activité d'apprentissage qui se fait dans un laboratoire et qui permet à un groupe d'étudiants d'expérimenter les principes théoriques appris en suivant les consignes de l'enseignant ».

(Singer, Hilton, Schweingruber, 2005) ont proposé cette définition : « Les travaux pratiques donnent l'occasion pour les étudiants d'interagir directement avec un dispositif expérimental (ou avec des données issues d'un dispositif expérimental), utilisant des outils, des techniques de collecte de données, des modèles et des théories scientifiques».

De qui que ce précède les travaux pratiques sont défini par : « l'activité qui consiste, pour les étudiants, à effectuer une ou plusieurs expérimentations, c'est-à-dire des manipulations de dispositifs expérimentaux avec l'objectif de mettre en évidence un phénomène ».

Les travaux pratique qui sont basés et dépend aux laboratoires comme les laboratoires de chimie et celui de biologie, etc. On utilise le terme de travaux pratiques et non de travaux de laboratoires.

On appelle "objet de TP ", un objet utilisé dans un travail pratique, cet objet peut être un objet réel ou virtuel, ou un mélange de réel et virtuel (hybride).

2.2.2 L'informatique et Les travaux pratiques

Il est préférable et recommandé d'utiliser l'informatique dans des travaux pratiques à cause de la puissance de calcul et la capacité élevée de stockage des données et à cause de sa diversité d'usages, soit par son utilisation comme un outil de calcul, de traitement de données, de support multimédia, ..., ou même comme un assistant à l'expérimentation.

2.2.3 Avantages des Travaux Pratiques :

- ↳ Fournir des illustrations et démonstrations des principes enseignés et donc une meilleure assimilation des apprenants.
- ↳ Motiver les étudiants et focaliser les interactions entre étudiants et entre étudiant-formateurs.
- ↳ Développer des compétences pratiques considérées comme importantes d'un point de vue professionnel.
- ↳ Développement des compétences du travail collaboratif en équipe.
- ↳ Introduire les étudiants dans la communauté de pratique des ingénieurs et des scientifiques.
- ↳ Donner un contexte pour l'enseignement de l'analyse de données.

2.3 Les Laboratoires Traditionnels :

2.3.1 Définition

Selon le dictionnaire Larousse « Un laboratoire (réel) se définit comme un Local équipé, disposé pour faire des recherches scientifiques, des analyses biologiques, des travaux photographiques, des essais industriels, etc. ».

On trouve, parmi les termes équivalents qui englobent le concept de laboratoire traditionnel, ceux de « laboratoire conventionnel », « laboratoire réel » et « laboratoire classique ».

Un laboratoire traditionnel désigne un endroit physique qui accueille les utilisateurs tout en leur permettant de réaliser leurs tâches en se servant ou non d'équipements. Le lieu désigné peut être une salle comme le cas du Chimie, Physique, Automatique, Biochimie, etc. ou un environnement naturel tel que dans l'Agronomie ou encore biologie végétale. Les expériences réalisées sont conduites en mode présentiel animé par un formateur.

Dans un laboratoire traditionnel la présence de l'apprenant est nécessaire dans un endroit physique, ces laboratoires permette à l'apprenant de réaliser ses tâche en servant des outils concrets.

Un laboratoire traditionnel design une salle ou un environnement naturel.

2.3.2 Caractéristiques

- ↳ La réalisation du travail et l'édition d'un compte rendu par la collaboration entre les apprenants d'un même groupe.
- ↳ L'évaluation basée essentiellement sur le compte rendu.
- ↳ La concrète de l'apprentissage et la collaboration.
- ↳ Beaucoup d'essais présentés comme étant des évaluations estimées.

↳ Le travail s'effectue par groupe (binôme ou trinôme) ; chaque groupe remet un compte-rendu écrit à la fin de la séance de TP.

↳ L'évaluation porte exclusivement sur ce compte-rendu et essentiellement sur des

↳ valeurs numériques ou des graphes qualitatifs.

↳ Le degré d'interaction est important grâce à la collaboration entre apprenant/apprenant, apprenant/tuteur et apprenant/instrument. Les deux premières interactions, l'apprenant est loin d'être isolé socialement (pas de phénomène d'isolement).

↳ Une prise d'initiative chez l'apprenant ; l'apprenant est toujours motivé.

↳ L'autonomie : l'apprenant pourra réaliser les étapes du travail pratique sans aide extérieure.

↳ Néanmoins, la réalisation des travaux pratiques dans un environnement classique descelle les problèmes suivants :

↳ La majorité d'universités n'ont pas les moyens pour acheter plusieurs exemplaires sur un même instrument pour faire des essais car il est très fragile comme très coûteux.

↳ Les apprenants doivent prendre des rendez-vous pour y avoir un accès expérimental sur ces instruments.

↳ Emplacements physiques inadéquats pour la plupart des participants (apprenants debout, etc.).

↳ Démonstration unique, donc difficulté de rejoindre tous les individus de groupe.

↳ Essai unique, donc expérimentation sur un seul cas (paramètres, conditions aux limites, matériaux, etc.).

↳ Les manipulations des utilisateurs sont presque illimitées et les erreurs rarement signalées.

2.3.3 Les inconvénients et Limites

Les laboratoires traditionnels ont des inconvénients comme ils ont des caractéristiques, on cite de leurs inconvénients :

↳ La plupart des universités n'ont pas les moyens nécessaires.

↳ Nécessité de prendre des rendez-vous pour l'accès aux instruments.

↳ L'inapproprié de l'emplacement physique pour les apprenants.

↳ Essai unique, donc expérimentation sur un seul cas (paramètres, conditions aux limites, matériaux,...etc.).

L'autre catégorie des laboratoires est celle d'E-Laboratoire : Laboratoire virtuel et Laboratoire à distance ce que on va le présenté en ce qui suit.

2.4 Les Travaux Pratiques à distance (Télé-TP) :

2.4.1 Définition

Le terme Télé-TP désigne les travaux pratiques à distance. La distance étant élément central qui implique la dispersion géographique et/ou temporelle des enseignants/tuteurs, apprenants et les instruments de laboratoire.

Le terme Télé-TP désigne les travaux pratiques à distance dont la distance implique la diversité géographique ou temporelle des acteurs (humains ou matériels), à noter que le terme e-TP ne désigne pas forcément un travail pratique à distance, dont le « e » désigne « électronique ».

2.4.2 Les avantages des Télé-TPs

L'apparition des Télé-TP a permis d'entourer les problèmes rencontrés dans les TP présentiels sur plusieurs plans :

➤ **Sur le plan économique :**

Le partage et la Facilité d'accès aux instruments et d'équipements lourds et coûteux entre institutions n'importe quand et n'importe où.

➤ **Sur le plan pédagogique :**

Offrir une accessibilité aux apprenants qu'ils ne peuvent pas accéder aux matériels lourds réellement.

Agrandir la surface des utilisateurs (n'implique pas utilisateur origine), ils peuvent être des étudiants du lycée, de l'université, et au grand public aussi...etc.

2.4.3 Les inconvénients et les limites d'un Télé-TP :

Comme nous savons que les Télé-TPs ont des avantages, ils souffrent de problèmes et difficultés, nous citons quelques-uns de ces problèmes :

- On ne peut pas utiliser les techniques plus avancées, on peut agir le système à travers le clavier et la souris et sous outils seulement.
- Y a des cas dont la vision directe de l'objet est trop nécessaire pour éviter des problèmes sérieux, on ne peut même pas toucher les objets qu'ils nécessitent pour une observation plus précise et réelle.
- Dans le cas de la liaison directe du système informatique est non sécurisé contre les défaillances de données, et l'accessibilité aux systèmes, un pirate peut laisser des traces importantes sur le système. En revanche il peut faire des opérations très dangereuses au moment d'utiliser le matériel du système, la solution proposée est de suivre et vérifier l'état du système, matériels, et les plus récentes opérations, et les supprimer s'ils sont dangereuses.

2.4.4 Typologie de situation

Par opposition aux TP en présentiel, nous distinguons trois formes de Télé-TP. Ces trois formes sont :

Des Télé-TP basés sur un système virtuel (système informatique), ces systèmes sont nommés «laboratoires virtuelles ». Notre travail sera basé sur ce type.

Des Télé-TPs basés sur la manipulation d'un système physique, ces systèmes sont nommés «les laboratoires à distance ». Ce type reflète bien cette réalité.

Des Télé-TPs basés sur un système hybride (couple d'un système virtuel et un système réel), le système réel doit coupler à ou intégré dans un système virtuel.

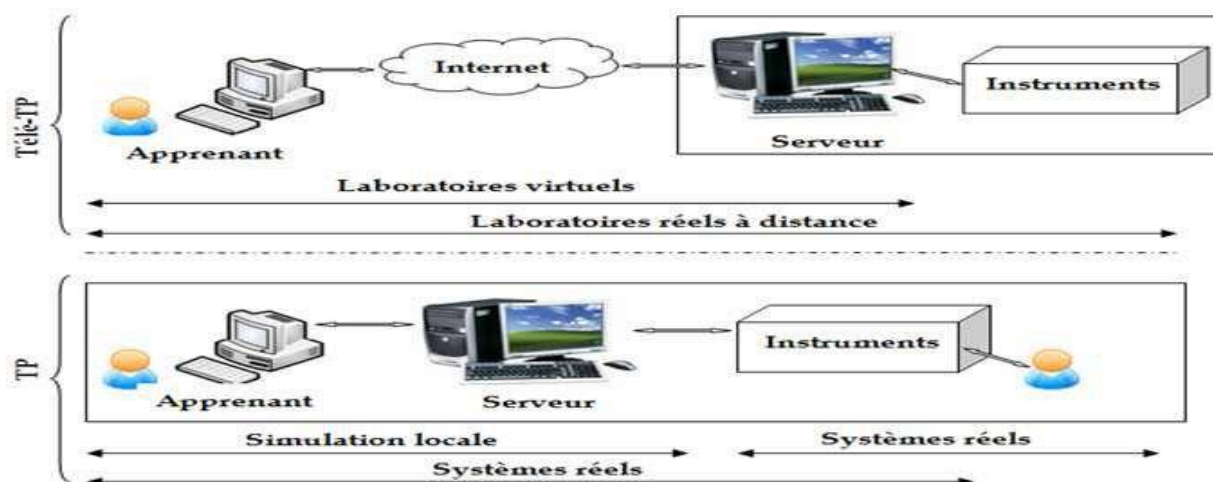


Figure 2. Les formes de TP et Télé- TP.

2.5 Laboratoire virtuel

2.5.1 Définition

Dans la littérature on trouve plusieurs définitions des laboratoires virtuels. Un laboratoire virtuel est défini comme selon (James, 1999) : « un espace de travail électronique pour la collaboration à distance et l'expérimentation dans la recherche ou dans d'autres activités créatives, en vue de générer et de diffuser des résultats au moyen de technologies partagées de l'information et de la communication ». (Alexiou, Bouras, 2004) définissent les laboratoires virtuels comme étant des « environnements informatiques qui simulent les expériences qui peuvent avoir lieu dans un laboratoire réel en utilisant la technologie de la réalité virtuelle ».

D'après ces définitions, nous proposons la nôtre : « Un laboratoire virtuel est un espace de travail pour simuler les laboratoires réels (traditionnels) sur le monde virtuel en utilisant les moyens des nouvelles technologies. Le travail sur les laboratoires virtuels est collaboré à distance pour faire des expérimentations sur les recherches diffusées ou les activités créatives pour voir des résultats générés en utilisant les technologies partagés de l'information et de la communication ».

Un laboratoire virtuel est dérivé d'un laboratoire réel, malgré ça, il n'est pas un concourant ou bien substitut pour lui.

Cette extension de laboratoire virtuel (laboratoires virtuels) a ouvert les portes pour les réaliser les tâches qu'on ne peut pas les réaliser entièrement dans les laboratoires réels (par exemple : problème d'argent).

Un TP dans un laboratoire virtuel est nommé : un Télé-TP, la personne qui apprendi l'information est nommée : Apprenant(e).

2.5.2 Caractéristiques d'un laboratoire virtuel

↳ Les apprenants jouissent en utilisant l'ordinateur : L'idée d'utiliser un ordinateur pour l'apprentissage peut laisser l'apprenant aimer d'apprendre.

↳ Plus d'engagement : Les apprenants engagent plus avec les sujets à apprendre, juste par des cliques.

↳ Des configurations minimales en comparant avec les laboratoires réels : Dans un laboratoire traditionnel, on besoins de transporter pour configurer les appareils, l'une après l'autre, par contre, par les laboratoires virtuels on peut configurer tout ce qui ce passe à distance d'une seule place en utilisant un ordinateur.

↳ Les apprenants peuvent répéter les expérimentations pour plus de compréhension : Chaque apprenant a son propre espace du travail, il peut l'utiliser pour répéter les expérimentations sans déranger les autres pour un meilleur apprentissage.

↳ A cause de l'utilisation des simulateurs logiciels en utilisant les laboratoires virtuels, on économise de l'argent, les appareils couteux pour l'expérimentation.

↳ L'utilisation direct des appareils ou des produits est danger sans la présence d'un expert dans le Domaine dans laboratoire réel, par contre dans les laboratoires virtuels, on peut expérimenter qu'est qu'on veut à expérimenter, quel que soit l'expérimentation, le raisons qu'on a pour faire ça est : c'est juste des simulations.

↳ Combler l'absence des étudiants par la rémunération domicile.

↳ Économiser le temps : Plusieurs apprenants peut réaliser un TP, rédiger un rapport, diffuser des informations au même temps.

↳ Les laboratoires réels offrent des nouvelles opportunités d'éductions aux apprenants.

↳ Les laboratoires en ligne permettent aux étudiants à expérimenter plus que l'expérimentation dans un laboratoire réel, à cause des contraintes du temps et sureté, les étudiants ne peuvent pas obligatoirement libre à expérimenter sur les produits chimiques réels.

2.6 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation et la définition de notre contexte générale d'étude. Pour ce faire, nous avons eu dressé une chronologie des EIAH ainsi un aperçu sur les modes de formations existants : Ensuite un panorama des TPs, les Télé-TPs et leurs environnements (laboratoires traditionnels, laboratoires virtuels respectivement), les avantages, les limites, et les caractéristiques.

Le chapitre suivant on entamera notre domaine d'application, la chimie, l'expérience, et les modes d'enseignement.

**CHAPITRE 2 : LA CHIMIE NOTIONS
FONDAMENTALES, MODES D'ENSEIGNEMENT ET
APPORT DES TICS.**

CHAPITRE 2 : LA CHIMIE NOTIONS FONDAMENTALES, MODES D'ENSEIGNEMENT ET APPORT DES TICS.

PARTIE 01 : LA CHIMIE, NOTIONS FONDAMENTALES

2.1.1 La Chimie, introduction et définition :

La chimie est l'une des quatre sciences naturelles, est une science qui a pour objet d'étude de la matière, les substances, leurs structures et les réactions qui les transforment (figure 1). Dans cette optique le chimiste effectue des expériences dans lesquelles il analyse les produits obtenus au cours de réactions.

Par ces expériences, il découvre le comportement de la matière qu'il cherchera, ensuite à expliquer et à comprendre les résultats, la chimie est divisée principalement en trois branches présentant chacune un aspect théorique et un aspect expérimental :

➤ **La chimie générale** (Mahdjoub, 2009) : Etudie les composés et les phénomènes chimiques indépendamment de la nature de ces composés. Elle cherche les principes généraux qui régissent les propriétés et les phénomènes. Elle comporte deux grandes parties :

↳ La chimie quantique, qui traite de la structure et des propriétés microscopiques des objets chimiques (atomes et molécules), et qui regroupe l'atomistique, la chimie moléculaire, la chimie nucléaire ou radiochimie et la photochimie. Par chimie moléculaire on désigne le domaine définissant les interactions entre les molécules, les atomes et les particules au sein d'une molécule.

↳ L'étude de la réaction chimique, qui fait appel d'une part, à la thermochimie pour déterminer les équilibres chimiques et d'autre part à la cinétique chimique pour décrire les mécanismes et les vitesses de réactions.

➤ **La chimie descriptive** : a pour but de décrire la totalité des composés chimiques existants et les réactions auxquelles ils peuvent conduire.

➤ **La chimie analytique** : est la branche de la chimie qui a pour but l'identification, la caractérisation et la quantification des substances chimiques ainsi que le développement des méthodes nécessaires à cette analyse. Elle s'intéresse également à la compréhension des phénomènes mis en jeu dans les processus et les techniques d'analyse afin de pouvoir sans cesse les améliorer.

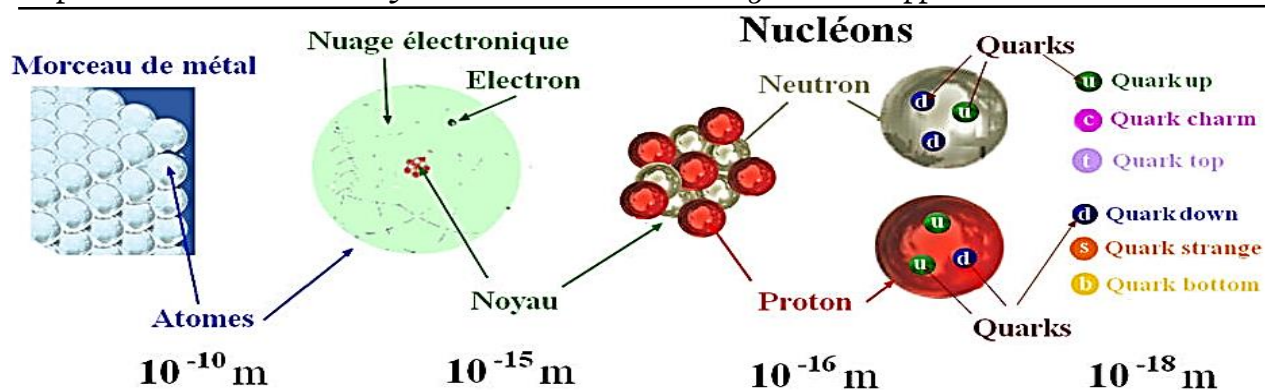


Figure 3. Structure de la matière.

Une description par domaine d'étude de la chimie, peut-être comme suit :

a- **La chimie organique (Mahdjoub 2009)** est une science qui décrit la composition des êtres vivants et les processus chimiques qui s'y produisent. La structure de nombreux composés simples de l'organisme a été élucidée au Dix-neuvième siècle grâce aux recherches de quelque savant dont les travaux avaient un arrière-plan biochimique, la chimie organique s'occupe essentiellement de molécules contenant les éléments carbone, hydrogène, oxygène et azote ; la chimie bio-organique étudie les molécules intervenant dans les organismes vivants (protéines, par exemple).

b- **La chimie minérale** qui décrit les propriétés des substances composés d'éléments autres que le carbone et l'hydrogène.

c- **La biochimie** qui étudie plus précisément les substances et les réactions qui se déroulent dans les organismes vivants, par exemple dans les cellules.

d- **La chimie physique**, à laquelle on rattache parfois la chimie théorique, développe des méthodes d'investigation et essaie de comprendre les phénomènes chimiques du point de vue théorique (thermodynamique, cinétique, par exemple).

e- **La chimie analytique** représente une démarche visant à reconnaître les substances ou les éléments tant de points de vue qualitatifs que quantitatifs. Elle utilise des méthodes physico-chimiques (instrumentales) ou chimiques (organiques ou inorganiques).

2.1.2 Les Concepts de Base

2.1.2.1 La matière :

La matière est constituée de particules élémentaires : les atomes. Actuellement, il y a 114 espèces d'atomes connues. Elles diffèrent par leurs structures et leurs masses.

La matière se trouve sous forme de mélanges (homogène ou hétérogène) de corps purs. Un corps pur est caractérisé par ses propriétés physiques (température de fusion, température d'ébullition, masse volumique, indice de réfraction, etc...) ou chimiques. On distingue deux catégories de corps purs :

- ✧ Corps purs simples constitués d'un seul type d'élément (exemple : O₂, O₃, H₂, Fe, etc...).

↳ Corps purs composés constitués de deux ou plusieurs éléments (exemple : H_2O , FeCl_2 , HCl , H_2SO_4 , etc...).

2.1.2.2 Etats de la matière et méthodes de séparation

La matière existe sous trois formes dans la nature : solide, liquide et gaz. Le froid et la chaleur jouent un rôle très important dans le changement d'état. Le passage de la matière de l'état solide à l'état liquide se fait par fusion, de l'état liquide à l'état gazeux par vaporisation et de l'état solide à l'état gazeux par sublimation. Ces transformations sont illustrées par la figure ci-dessous :

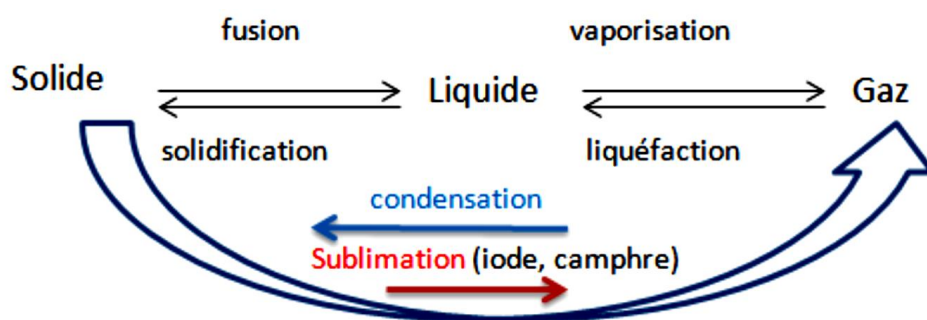


Figure 4. Les états de la matière et ses transformations.

Il existe plusieurs techniques de séparation des constituants d'un mélange en corps purs (distillation, décantation,...) et des constituants de corps purs composés en corps purs simples (électrolyse, radiolyse, etc.). Les procédés utilisés dans ce cas sont de nature chimique. On cite particulièrement :

- ↳ La thermolyse ou pyrolyse qui permet la décomposition d'une substance par la chaleur.
- ↳ La radiolyse qui consiste à décomposer une substance par des radiations lumineuses (UV, visibles ou IR).
- ↳ L'électrolyse qui permet la décomposition d'une substance par l'électricité.

2.1.3. Méthodes de séparation des constituants d'un mélange

L'analyse immédiate permet de séparer les constituants d'un mélange en corps purs. Cette séparation est basée sur les différences des propriétés physiques de ces constituants.

a. Mélanges hétérogènes

- ❖ Si le mélange est constitué de plusieurs solides, on utilise : le tamisage (différence de taille des particules), la lévigation (différence de masse volumique) comme dans le cas de la séparation de l'or et du sable par lavage par un courant d'eau qui entraîne le sable, la dissolution, etc...
- ❖ Si le mélange est constitué de solides et de liquides, on utilise la filtration ou la centrifugation.
- ❖ Si le mélange est constitué de liquides, on utilise la décantation, comme dans le cas du mélange eau-huile.

b. Mélanges homogènes

Dans ce cas, on peut utiliser la distillation fractionnée (différence de température d'ébullition des liquides), la précipitation (cristallisation d'un solide à partir d'une solution), etc...

Exemple : Séparation par précipitation d'un cation en milieu acide à partir d'une solution.

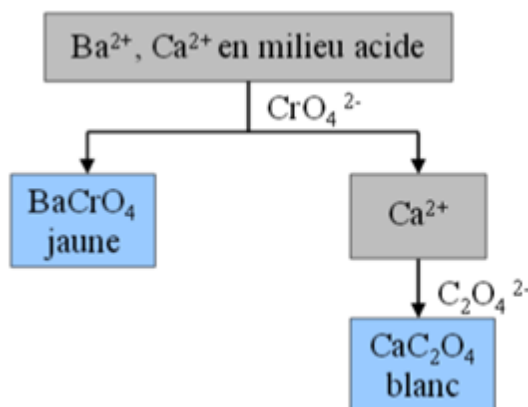


Figure 05 : Séparation par précipitation d'un cation en milieu acide à partir d'une solution.

2.1.3 Atome ou Éléments chimiques

2.1.3.1. Atomes et molécules

a. Atomes

La notion d'atome remonte à 400 ans avant J.C, apparaissant dans les écrits de Démocrite, un philosophe grec. Mais les premières preuves expérimentales de l'existence des atomes ont été rassemblées en 1805 par Dalton :

- Loi des proportions définies.
- Loi de conservation de la masse au cours d'une réaction (Lavoisier « lors d'une réaction chimique, la masse totale des réactifs est égale à la masse totale des produits formés »).

Lavoisier émit son hypothèse atomique, suggérant que la matière est constituée d'atomes et qu'un élément est caractérisé par des atomes de même masse. Lors d'une réaction chimique, les atomes ne sont ni créés, ni détruits ; ils se recombinent. Ses travaux lui permirent d'élaborer une échelle des masses atomiques relatives avec quelques erreurs dues à des mauvaises formulations des composés chimiques, par exemple il considéra que la formule de l'eau était HO conduisant à une masse 2 fois trop petite pour l'oxygène.

- L'atome est une quantité de matière infiniment petite ($d \approx 1 \text{ \AA}$ et $m \approx 10^{-26} \text{ kg}$).

Exemple : C ($d = 1,8 \text{ \AA}$ et $m \approx 2 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$). Cette masse représente la masse atomique du carbone.

- Un élément chimique est une espèce donnée d'atomes. Il est caractérisé par son numéro atomique Z et est désigné par une abréviation appelée symbole.

Exemple : 1H ($Z=1$, symbole H) ; 6C ; 18Ar ; etc...

L'atome est constitué donc d'un noyau (protons + neutrons) et d'électrons. L'élément est défini par son numéro atomique, qui correspond au nombre de protons présents dans le noyau.

-**Noyau** : Le noyau est constitué de nucléons qui peuvent être considérés comme la soudure de protons et de neutrons.

-**Proton** : C'est une particule élémentaire dont la masse est d'environ 1835 fois la masse de l'électron : $1,67.10^{-27}$ kg. Il porte une charge positive opposée à la charge négative de l'électron.

- **Neutron** : C'est une particule élémentaire de masse voisine à celle du proton c'est-à-dire $1,67.10^{-27}$ kg. Il ne porte pas de charge, on dit alors qu'il est neutre.

- **Electrons** : Ce sont des particules chargées négativement. Ils ont tous la même masse qui sont négligeable.

Exemple : le noyau de l'hydrogène est constitué d'un seul proton. Le noyau d'hélium est constitué de 2 protons et 2 neutrons.

❖ Les protons ont une charge positive, alors que le neutron est électriquement neutre.

❖ Autour du noyau atomique se trouve les "électrons". Il s'agit de petites particules "gravitant" autour du noyau.

Les électrons sont de charges négatives, pour compenser la charge positive des protons et ainsi rendre l'atome électriquement neutre. On trouve ainsi dans un atome le même nombre de protons et d'électrons.

Les ions sont en fait des atomes ayant gagné ou perdu des électrons, ils sont ainsi chargés négativement (anions) ou positivement (cations).

La masse de l'atome est concentrée dans une petite région chargée positivement : le noyau central. La figure 6 suivante illustre l'atome dans le modèle de Rutherford.

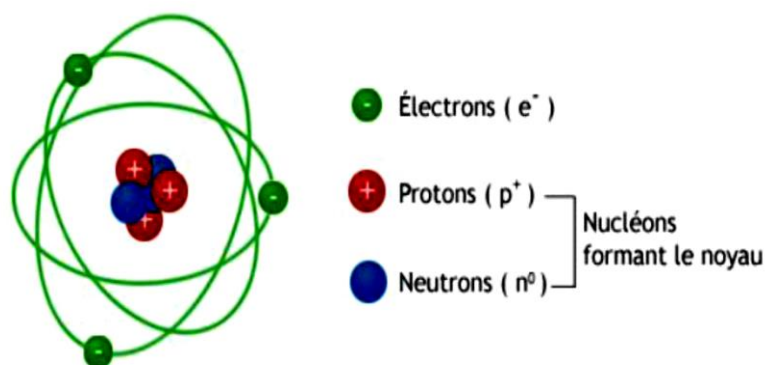


Figure 6. L'atome dans le modèle de Rutherford.

b. Masse atomique

Avant la découverte du spectromètre de masse par Aston en 1927, il était impossible de déterminer la masse d'un atome. Cependant, on savait que l'hydrogène était l'élément le plus léger et donc arbitrairement, on considéra que la masse de H était de l'unité de masse atomique. Les masses des autres éléments étaient déduites notamment de la mesure des masses volumiques des gaz avec

l'hypothèse que des volumes égaux de gaz contiennent à température et pression identiques le même nombre de molécules.

Les masses des atomes sont toutes très petites (entre 10^{-24} et 10^{-26} kg) et donc peu pratiques à utiliser dans le monde macroscopique. La mole (mol) est l'unité que les chimistes utilisent pour exprimer un grand nombre d'atomes.

On définit une mole comme étant le nombre d'atomes qu'il y a dans 12g de carbone 12. Le nombre d'atomes dans une mole est appelé Nombre d'Avogadro ($N_A = 6.023 \times 10^{23}$ atomes).

La masse molaire (MM) est la masse d'une mole d'atomes. L'unité de masse atomique est le 1/12 de la masse d'un atome de carbone 12.

a. Classification des éléments chimiques

Elle correspond à un tableau qui classe les éléments chimiques dans l'ordre croissant de leur numéro atomique (Figure 7).

L'étude de la structure électronique des atomes permet de comprendre de manière plus approfondie la classification périodique des éléments appelée encore classification périodique de Mendeleïev, établie en 1869.

2.1.4 Principe de la classification périodique

Le tableau périodique, reste le moyen le plus important de comparaison entre les divers éléments chimiques. Il facilite la compréhension des groupes d'éléments, leurs propriétés chimiques associées, et leurs structures. De plus, cette classification permet de déterminer les formules des composés et les types de liaison unissant les atomes dans les molécules.

On classe les éléments par numéro atomique Z croissant, chaque ligne commençant par le remplissage de la $n^{\text{ème}}$ couche (sous-couche ns). Les éléments se trouvent alors classés dans un tableau où l'on place dans chaque colonne les éléments ayant même structure externe.

L'organisation de cette classification en lignes appelée (périodes) et en colonnes appelée (groupes).

Tableau périodique des éléments

← nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa)
 ← numéro atomique
 ← symbole chimique
 ← masse atomique relative ou [celle de l'isotope le plus stable]

légende : métaux alcalins, alcalino-terreux, lanthanides, actinides, métaux de transition, métaux pauvres, métalloïdes, non-métaux, halogènes, gaz nobles, primordial, désintégration d'autres éléments, synthétique

Figure 7. Tableau périodique des éléments chimiques.

b. Représentation des atomes : La représentation la plus commode est celle qui mise au point par Gilbert Lewis en 1916 (les structures de Lewis). Dans cette représentation, un atome est représenté par son symbole atomique, et il est entouré par un nombre d'électrons qui forment sa couche périphérique.

c. Valence d'un atome : Elle fixe le nombre d'atomes auxquels cet atome peut se lier. On qualifie chaque atome de monovalent, divalent, trivalent ou tétravalent.

d. Exemples d'atomes : Élément Nom (symbole) Numéro atomique Masse atomique Configuration électronique.

Elément	Nom (symbole)	Numéro atomique	Masse atomique	Configuration électronique
Hydrogène	H	1	1	1
Carbone	C	6	12	2-4
Calcium	Ca	20	40	2-8-8-2
Cuivre	Cu	29	63	2-8-18-1

Tableau 1. Caractéristiques des atomes.

2.1.5 Liaisons chimiques

2.1.5.1 Définitions et caractéristiques

Dans l'univers tous les corps tendent à acquérir un état de stabilité maximale. Les atomes n'en font pas exception : ils acquièrent cette stabilité par formation de liaisons chimiques avec d'autres atomes en donnant des édifices appelés molécules plus stables. L'énergie d'une molécule est inférieure à la somme des énergies des atomes isolés. Les liens qui unissent les atomes portent le nom de liaisons chimiques.

Ces liaisons se forment par l'intermédiaire des électrons de valence. Leur nature dépend essentiellement de l'électronégativité des atomes qui est définie comme la tendance de l'atome à attirer les électrons de la liaison.

On distinguera ainsi :

- **La liaison ionique** : liaison entre atomes d'électronégativités très différentes. Elle associe les métaux aux non-métaux.

- **La liaison covalente** : liaison entre atomes d'électronégativités voisines. Elle relie les atomes de non-métaux.

Par l'intermédiaire des liaisons, les atomes ont généralement tendance à prendre la configuration électronique externe d'un gaz rare (2 ou 8 électrons de valence). Dans la molécule, les liaisons s'établissent de façon à ce que la symétrie de la molécule soit maximale et son énergie minimale.

Par ailleurs, entre les molécules, existent des liaisons plus faibles comme les liaisons de Van der Waals qui assurent la cohésion des liquides et des solides. Il existe un autre type de liaison appelé liaison par pont hydrogène qui peut être intermoléculaire ou intramoléculaire.

La liaison chimique est alors un phénomène qui lie les atomes entre eux en échangeant ou en partageant un ou plusieurs électrons, ou par des forces électrostatiques, c'est une forme d'énergie qui retient les atomes entre eux pour former des molécules. Former une liaison exige de l'énergie alors que détruire une liaison libère une certaine quantité d'énergie.

a. Règle de l'octet

Un atome cherche toujours à acquérir la configuration électronique la plus stable, qui est celle du gaz rare le plus proche dans la classification périodique. Pour acquérir une structure électronique en octet, les atomes peuvent soit :

- Gagner ou perdre des électrons pour former des ions.
- Former des liaisons covalentes par la mise en commun d'une ou plusieurs paires d'électrons.

Remarque : les paires d'électrons sont appelées doublets de liaisons, on les représente par un tiret entre les deux atomes.

Les gaz rares présentent une grande inertie chimique, ils ne donnent pratiquement aucune réaction. On les appelle parfois gaz nobles car ils refusent de se mêler aux autres éléments dans des composés chimiques. Il s'agit de gaz monoatomiques. Cette grande stabilité est dû à leur configuration électronique qui fait apparaître une couche de valence saturée à 8 électrons.

Un atome ou union qui présente une structure électronique similaire à celle des gaz rares présentera une stabilité particulièrement importante. Les atomes ordinaires vont donc chercher à acquérir cette structure en s^2p^6 afin de devenir plus stable et acquérir la structure électronique du gaz rare le plus proche de lui. Cette règle permet de prévoir facilement l'ion le plus stable des éléments des blocs s et p. Pour les éléments trop éloignés de la structure des gaz cette règle ne s'applique pas aussi simplement.

Exemples :

- Mg peut acquérir la structure du néon en perdant $2e^-$. L'ion le plus stable du magnésium sera donc Mg^{2+} .
- Br peut acquérir la structure du krypton en gagnant $1e^-$. L'ion le plus stable du brome sera donc Br^- .

b. Schéma de Lewis (Mahdjoub 2009)

Lewis, en introduisant la notion de liaison « covalente », propose l'utilisation des schémas pour représenter les atomes, les molécules et leur formation.

On représente uniquement la dernière couche électronique, les électrons de valence qui participent à la formation des liaisons. Ils sont notés sous forme de croix, points ou petits cercles. Un doublet électronique peut être figuré par un trait.

Dans les schémas de Lewis, on essaie de respecter la règle de l'octet, afin que chaque atome soit entouré de 8 électrons. On constatera que ce n'est pas toujours possible, car il y a des molécules dont l'atome central est entouré de 6, 10 ou de 12 électrons.

Selon Lewis, on pourra distinguer des liaisons de covalence formées par mise en commun des électrons provenant des deux partenaires, ou bien des liaisons de covalence « datives », formées par deux électrons appartenant à un seul atome, donneur, associé à un atome possédant une orbitale vide. Il n'y a pas de différence effective réelle entre ces deux types de liaisons. Une fois formées, elles sont identiques.

2.1.5.2 Classification des liaisons chimiques

Selon (Mahdjoub, 2009) une classification simplifiée permet de grouper les liaisons en liaisons fortes existantes dans les molécules, les cristaux ou dans les solides métalliques permettant d'organiser les atomes en structures organisées et nécessitant une énergie importante pour être détruites ($300 - 500 \text{ kJ mol}^{-1}$), et en liaisons faibles, dont la destruction est relativement facile ($20 - 40 \text{ kJ mol}^{-1}$ ou même moins), qui sont expliquées, en général, par des polarités entre des molécules. Des polarités induites peuvent aussi provoquer des interactions très faibles comme les forces de

London qui font partie des forces de van der Waals. De telles forces permettent la liquéfaction ou la solidification de gaz tel que l'hélium ou l'argon.

2.1.5.3 Les liaisons chimiques fortes (Mahdjoub, 2009)

Ces liaisons chimiques sont des forces intramoléculaires qui maintiennent les atomes ensemble dans les molécules et les solides. Ces liaisons peuvent être simples, double ou triples c'est-à-dire que le nombre d'électrons participants (ou contenus dans l'orbitale de liaison) est de deux, quatre ou six. Un nombre pair d'électrons est habituel parce que les électrons appariés ont une énergie inférieure. En fait, des théories plus avancées sur les liaisons montrent que les liens ne sont pas toujours provoqués par un nombre entier d'électrons et, ce, dépendant de la distribution de ceux-ci dans chaque atome concerné dans la liaison. Par exemple, les carbones dans le benzène sont liés l'un à l'autre par environ 1,5 liaison et les deux atomes dans l'oxyde nitrique NO sont connectés par environ 2,5 liaisons. Des liaisons quadruples ne sont pas impossibles mais sont très rares.

Le type de liaison dépend de la différence d'électronégativité et de la distribution des orbitaux possibles dans les atomes liés. Plus que l'électronégativité est importante, plus que l'électron est attiré par un atome particulier et plus que la liaison a un caractère **ionique**. Si l'électronégativité est faible, la liaison est **covalente**.

a. Liaison covalente (Mahdjoub, 2009)

La formation de la liaison covalente se produit par mise en commun des électrons fournis par les atomes qui se lient. Cette liaison correspond au partage d'une paire d'électrons par deux atomes. Elle correspond à des électrons et donc de la matière. La liaison covalente simple est définie comme étant une liaison entre deux atomes par mise en commun de 2 électrons. Chaque atome participant à la liaison apporte un électron célibataire. C'est une liaison forte et dirigée.

Exemple : Dans le cas de la molécule de CCl_4 , $\chi_{\text{C}} = 2,5$; $\chi_{\text{Cl}} = 3$; $\Delta\chi = 0,5$, la liaison est covalente. La (ou les) paire(s) électronique(s) liante(s) appartient (nen) t ainsi au nouvel édifice formé, à la molécule. A la suite de la formation de la liaison, les paires liantes sont soumises à l'attraction des noyaux des atomes de départ.

Une liaison covalente peut se former entre deux atomes identiques ou différents (molécule diatomique homo-nucléaire ou hétéro-nucléaire) ou entre plusieurs atomes.

b. Liaisons ioniques

Elles se forment entre les atomes ayant des électronégativités très différentes. Ce sont des liaisons formées par attraction électrostatique entre ions de signe contraire. Elles sont très fortes.

De vraies liaisons ioniques se forment entre les éléments extrêmes du tableau périodique, notamment entre les métaux alcalins et les halogènes. Par exemple le chlorure de sodium, entre les ions Na^+ et Cl^- .

A signaler que ces structures se rencontrent dans les cristaux ioniques, avec présence des ions dans les réseaux cristallins. Il s'ensuit que la notion de la molécule, en l'acceptation classique du terme, disparaît dans ce cas.

Les cristaux ioniques sont facilement dissous dans l'eau, qui intervient par son action de solvant polaire, ionisant de dissociant.

2.1.5.4 Les liaisons chimiques faibles

Les liaisons faibles sont des liaisons hydrogènes et des liaisons van der Waals (assurant la cohésion des liquides et des solides).

a. Liaisons hydrogène

Une des conséquences de la polarité des liaisons, dont un des atomes est l'hydrogène, est la formation des liaisons ou « ponts » hydrogène. Elles se forment, sans orbitale moléculaire, entre un atome d'hydrogène fortement polarisé positivement (parce qu'il est déjà par covalence à un atome électronégatif : O, N, S.) et le doublé d'un autre atome électronégatif.

b. Liaisons Van der Waals

Toutes les molécules (polaires ou non polaires) interagissent grâce aux forces de Vander Waals qui sont relativement faibles. Elles proviennent du fait que, à un instant donné, les électrons ne sont pas répartis uniformément et il y'en a interaction entre dipôles instantanés et induits. Ces forces augmentent avec la délocalisation des électrons, c'est à dire avec la taille des atomes. Comme exemple citons l'I₂ et Cl₂ deux molécules non polaires, cependant I₂ est solide car les forces intermoléculaires sont plus importantes à cause de la taille de l'atome.

2.1.6 Molécule

Une molécule est une union de deux ou plusieurs atomes liés entre eux par des liaisons covalentes. C'est la plus petite partie d'un composé qui a les mêmes propriétés que le composé (Exemples : H₂O, H₂, HCl, etc...).

2.1.7 Masse molaire moléculaire

Une molécule est caractérisée par sa formule et sa masse molaire moléculaire. C'est la masse d'une mole de molécules. Elle est égale à la somme des masses atomiques des éléments qui la constituent.

Une réaction chimique est en fait un échange d'atomes entre les molécules dans des conditions expérimentales définies. Les molécules peuvent être constituées uniquement de deux atomes (par exemple, le dioxygène est composé de deux atomes d'oxygène) ou de plusieurs millions d'atomes (par exemple, l'ADN), cas d'une macromolécule (exemples de la figure 6).

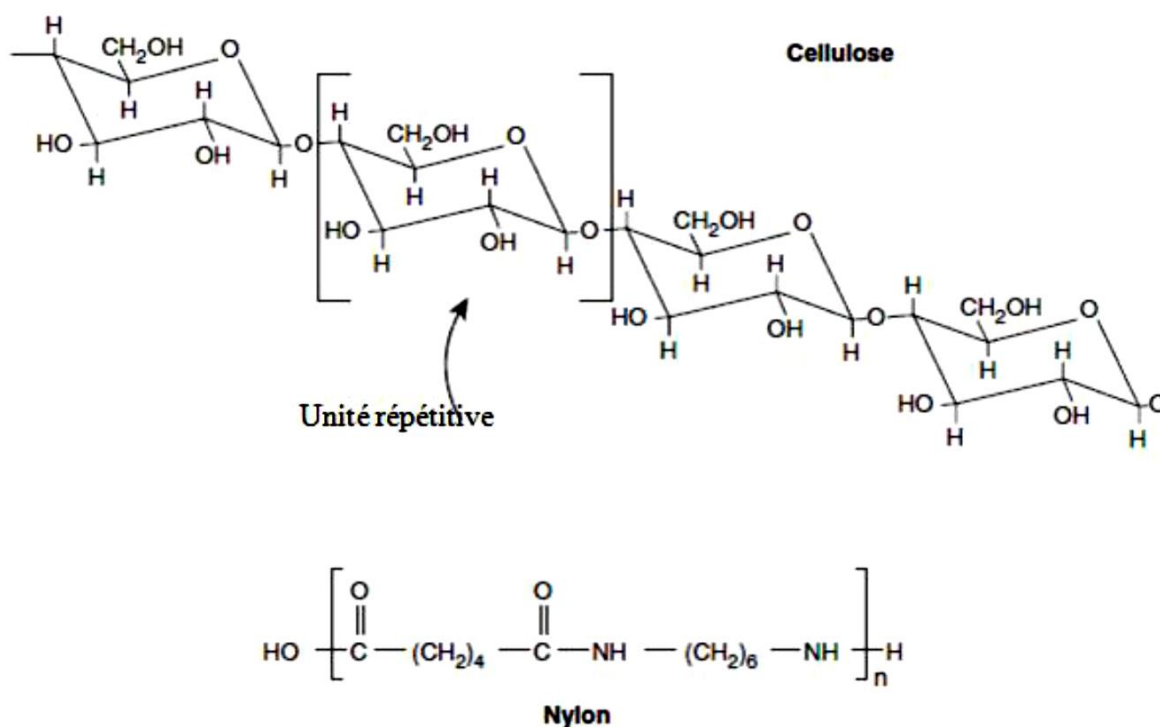


Figure 8. Structure de deux macromolécules.

C'est la plus petite entité d'un corps pur. Elle est constituée d'un ou de plusieurs atomes et qui peut exister à l'état libre. Elle est le résultat de l'établissement de liaisons covalentes entre deux ou plusieurs atomes (Figure 9).

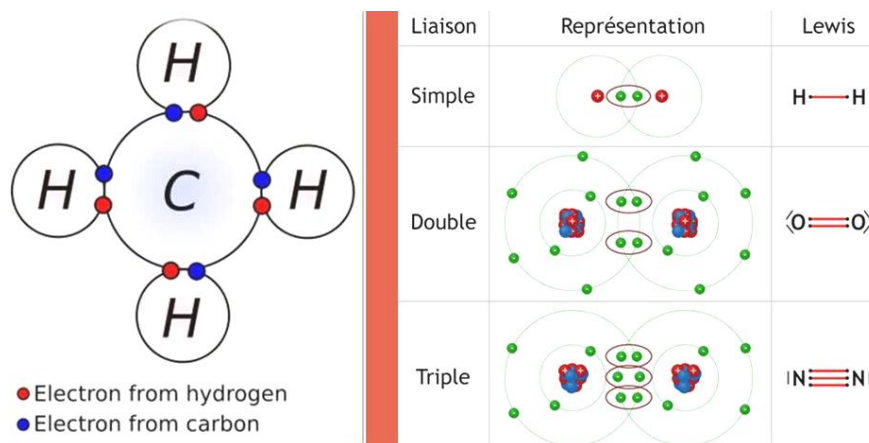


Figure 9. Molécule (Liaison covalente)

2.1.7.1 Compositions massique

La composition massique d'un composé chimique est donnée par :

Exemples

1. Dans l'eau le % massique en oxygène et en hydrogène sont respectivement 88,8 et 11,2
2. Un gaz contient 81,1% de bore et 18,9% d'hydrogène ; sachant que :
 - sa masse molaire est 53,32g/mol
 - $M_B = 10,811 \text{ g/mol}$ et $M_H = 1 \text{ g/mol}$, sa formule moléculaire est B_4H_{10} .

2.1.7.2 Représentation des molécules (Mahdjoub, 2009)

Les molécules peuvent être représentées (Structures de Lewis) en :

❖ **Formule brute** : C'est la représentation la plus simple.

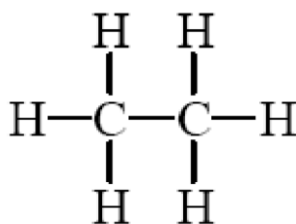
Exemple l'éthane C_2H_6 , l'octane C_8H_{18}

❖ **Formule semi-développée** : Elle donne des informations partielles sur la molécule.

Exemple l'éthane CH_3-CH_3

❖ **Formule développée** : Elle permet de comprendre la construction de la molécule par le modèle de Lewis.

Exemple L'éthane



❖ **Structure spatiale** : Elle montre comment sont disposés les atomes de façon symbolique mais rigoureuse.

❖ **Structures simplifiées** : On y remplace les symboles par des segments qui sont symboliques, les liaisons carbone-carbone.

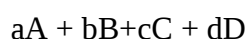
2.1.8 Réaction chimique

2.1.8.1 Définition

Une réaction chimique provoque une modification de la matière. Des réactifs réagissent ensemble pour former des produits de réaction.

Une équation chimique est l'écriture mathématique de la réaction. Les composés sont représentés par leur formule chimique. L'équation donne deux grands types de renseignements : elle indique la nature des réactifs et produits et leurs proportions relatives.

La forme générale d'une équation chimique est :



A et B sont les réactifs, C et D sont les produits, a, b, c, d sont les coefficients stœchiométriques. Cette équation décrit à elle seule le phénomène chimique.

Les formules des réactifs et des produits sont des résultats de l'expérience. Les indices dans les formules des composés ne peuvent donc pas être modifiés pour balancer l'équation. Les coefficients stœchiométriques servent à balancer l'équation. Le nombre de moles de chaque élément doit être conservé dans la réaction. Cela découle de la Loi de Lavoisier.

2.1.8.2 Equations chimiques

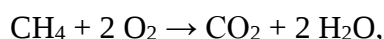
Une équation chimique est un écrit symbolique qui modélise la transformation de molécules et d'atomes lors d'une réaction chimique. Elles contiennent les informations suivantes (Mahdjoub, 2009) :

- ↪ Le type de réactifs consommés et de produits formés
- ↪ La quantité relative de réactifs et de produits
- ↪ La charge électrique des ions
- ↪ L'état physique de chaque espèce (gaz, liquide, solide, solution)
- ↪ Les conditions de réaction (par exemple : température, pression, catalyseurs)
- ↪ Ces deux derniers points sont facultatifs et peuvent être omis.

Elle peut se présenter sous plusieurs formes :

- réactifs $\rightarrow$ produits (réaction chimique irréversible ; forme la plus courante dans les livres de chimie) ; la transformation n'est possible que *dans un seul sens*.
- réactifs $\rightarrow$ produits + énergie (réaction chimique irréversible)
- réactifs $\rightleftharpoons$ produits + énergie (réaction réversible) ; la transformation *directe* est limitée par la transformation *inverse*, simultanée.

Par exemple, la combustion du méthane dans le dioxygène est décrite par :



Alors que la réaction réversible du procédé *Haber* se décrit par :



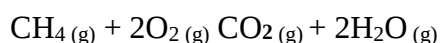
Les équations chimiques sont appelées parfois **équations de réaction** ou **équations-bilans** à ne pas confondre avec les bilans de réactions.

Exemple de bilan de réaction : Méthane + dioxygène $\rightarrow$ dioxyde de carbone + eau

a. Coefficients stœchiométriques (Mahdjoub, 2009)

Les nombres en face de chaque espèce ont une signification très importante, ils indiquent les quantités relatives d'atomes qui réagissent. Le nombre en face de chaque espèce est appelé coefficient stœchiométrique. Dans l'équation ci-dessous, par exemple, une molécule d' H_2 réagit avec une molécule de Cl_2 pour produire deux molécules de HCl (C'est-à-dire une mole d' H_2 et une mole de Cl_2 produisent 2 moles de HCl).

Exemple 1 :

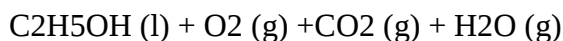


C'est une équation de combustion du méthane (CH_4) en présence d'oxygène (O_2) pour former du dioxyde de carbone et de l'eau (CO_2 et H_2O)

Exemple 2 :

Lorsque l'éthanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ est brûlé en présence d'une quantité suffisante d'oxygène, les produits de la réaction sont toujours du dioxyde de carbone et de l'eau. L'écriture de l'équation chimique doit donc respecter toujours la nature des réactifs et produits. Pour balancer l'équation, on ne pourra utiliser que les coefficients stœchiométriques se trouvant devant les formules.

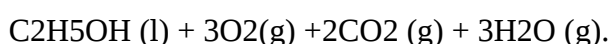
Commençons par écrire la réaction brute :



Nous remarquons que le nombre d'atomes de carbone et d'hydrogène n'est pas conservé dans la réaction. La molécule la plus compliquée est l'éthanol, nous commençons donc par équilibrer les produits qui contiennent les atomes provenant de cette molécule. Comme il y a 2 carbones, nous allons écrire 2 devant le CO_2 , comme il y a 6 hydrogènes dans l'éthanol, nous allons équilibrer par 3 H_2O .

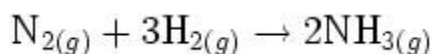
Finalement il reste à balancer le nombre d'atomes d'oxygène en plaçant le coefficient 3 devant O_2 .

L'équation balancée est donc :



b. Equilibrage des équations

Les équations chimiques sont utiles parce qu'elles donnent les quantités relatives des substances qui réagissent dans une réaction chimique. Par exemple, de l'équation chimique de la formation de l'ammoniac (à l'état gazeux), nous pouvons déduire qu'une mole d'azote (à l'état gazeux) se combinera avec trois moles d'hydrogène (à l'état gazeux).



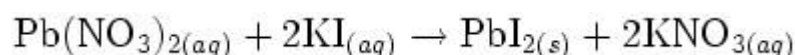
Dans certains cas, cependant, nous ne connaissons pas la quantité relative des produits de la réaction. Heureusement, nous pouvons trouver les coefficients corrects d'une équation (la quantité relative de chaque réactif et de chaque produit) en appliquant la loi de conservation de la matière. Vu que la matière ne peut jamais être ni créée ni détruite, le nombre total de chaque atome d'un côté de l'équation doit être du même total que de l'autre côté. Ce procédé de recherche des coefficients s'appelle **Équilibrer les Équations**.

2.1.8.3 Types de réactions chimiques

Les réactions chimiques peuvent être divisées en classes suivantes (Mahdjoub, 2009) :

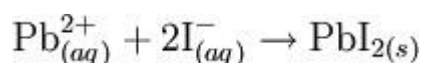
a. Réaction de précipitation

Il y a réaction de précipitation quand une substance ionique se sépare de la solution et forme un solide insoluble (ou peu soluble). Le solide qui se sépare de la solution est appelé précipité. Cela se passe si deux sels solubles (composés ioniques) sont mélangés et forment un insoluble (le précipité). Un exemple est le nitrate de plomb qui mélangé avec de l'iodure de potassium forme un précipité d'iodure de plomb.



Notons que l'iodure de plomb est sous la forme d'un solide. L'équation ci-dessus est écrite sous la forme moléculaire, ce qui n'est pas la meilleure façon de décrire une réaction. Chacun des éléments existe en solution comme ions individuels sans aucune liaison avec aucun autre (comme ils sont liés dans le cristal d'iodure de potassium).

Si vous l'écrivez sous forme d'équation ionique, vous aurez une idée bien meilleure de ce qui se passe réellement.



En solution, il y a des ions plomb et des ions iodure. Vu que l'iodure de plomb est insoluble, il cristallise spontanément et forme un précipité.

b. Réactions acido-base (Mahdjoub, 2009)

En termes simples, une réaction acido-basique ou réaction acide-base est une réaction chimique au cours de laquelle un corps chimique ou entité dite acide réagit avec une entité dite basique et nommée base. Dans le cas des solvants protéique, en particulier les solutions aqueuses, il se produit un transfert d'un ou plusieurs ions H^+ de l'acide vers la base.

Il faut rappeler que la notion de couple acide-base date de 1920, puisqu'elle ne peut apparaître qu'après la définition commune du proton. Elle entérine définitivement le succès scientifique de la théorie de dissociation ionique d'Arrhenius, initialement objet de la violente controverse contre les ionistes ou partisans des ions, minoritaires.

Un acide devient un corps chimique capable de se dissocier dans un solvant protéique en libérant des ions H^+ (protons) en solution aqueuse. En réalité, les protons H^+ libres ne sont pas présents en solution, mais se lient des molécules d'eau pour former des ions hydronium, les plus simples des ions oxonium, H_3O^+ , plus ou moins solvates. Une base est une entité chimique capable de capter un ou plusieurs protons H^+ et libérer l'ion hydroxyde, OH^- , opposé basique et complémentaire du proton ou de l'ion hydronium acide.

Cette vision unitaire postule simplement un échange de proton entre un acide (donneur de proton) conjugué et une base (acceptrice de proton) conjuguée. Les réserves aux propositions formulées en 1921 par Joannes Bronsted et Thomas Lowry, concernant par exemple des corps chimiques singuliers comme l'ammoniac ou le tri fluorure de bore, conduisent en 1923 à la théorie formulée par Gilbert Lewis, d'une portée plus générale et plus englobant, mais basée sur l'échange d'un doublet électronique, soit une paire d'électrons en couches superficielles. Une base de Lewis cède un doublet électronique alors qu'un acide l'accepte.

c. Les réactions redox (oxydo-réduction) (Mahdjoub, 2009)

Redox est une abréviation de réaction de réduction/oxydation. Une réaction **d'oxydoréduction** est un processus de transfert d'électrons d'une espèce à une autre. On appelle **oxydant**, l'espèce qui capte les électrons et **réducteur** l'espèce qui les cède au cours de la réaction, dans la réduction, il y a un gain d'électrons et dans l'oxydation, une perte d'électrons. Les électrons sont transférés d'une espèce à l'autre.

L'oxydo-réduction constitue une grande famille comprenant de nombreuses réactions chimiques, puisqu'elle intervient dans les combustions, certains dosages métallurgiques, la corrosion

des métaux, l'électrochimie ou la respiration cellulaire. Ces réactions jouent en particulier un rôle fondamental en biologie, dans la transformation de l'oxygène au sein des corps vivants. Cette variété s'explique par la mobilité, la légèreté et l'omniprésence dans toutes les formes de la matière de l'électron.

Les réactions redox sont souvent écrites comme deux demi-réactions montrant séparément les processus de réduction et d'oxydation. Ces demi-réactions sont balancées (multipliant chacune par un coefficient) et additionnées l'une à l'autre pour former l'équation finale. Quand du magnésium est brûlé dans l'oxygène, il perd des électrons (il est oxydé). D'un autre côté, l'oxygène gagne des électrons du magnésium (il est réduit).

d. Les réactions organiques (Mahdjoub, 2009)

Les réactions organiques sont des réactions chimiques impliquant des composés organiques. Les principaux types de réactions organiques sont l'élimination, l'addition, la substitution, le réarrangement et les réactions d'oxydoréduction impliquant des composés organiques. Ces réactions sont utilisées en synthèse organique pour construire de nouvelles molécules organiques. La production de nombreuses substances chimiques, comme les médicaments, les plastiques, les additifs alimentaires, etc., met en jeu des réactions organiques.

Cependant, beaucoup de caractéristiques des molécules organiques sont déterminées par leurs groupes fonctionnels - petits groupes d'atomes qui réagissent de manières prévisibles. Un autre concept de base en réaction organique est la basicité de Lewis. Une partie de la molécule peut être électrophile (qui aime les électrons) ou nucléophile (qui aime les noyaux, les charges positives). Les régions nucléophiles ont un excès d'électrons - elles agissent comme bases de Lewis - tandis que les régions électrophiles manquent d'électrons et agissent comme des acides de Lewis. Les régions électrophiles et nucléophiles réagissent entre elles. Les réactions organiques ne font pas partie du sujet de ce livre, et sont traitées avec plus de détails dans la Chimie Organique.

2.1.9 Introduction à la biochimie (Mahdjoub, 2009)

2.1.9.1 Définitions, objectif et caractéristiques

La biochimie est l'un des domaines les plus importants de la chimie. Elle dérive de la biologie (science des êtres vivants). La biochimie est une science qui met en jeu des composés du carbone et d'hydrogène dits « composés organiques ». La biochimie est l'application de la chimie à l'étude des phénomènes vitaux. La biochimie est une science récente, elle se place parmi les autres sciences de la nature. Elle est née à la fin du XVIII^e siècle lorsque LAVOISIER avait clarifié les bases de la chimie et montré que les êtres vivants utilisaient de l'énergie. Elle s'est essentiellement développée au vingtième siècle à partir de deux sciences beaucoup plus anciennes : la chimie organique et la physiologie.

La biochimie (grec Bios : Vie et chimie) peut se définir comme étant l'ensemble des réactions chimiques qui se déroule chez un être vivant et qui permettent le maintien de la vie et la reproduction à l'intérieur de la cellule.

La biochimie constitue la base de ce qu'appelle encore la biologie moléculaire. L'objet de la biochimie est l'étude des molécules et leurs interactions et les processus de toutes les fonctions cellulaires et subcellulaires.

Une vision de structuration de la biochimie par (Christian 2002) se présente en :

a. Biochimie génétique

Elle a pour objet l'étude des réactions chimiques qui permettent la perpétuation et la conservation de la structure vivante au niveau du génotype.

b. Biochimie structurale et métabolique

Elle a pour objet l'étude :

- De la structure et des propriétés chimiques des molécules constituant la matière vivante (biochimie structurale),
- Des réactions chimiques qui permettent la transformation et l'utilisation de la matière et de l'énergie prélevées dans l'environnement pour assurer la conservation de la structure vivante au niveau phénotypique (biochimie métabolique).

c. Biochimie de l'information

Sous-entendu cellulaire, elle a pour objet l'étude des réactions chimiques par lesquelles communiquent les différents niveaux d'organisation de la structure vivante (organites, cellules, organes, système) entre eux et en relation avec l'environnement.

Le domaine de la biochimie est vaste, et ses applications sont nombreuses, toute forme de vie s'accompagne de réactions chimiques. Les biochimistes étudient ces réactions chimiques dans les micro-organismes, les végétaux, chez les insectes, les poissons, les oiseaux, les mammifères et chez l'homme (Robert et Darly 1999). On peut citer entre autre :

d. La biochimie alimentaire

La Biochimie Alimentaire se situe au carrefour des Sciences de la Vie et du Génie des Procédés et plus particulièrement du Génie Industriel Alimentaire.

L'approche des relations Structure-Fonction qui sont importantes tant du point de vue nutritionnel que fonctionnel ; permettra d'expliquer les interactions entre les différentes molécules qui entrent dans l'élaboration des aliments du consommateur «bien portant».

e. La biochimie médicale

La biochimie médicale étudie les dysfonctionnements des réactions biochimiques chez l'homme, et vise ainsi à soigner les maladies d'origine biochimique. Lorsqu'elle est appliquée au diagnostic, elle reçoit alors le nom de biochimie clinique.

2.1.9.2 Description des macromolécules

Quatre grandes classes de macromolécules constituent la majeure partie de la matière organique des cellules vivantes (Mahdjoub, 2009) :

2.1.9.2.1 Les protéines

Le terme protéine vient du mot grec « Prôtos : de première importance ou qui tient la première place ». Ce sont des constituants extrêmement importants des cellules vivantes.

Une protéine est une molécule composée d'une chaîne d'acides aminés. Ceux-ci sont apportés par l'alimentation, et peuvent être d'origine animale (viande, poisson, œufs) ou végétale (fruits, légumes, céréales). Les protéines sont essentielles à la vie des cellules. Chaque type assure une mission spécifique.

Exemples : la kératine qui est le constituant du cheveu, l'insuline qui régule le taux de sucre dans le sang, la mélanine qui agit sur la coloration de la peau, ou encore la myosine qui permet la contraction musculaire.

Toutes les protéines contiennent les quatre éléments : C, H, O et N ; beaucoup contiennent du Soufre(S), certaines renferment du Phosphore (P), du Fer (Fe), du Zinc (Zn) ou du Cuivre (Cu).

Catégorie	Fonctions générales	Exemple	Rôle biologique
Enzymes	Catalyse des réactions	Anhydres carbonique	Accélération des échanges de CO ₂
Protéines de structure	Organisation, consolidation ou protection des tissus	Collagène	Constituant des tendons du cartilage, des os
Protéines de transport	Faciliter le transport des ions/molécules à travers les membranes	Lactose perméase	Assure le passage et l'accumulation du lactose dans les bactéries
Protéines de défense	Reconnaissance et neutralisation des structures étrangères	Immunoglobulines (anticorps)	Fixent spécifiquement les structures étrangères (antigènes) et favorisent leur élimination
Protéines de réserve	Nutrition des embryons	Ovalbumine	Protéine principale de l'œuf
Moteurs moléculaires	Conversion énergie chimique énergie mécanique	Myosine	Contraction musculaire
Récepteurs	Détection et transduction des signaux chimiques, électriques, mécaniques, lumineux	Rhodopsine	Captage des photons dans les disques rétiens
Régulateurs de transcription	Modulation de l'expression des gènes	Gcn4p	Contrôle de métabolisme des molécules azotées chez la levure <i>Saccharomyces cerisaie</i>
Hormones	Communication chimique entre les tissus et les organes	Insuline	Entrée et consommation du glucose dans les tissus des vertébrés

Tableau 2. Diversité de la fonction des protéines (Mahdjoub, 2009).

Les protéines sont des macromolécules, formées par la condensation d'un grand nombre d'unités (de 50 à plusieurs milliers) appelées **aminoacides** ou **acides aminés**. On distingue deux grands groupes de protéines (Weil, 2001) :

- les **holoprotéines**, constituées uniquement par des enchaînements d'aminoacides ;
- les **hétéroprotéines**, ou protéines conjuguées, qui comprennent en plus d'un ou de plusieurs enchaînements d'aminoacides, un groupement prosthétique de natures très diverses.

2.1.9.2.2 Les acides nucléiques (Mahdjoub, 2009)

Les acides nucléiques sont des macromolécules importantes présentes dans toutes les cellules animales, végétales, bactéries et virus, soit libres, soit combinés à des protéines pour former des nucléoprotéines. Le rôle des acides nucléiques est de supporter et stocker les caractères héréditaires, de conserver et de transférer l'information génétique. Il existe deux types d'acides nucléiques ;

- l'acide désoxyribonucléique ou DNA, c'est le support des caractères héréditaires, matériel génétique ou génome de toute cellule.
- et l'acide ribonucléique ou RNA.

2.1.9.2.3 Les glucides

Les glucides ou (saccharides du nom grec sakcharon : sucre) sont des composés organiques (substances sucrées), comportant une fonction carbonyle et des fonctions alcool. Ils tirent leurs noms « glucides » du glucose qui est universellement répandu dans le monde vivant. Ils forment un groupe de composés très importants. Certains représentent une source d'énergie pour les organismes vivants, soit immédiatement utilisable (glucose), soit sous forme de réserves (amidon, glycogène) ; d'autres ont un rôle structural (cellulose, chitine, acide hyaluronique) ;

Les glucides sont composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène dans les proportions 1: 2:1. Leur formule chimique est basée sur le modèle $C_n (H_2O)_n$ (d'où l'appellation historique). Cependant, ce modèle n'est pas valable pour tous les glucides, qui contiennent, pour certains, des atomes d'azote ou de phosphore. Leur métabolisme produit de l'énergie et libère du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O).

2.1.9.2.4 Classification des glucides

On peut classer les glucides selon différentes catégories. Les glucides peuvent être classés selon des **critères structuraux**. On distingue les oses et les osides.

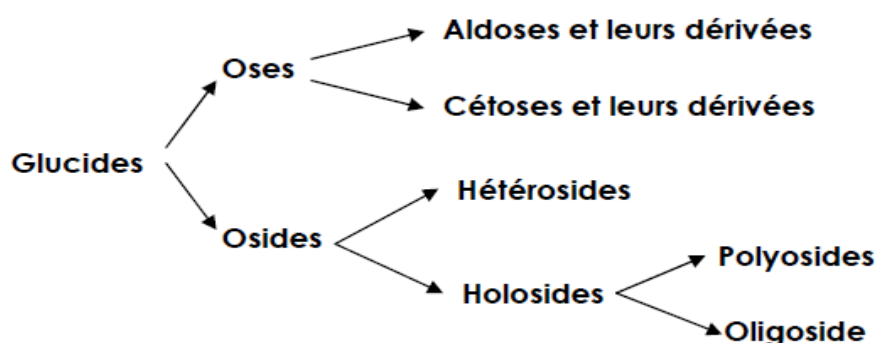


Figure 10. Structure des glucides.

2.1.9.2.5 Les lipides

Les lipides sont des molécules composées d'acides gras, dont il existe de nombreuses sortes. Ils constituent la matière grasse organique. Les lipides ont un rôle dans la stabilisation de la température corporelle par isolation thermique, dans la production énergétique et notamment dans la mise en réserve de cette énergie, dans l'apport nutritif et dans la constitution des membranes cellulaires. Ce sont des biomolécules pratiquement insolubles dans l'eau (matière grasse), solubles dans des solvants apolaires tels que le chloroforme ou le benzène.

Ce sont des molécules organiques insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques apolaires comme benzène, chloroforme, éther,... etc. Ils sont caractérisés par la présence dans la molécule d'au moins un acide gras ou chaîne grasse.

Les termes de *graisses* et d'*huiles* désignent des mélanges de lipides respectivement solides (exemple, le saindoux) ou liquides (exemple, l'huile d'olive) à la température ordinaire, et il faut éviter de les utiliser pour désigner des esters du glycérol (seul l'industrie les emploie encore).

2.1.9.2.6 Exemples de méthodes d'analyse biochimique

Méthodes	Cas d'application
De Fractionnement	Filtration, -Sédimentation, -Dialyse et électrodialyse, - Electrophorèse, - Chromatographie
Optiques	Photométrie, -Polarimétrie, -Réfractométrie
Potentiométriques	- Potentiomètre, - pHmétrie
Analyse Enzymatique	- Mesure de l'activité des enzymes, - Dosages enzymatiques
Spectrales	L'absorption moléculaire, -Fluorimétrie, -Photométrie d'absorption atomique
Electrochimiques	Conductimètre, -Polarographie, ...

Utilisation des radioéléments	Détection de la radioactivité, ...
Analyses immunologiques	Dosage des protéines, ...
Analyses automatiques	Analyse en flux continu

Tableau 3 : Méthodes d'analyses biochimiques.

PARTIE 02 :

2.1 Enseignement de la chimie, Objectif et apport des nouvelles technologies

L'enseignement de la chimie permet d'accéder à la connaissance des substances qui nous entourent, la compréhension de leurs transformations, l'analyse de ces résultats et de la dynamique de ces transformations.

Elle est ainsi à la base d'une industrie de toute première importance sur le plan économique. Création de matériaux, de médicaments, de substances les plus diverses qui sont normalement pour améliorer notre qualité de notre espérance de vie.

2.2 Les modes d'enseignement et d'apprentissage (Mahdjoub, 2009)

L'enseignement ou l'apprentissage de la chimie s'élabore suivant trois modes complémentaires :

- ↳ Le **cours magistral** dispensé à l'ensemble des étudiants/ apprenants, expose la matière. C'est l'acquisition des connaissances et la mise en évidence des concepts fondamentaux.
- ↳ Les **travaux dirigés**, qui sont organisés par groupe d'étudiants afin de permettre la familiarisation avec la mode de réflexion qui prévaut en chimie moléculaire et de remédier au problème et aux difficultés de mettre en œuvre une théorie bien comprise pour l'appliquer à des problèmes concrets. Les étudiants sont amenés à résoudre des problèmes avec la guidance d'un enseignant.
 - La participation active des étudiants est requise, et pour profiter pleinement des séances de travaux dirigés, les étudiants doivent préparer les exercices prévus.
- ↳ Les **travaux pratiques** ou **expériences**, dans le processus de l'enseignement, les travaux pratiques sont une forme d'activité d'apprentissage qui se fait dans un laboratoire et qui permet à un groupe d'élèves d'expérimenter les principes théoriques appris-en suivant les consignes de l'enseignant. L'importance des travaux pratiques a été démontrée, comme étant un élément favorisant les interactions entre apprenants et apprenants-formateurs d'un côté et mettant en œuvre le principe de l'apprentissage par essai/erreur d'un autre côté.

Afin de rendre ces séances plus fructueuses, il est suggéré à l'étudiant de préparer chaque manipulation de laboratoire en rédigeant un rapport « compte-rendu » dans lequel il expose l'essentiel de la théorie sous-jacente.

Enfin une évaluation qui consiste en un examen essentiellement sur la résolution des problèmes en plus des notes des travaux dirigés (examen, participation,...) et des travaux pratiques (examen, résultats, compte rendu,...).

Remarque : La chimie est une séance expérimentale, c'est pourquoi qu'il faut donner une grande importance et intérêt crucial aux travaux pratiques (expériences ou manipulation) dans son enseignement.

2.3 Apprentissage expérimental

C'est un apprentissage qui se base sur des expériences qui seront faites dans des laboratoires.

2.3.1 Une expérience ? Définition (Mahdjoub, 2009)

Une expérience scientifique est définie comme étant une manipulation et une observation, mise en œuvre afin de vérifier si une hypothèse peut être validée.

Les expériences permettent de rendre plus claire à l'apprenant, la relation entre la théorie et la réalité, elles se font généralement dans un laboratoire.

2.3.2 Les interactions dans un TP en chimie

Dans un TP les apprenants peuvent manipuler et visualiser le matériel (le dispositif). La séance de TP est le lieu d'un échange privilégié avec l'enseignant. Les apprenants posent plus facilement des questions profitant du fait d'être encadrés en petits groupes. C'est aussi l'occasion de plus nombreux échanges avec les autres apprenants et d'un travail en groupe.

Pour les enseignants, il s'agit d'aider les apprenants à construire un référentiel expérimental, d'évaluer leurs réactions, leur capacité de travail et leur évolution de façon individuelle, leur capacité à travailler en groupe, de leur faire prendre conscience de la performance et de l'importance de la sécurité. La figure ci-dessous illustre les interactions lors d'une séance de TP :

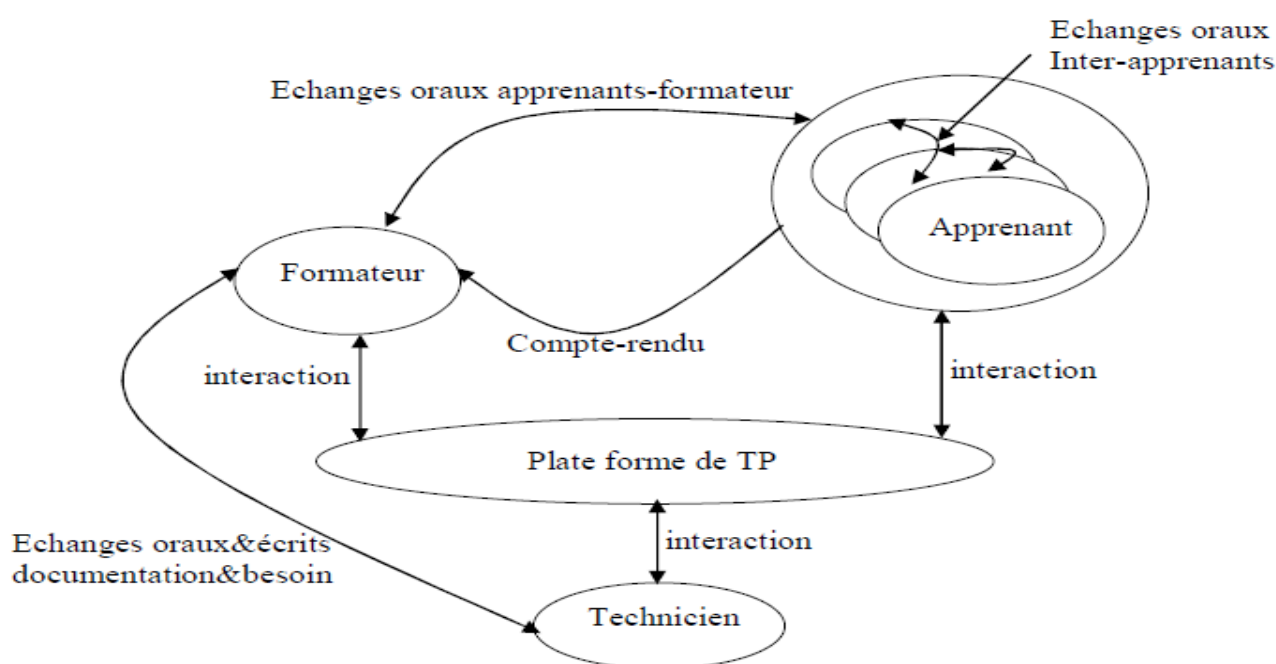


Figure 11. Interactions dans un TP classique

2.3.3 Difficultés d'apprentissage en chimie (Mahdjoub, 2009)

Comprendre la chimie, c'est assimiler les trois modes de représentations de la matière : macroscopique (le visible), microscopique (l'atome, la molécule) et symbolique (les symboles, les formules, les équations et les calculs), et pouvoir effectuer des transitions entre ces niveaux.

Donc l'apprenant en chimie doit pouvoir décrire les événements moléculaires (mécanismes réactionnels) qui désignent le processus par lequel une réaction chimique a eu lieu, les ruptures et les formations de liaisons, la position des atomes mis en jeu et le niveau énergétique du système à chaque instant. Ce concept s'écrit au moyen d'un formalisme basé sur des symboles, alors son apprentissage nécessite des connaissances théoriques et expérimentales en chimie et des connaissances sur les conventions des symboles de représentation.

L'origine de la difficulté de l'enseignement et d'apprentissage de la chimie vient du fait que les apprenants pensent essentiellement au niveau macroscopique alors que l'enseignant raisonne en pensant aux trois niveaux. Cette difficulté de compréhension reste liée même au niveau des phénomènes relatifs au domaine macroscopique car souvent l'explication de ces problèmes dépend du domaine microscopique et s'exprime au niveau symbolique.

2.3.4 Les Apports des Tic à l'apprentissage et l'enseignement de la chimie (Mahdjoub, 2009)

Au niveau des concepts, les deux termes paraissent différents, l'enseignement donne et émet de l'information, alors l'apprentissage exige un certain genre d'enclenchement de l'apprenant en cours afin de recevoir l'information.

Le processus d'apprentissage est un échange interactif, Il exige même un échange entre ceux qui enseignent et ceux qui sont supposés apprendre.

En d'autre terme l'apprentissage est connu en tant que activité intellectuelle visant à changer et à développer le comportement de l'individu, alors que l'enseignement est considéré comme étant l'activité technologique qui se base sur l'apprentissage et éventuellement sur d'autres sciences et techniques afin d'atteindre des objectifs finaux.

Dans un processus d'éducation et dans une stratégie d'enseignement, enseignement et apprentissage se complètent pour atteindre les objectifs ciblés et réaliser les buts tracés.

Remplacer le terme d'enseignement par celui d'apprentissage, revient que notre intérêt est accentué sur l'apprenant (construction des connaissances) et moins sur l'enseignant (transfert de connaissances).

L'apprentissage est un acte intellectuel complexe, permettant à un apprenant d'acquérir ou d'approfondir des connaissances théoriques et pratiques ou de développer des aptitudes.

C'est l'acquisition du savoir-faire. Il a évolué dans ses deux modes (présentiel et distantiel), en techniques, en structure, et en moyens, en partant pour le distantiel, d'un apprentissage individuel (fermé).

Le terme *Technologie de l'Information et de la Communication (TIC)* regroupe l'ensemble d'outils informatiques en réseau qui permettent d'accéder, de partager ou de transférer des données numériques multimédias.

Les Tics ont un impact sur la pédagogie, principalement sur la relation entre l'enseignant et l'apprenant, les étudiants deviennent plus actifs dans leur apprentissage et l'enseignant est le facilitateur. Grâce au développement des Tic, notamment l'Internet, les étudiants trouvent des ressources électroniques qui leurs sont utiles pendant leur formation. Ces ressources électroniques incluent des systèmes informatiques et documents électroniques.

Les Tic permettent l'accès à de grands volumes d'information. Grâce aux Tic, les informations peuvent être diffusées de manière rapide et ces informations peuvent également être mises à jour facilement et rapidement. Le problème n'est plus de trouver l'information, mais de trouver l'information pertinente, d'une manière efficace et surtout de bonne qualité, dans ce contexte il s'est apparu le web sémantique qui permet de réaliser des recherches d'information dans un contexte spécifique, afin d'éviter toute information non désirée.

Dans le domaine d'apprentissage, les Tic peuvent être considérées comme des amplificateurs mentaux, des catalyseurs cognitifs qui décuplent les moyens d'exécution et de contrôle des actions, par l'utilisation d'outils fonctionnels, particulièrement efficace pour agir, interagir, s'informer, explorer, échanger, expérimenter, créer....

Les Technologies de l'Information et de la Communication telle ; l'ordinateur, l'Internet, peuvent apporter aux enseignants et aux apprenants des aides variées.

D'une façon générale, l'utilisation de logiciels permet, par exemple, une certaine individualisation, un développement de l'autonomie et de la créativité. L'accès à des sources d'informations multiples et motivantes comme les cédéroms ou l'Internet et des activités diversifiées utilisant des outils actuels contribuent à transformer le rôle de l'apprenant. Il devient plus actif et s'implique véritablement dans son apprentissage.

A ces apports généraux, vont s'ajouter ceux spécifiques à la chimie : illustration par l'animation, approche de phénomènes complexes et recherche des limites grâce à la simulation, exploitation de résultats expérimentaux et modélisation, expérimentation assistée par ordinateur.

2.3.5 Quelque exemple de laboratoires virtuels existant

a- Virtual Lab Simulator

Virtual Lab Simulator est un logiciel de formation en chimie. En particulier, il met l'utilisateur en situation de l'étudiant chimiste qui réalise des expériences.

Les produits sont à disposition, de même que les instruments et le matériel. On peut concrètement réaliser les mélanges et voir ce qui se passe. Des devoirs à réaliser peuvent être téléchargés et réalisés directement sur la place de travail virtuelle à l'écran (établi). Chaque établi peut être enregistré.

L'accès du simulateur se fait directement par un navigateur internet et l'utilisation se fait en ligne. On peut ouvrir plusieurs établis et garder ainsi sous la main les diverses situations simulées.

On peut essayer les mélanges, doser différemment et donc procéder par essais-erreurs. C'est particulièrement vrai lorsqu'on réfléchit, avant de "faire l'expérience", de s'imaginer à l'avance ce que ça va donner. Ce logiciel permet à l'apprenant d'agir sur son environnement, même si c'est évidemment virtuel, et de mobiliser ses représentations. Il s'agit ici d'un apprentissage actif. Même avec des connaissances de chimie limitées ou anciennes, l'apprenant peut mobiliser ses connaissances acquises dans le passé, les reconstruire, les réessayer, ou tester d'autres mélanges, d'autres situations.

↳ **Avantages**

En concernant ces avantages et ses inconvénients on peut dire que ce logiciel correspond à un réel besoin. Le degré de réalisme est élevé et les possibilités de mélanges sont quasi illimitées. Le gain de temps gagné en mettant de côté les aspects souvent fastidieux de la manipulation, de la sécurité, du nettoyage, des mesures de quantité, peut être mis à profit pour passer plus vite à l'abstrait, au raisonnement. Sans remplacer naturellement le vrai laboratoire, ce logiciel est une réelle plus-value dans l'apprentissage de la chimie. Sa gratuité et son accès en ligne, sans téléchargement lourd, fait de ce logiciel un outil facilitateur de l'apprentissage à recommander. On pourrait renforcer encore plus l'immersion et la qualité du contexte virtuel.

↳ **Inconvénients**

Une banque de données devrait exister qui montre des expériences classiques, qu'on pourrait rejouer. Il y a bien des devoirs, mais qui ne correspondent pas à cette possibilité qui permettrait de placer certaines expériences par exemple, dans leur contexte historique.

Comme le logiciel est en ligne sur internet, pourquoi ne pas pouvoir montrer ses établis à d'autres, voire inviter des participants à conjecturer, à donner des avis sur ce qui s'est passé et des explications ? Les "invités" à l'établi pourraient ainsi combler cette lacune du logiciel, qui ne permet pas cette part d'apprentissage par le discours, qui est une dimension pourtant importante.

b- **ChemLab** est un logiciel d'apprentissage de la chimie qui intègre à la fois une simulation interactive et un carnet de laboratoire comprenant des espaces distincts pour la théorie, les procédures et les observations des élèves. Des procédures et du matériel de laboratoire courants sont utilisées pour simuler les étapes associées à l'exécution d'une expérience de laboratoire de chimie. Les utilisateurs exécutent étape par étape une procédure de laboratoire réelle par interaction avec du matériel animé qui reproduit une expérience réelle de laboratoire. ChemLab permet d'offrir des expériences de laboratoire aux élèves en ligne ou présenter une alternative à des laboratoires dangereux, coûteux ou dangereux pour l'environnement, ChemLab constitue une solution éprouvée à certains besoins pédagogiques. ChemLab a vu le jour à partir de travaux scolaires effectués dans le domaine de la simulation sur ordinateur et de la conception de logiciel

à l'Université McMaster. Le travail d'élaboration s'est poursuivi grâce à la contribution importante d'éducateurs et d'éducatrices intéressés par l'application possible de simulations informatiques en classe ou en enseignement à distance.

↳ **Avantages**

- Partie introduction, qui donne un, résumé de cours spécifique à chaque expérience et à laquelle l'apprenant peut se référer à tout moment.
- Possibilité de faire des expériences qui ne pourraient pas être possibles en temps réel car trop coûteux ou trop dangereux.
- Permet à un scientifique de réviser ces cours en ayant accès à un laboratoire, tout en prenant des notes sur son travail. De cette façon il peut travailler à son rythme et prendre en charge son apprentissage.

↳ **Inconvénients**

- Appropriation du logiciel assez difficile pour un novice.
- Absence de tuteur, ce qui crée un sentiment d'abandon.
- Logiciel très statique qui peut générer de l'ennui et une perte d'intérêt.

2.3.6 Conclusion :

Nous avons divisé ce chapitre en deux parties, où à la première phase nous avons fait une vue panoramique de notre domaine d'étude qui est la chimie en commençant par une présentation de cette science et ces filières et branches, nous avons présenté plusieurs notions fondamentales. Dans la deuxième partie nous avons présenté l'enseignement de la chimie, ses objectifs et les apports des nouvelles technologies, les difficultés rencontrées lors d'apprentissage et l'enseignement.

CHAPITRE 3 : WEB SEMANTIQUE ET ONTOLOGIES INFORMATIQUES.

CHAPITRE 3 : WEB SEMANTIQUE ET ONTOLOGIES INFORMATIQUES.

3.1 Web sémantique : Définition, Principe et Caractéristiques

3.1.1 Introduction

Le Web Sémantique constitue un environnement dans lequel les humains et les machines vont communiquer selon une base sémantique. Une des caractéristiques principales est la compréhension partagée basée sur un squelette d'ontologie. Le Web sémantique, en fait, est une architecture composée, il se base sur plusieurs technologies, spécifications et normes (ontologies, XML, RDF, RDFS, OWL).

Le Web actuel est essentiellement syntaxique, la structure des documents que l'on y trouve n'est quasiment pas traitable par la machine. Il est considéré comme une gigantesque poubelle avec plus de dix milliards de pages web. Qui n'a pas passé des heures et des heures à essayer de trouver une information ou un renseignement utile sur le Web ?

Le web sémantique se veut comme une extension de ce Web, un Web contenant des données intelligentes, traitables par des agents informatiques.

L'homme infère un sens aux documents sur le web. Le web Sémantique se veut comme l'outil par lequel la machine (le software) peut trouver, lire, comprendre, et utiliser les données du web dans un but assigné par l'utilisateur.

On peut donc considérer le Web de demain comme un vaste (très vaste) espace d'échange de «ressources », qui permettra une meilleure exploitation de l'information.

Le web sémantique est en constante évolution. Il se définit plus par des concepts informels que comme un système fonctionnel intégré.

Dans ce chapitre on va présenter ce qui est le Web sémantique, ontologie ainsi que ses langages et ses applications.

3.1.2 Le (W3C) World Wide Web Consortium:

Fondé en 1994, pour développer les protocoles nécessaires à l'évolution du Web, c'est un consortium international qui regroupe de nombreux professionnels de l'industrie, du service, de la recherche et de l'enseignement partageant les mêmes objectifs d'évolution et de stabilisation à long terme des technologies du Web. Tim Berners-Lee, créateur du W3C en 1993 définit le Consortium avec les mots suivants : « Nous avons créé un environnement neutre, capable de servir les intérêts de tous, depuis l'individu jusqu'aux plus grandes entreprises et aux états. La communauté industrielle en particulier a compris qu'il est de son intérêt de disposer d'un Web stable et évolutif, fondé sur un accord commun ».

Son rôle consiste à inventer et favoriser l'expansion des langages et des protocoles universels afin de permettre une évolution homogène, décentralisée et standardisée du Web. En 2001, le W3C a décidé d'orienter ses travaux vers le développement d'un Web« intelligent » en présentant officiellement sa recommandation XML Schéma. Cette recommandation est la base de ce nouveau Web qui se nomme le Web Sémantique.

3.1.3 Définition et principe du Web Sémantique

Le Web Sémantique n'est pas un Web distinct mais bien un prolongement du Web que l'on connaît, dans lequel on attribue à l'information une signification clairement définie, ce qui permet aux ordinateurs et aux humains de travailler en plus étroite collaboration. Très bientôt, ces développements permettront une nouvelle fonctionnalité car les ordinateurs seront davantage en mesure de traiter et de 'comprendre' les données que, pour l'instant, ils ne font qu'afficher.

Le Web Sémantique est une vision du futur Web dans lequel l'information est donnée un sens explicite facilitant ainsi aux machines le traitement et l'intégration des informations sur le Web.

Le Web Sémantique sera construit sur la capacité de XML de définir des schémas de balisage personnalisés et sur la flexibilité de l'approche RDF pour représenter les données. Si les machines sont supposées faire des tâches de raisonnement utiles sur ces documents, le langage doit aller au-delà des sémantiques de base du RDF Schéma. OWL a été conçu pour répondre à ce besoin pour un langage d'ontologie pour le Web. OWL est une partie d'une pile évolutive des recommandations W3C relativement au Web Sémantique.

Il a été bien reconnu dans la communauté du Web Sémantique que les ontologies jouent un rôle clé dans la livraison du Web Sémantique en facilitant le partage d'information entre les communautés d'humains et des agents logiciels. Les DTDs et les schémas XML peuvent être utilisés pour échanger les données entre les parties qui ont convenu les définitions avant l'échange.

Cependant, leur manque de sémantique ne permet pas aux personnes de créer de nouveaux vocabulaires XML. Le même terme peut être utilisé avec différents sens dans différents contextes et des termes différents peuvent être utilisés pour des articles ayant le même sens. RDF et RDF Schéma ont essayé de résoudre ce problème en permettant d'associer des sémantiques simples aux identificateurs. Avec RDF Schéma, une personne peut définir des classes qui ayant plusieurs sous-classes et super classes, et peut aussi définir des propriétés pouvant avoir des sous propriétés, de domaines ou d'intervalle. Dans ce sens RDF Schéma est un langage d'ontologie pour le Web primitif. Pour atteindre l'interopérabilité entre les divers schémas développés de façon autonome, des sémantiques plus riches sont nécessaires.

Il semble clair que le Web Sémantique ne pourra voir le jour sans un minimum de standardisation. Différents consortiums et organismes mettent donc les acteurs autour d'une table pour définir les langages à utiliser dans le Web Sémantique. L'intérêt de cette approche est d'assurer

des traitements uniformes sur des documents écrits dans ces langages. Les travaux de standardisation sont bien avancés. Durant le **10 février 2004**, OWL et RDF sont devenus des recommandations du W3C. RDF est utilisé pour représenter l'information et pour échanger la connaissance sur le Web. OWL est utilisé pour publier et partager les ensembles de termes (appelées les ontologies), en supportant les recherches Web avancées, la gestion de la connaissance et des agents logiciels (W3C 2004).

3.1.4 Architecture en couche du Web sémantique

L'architecture du Web Sémantique proposée par W3C s'appuie sur une pyramide de langages :

Au niveau le plus bas se trouvent les données brutes codées par le standard Unicode, ces données possèdent une adresse URI (*Uniforme Ressource Identifier*) qui permet d'attribuer un identifiant unique à chaque ressource.

Ces données peuvent être structurées grâce à un langage de balises telles que XML. La syntaxe XML peut être considérée comme un premier niveau de sémantique, elle permet aux utilisateurs de structurer les données en fonction de leur contenu sans rien dire de la signification des structures.

Pour attribuer une signification à cette structure et relier d'une façon pertinente les différents éléments, Tim Berners-Lee propose le standard RDF (*Resource Description Framework*) comme standard de représentation, standard développée par le W3C.

Ce langage a pour but de donner une organisation plus structurée des informations présentes sur le Web à travers une description sémantique des données fournies par XML.

La signification sémantique des données XML représentées par RDF est largement insuffisante pour assurer une bonne distinction des différents concepts, il faut qu'on puisse définir les concepts les uns par rapport aux autres, ce qui est possible avec RDFS et OWL.

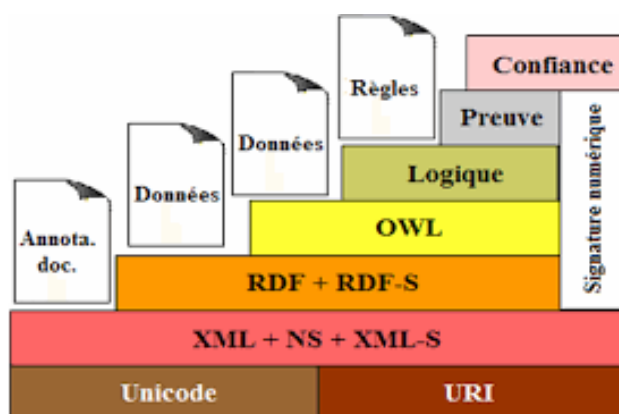


Figure 12. Architecture en couche du Web sémantique (Selon W3C).

- **La couche URI/Unicode** : les données sont codées par le standard Unicode, ces données possèdent une adresse URI.
- **XML/XML schéma** : Pour donner une bonne structuration à ces données, le Web Sémantique utilise les langages de balises comme XML.

- **RDF/RDFs** : Resource Description Framework, Le but est de donner une organisation plus structurée des informations présentes sur le Web à travers une description sémantique des données fournie par XML.
- **La couche Ontologie** : Permet de définir une sémantique et un vocabulaire commun des données utilisées dans le web, ce qui évite tous conflits de partage et d'intégration de ces données.
- **La couche logique** : cette couche offre un ensemble de langages qui permettent l'expression des règles, ces derniers favorisent la déduction de nouveaux faits à partir des faits existants.
- **La couche preuve** : elle fournit des moyens pour démontrer la validité des inférences données par les agents.
- **La couche confiance (trust)** : d'assurer une crédibilité aux résultats délivrés par les agents, à travers des techniques de sécurité telles que la cryptographie des messages, et l'ajout des signatures électroniques.

3.1.5 Architecture par niveaux du Web sémantique

Le Web sémantique nécessite une architecture partagée par tous pour échanger des ressources sur l'Internet. Il a besoins aussi des standards pour :

- a. Les ontologies et mécanismes d'inférence associés.
- b. La sémantique explicite des ressources ou méta données sémantiques liées à des ontologies.
- c. Le format des ressources ou documents.
- d. L'adressage des ressources ou documents.

Une structure à trois niveaux du Web Sémantique (Figure ci-dessous) ; Le niveau d'adressage, le niveau syntaxique et le niveau sémantique.

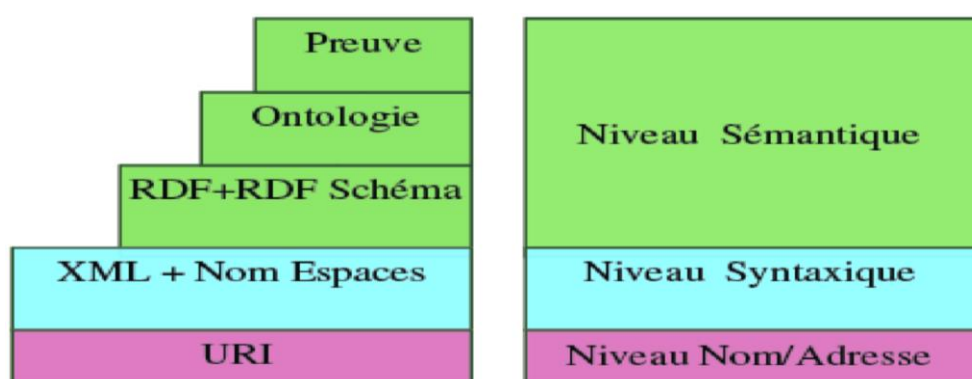


Figure 13. Structure du Web sémantique (les trois niveaux).

3.1.5.1 Niveau Nommage /Adressage

Selon (Mahdjoub, 2009) le Web repose sur un concept de l'URI, qui est un moyen simple d'identifier une ressource, Ils sont utilisés dans les documents XML. Tout ce qui est disponible sur Internet est donc identifié par un URI. Un URI identifie de manière unique, persistante et non ambiguë chaque ressource du Web, comme une page, une adresse email, ou une image.

Un URI est un espace de nom est défini par une référence URI, un espace de noms est un ensemble de ce qui est désignable dans un contexte donné par une méthode d'accès donnée faisant usage de noms symboliques. Pour prendre un exemple simple, si vous avez un annuaire téléphonique, l'espace de noms associé est celui des abonnés au téléphone du département concerné.

Le point central des URIs est l'URL (Uniform Resource Locator) traditionnelle utilisée pour définir les liens du Web. Ces URL sont utilisées pour référencer des fichiers Web à travers un protocole particulier, comme HTTP ou FTP.

3.1.5.2 Niveau syntaxique

Le niveau syntaxique est le niveau de la structuration des documents. La spécification de la structure logique des documents repose sur XML.

XML est un métalangage qui permet de définir d'autres langages. XML est donc un ensemble de recommandations utilisées dans le cadre de la représentation de données. On structure l'information à l'aide de balises. Cette structure peut être comprise par un programme informatique et peut éventuellement servir à un affichage personnalisé suivant des règles prédéfinies.

XML fournit un ensemble de règles pour la création de vocabulaires qui structurent à la fois les documents et les données sur le Web. XML donne des règles très claires sur la syntaxe. Les schémas XML sont utilisés ensuite comme méthode autorisant la composition de vocabulaires XML. XML est une syntaxe puissante et flexible pour les documents structurés, mais n'impose aucune contrainte sémantique sur la signification de ces documents.

XML est utilisé sur le Web car il permet la description de documents électroniques par l'intermédiaire d'une DTD (Document Type Définition). Il fait le lien entre les documents et les logiciels qui les utilisent. En effet, le but de XML est de faciliter la diffusion et l'échange d'informations sur Internet.

Les points forts de XML en plus de sa simplicité sont :

- Pouvoir être utilisé sans difficulté sur Internet.
- Soutenir une grande variété d'applications et son indépendance quant à la plateforme utilisée.
- Son exploitation possible par un système informatique.
- La séparation de la présentation et du contenu.
- C'est un langage de description facilement extensible en fonction des besoins des applications. et la facilité d'écrire des programmes traitant les documents XML.
- Lisibles par l'homme et raisonnablement clairs.
- Être préparée rapidement avec une gestion de la cohérence facile grâce aux DTD.
- Être formelle et concise et facile de créer des documents.

L'avantage de XML est la possibilité de personnaliser la présentation des documents en utilisant XSL (XML Style sheet Language) qui permet de transformer automatiquement un fichier XML en une

page HTML qui est consultable via un navigateur Internet. Cependant, son inconvénient est : Il n'a pas de sémantique formelle permettant l'interprétation par la machine. XML décrit uniquement la structure de l'information, sa syntaxe.

- Document Type Définition (DTD)

Une DTD permet de vérifier qu'un document XML est conforme à une syntaxe donnée, donc de vérifier la validité d'un document XML. La DTD est une grammaire permettant de vérifier la conformité du document XML. Une DTD contient la liste des éléments et des attributs ainsi que les règles à suivre lors de la construction du document. On parle donc de document valide si il contient une DTD et la respecte et de document bien formé s'il respecte les règles de base de construction d'un document XML.

Une DTD peut être interne en incluant la grammaire au sein du document XML, ou externe en allant chercher cette grammaire dans un autre fichier ou via un URL par exemple.

Limitation de XML

A ce stade le langage XML permet l'échange d'information dans un domaine bien précis. Même si c'est une révolution dans la description ou le partage des données, elle ne permet pas de donner un sens aux données, mais permet seulement la structuration du contenu de l'information.

3.1.5.3 Niveau sémantique

RDF (Resource Description Framework) est un standard permettant la mise en place de descriptions simples, est associé à une syntaxe. XML est à la syntaxe, ce que RDF est à la sémantique.

RDF Schéma permet ensuite de combiner ces descriptions en un seul vocabulaire. A tout ceci, il manque la possibilité de décrire des vocabulaires spécifiques à des domaines bien particuliers. C'est là que les ontologies jouent leur rôle, dont le but est de permettre à une communauté d'utilisateurs de partager les mêmes métadonnées pour des ressources partagées.

« Tout ce qui est exprimé avec RDF est appelé une ressource. La ressource est toute entité d'information pouvant être référencée en un bloc, par un nom symbolique (littéral) ou un identificateur. L'identificateur est obligatoirement un URI. »

Le RDF utilise des "statement" qui confère une valeur à une propriété d'une ressource ou tuple (Sujet, Prédicat, Valeur) qui est prédicat de niveau représentation »

Différentes formes de valeurs peuvent être données à une propriété : une chaîne de caractères littérale, une URI qui fait référence à une ressource, Un fragment XML bien formé ce qui a été dit déjà plus haut mais aussi une ressource anonyme avec ses propres propriétés, une ressource typée avec ses propriétés propres en plus de son URI.

Une ontologie définit les termes utilisés pour décrire et représenter un champ d'expertise. Les ontologies sont utilisées par les personnes, les bases de données, et les applications qui ont besoin de partager des informations relatives à un domaine bien spécifique, comme la médecine, la fabrication

d'outils, l'immobilier, la réparation d'automobiles, la gestion de finances, etc. Les ontologies associent les concepts de base d'un domaine précis et les relations entre ces concepts, tout cela d'une manière compréhensible par les machines. Elles encodent la connaissance d'un domaine particulier ainsi que les connaissances qui recouvrent d'autres domaines, ce qui permet de rendre les connaissances réutilisables.

3.1.6 Annotations

Une annotation est une information graphique ou textuelle attachée à un document et le plus souvent placée dans ce document. Cette place est donnée par une ancre.

Les annotations font référence à des entités diverses : un ensemble de documents, un document, un passage, une phrase, un terme, un mot, une image... Les annotations peuvent prendre plusieurs formes comme :

des icônes (par exemple pour décrire des avis en utilisant des étoiles, des points d'interrogation...), des symboles de liens (pour décrire des associations, des relations entre mots, paragraphes ou chapitres), des notes textuelles en marge, en bas de page ou en fin de document repérées dans le texte par des icônes (numéros, étoiles...), des mises en forme typographiques (surlignage, soulignage, italique...), des redécoupages de texte (à l'aide d'accolades, de numérotation de passages...), des images, des sons...

Les spécificités du Web en font un outil très difficile à exploiter. Les outils d'annotation sont une voie prometteuse pour l'échange et le partage d'informations. Ils permettent d'espérer atteindre un objectif primordial des concepteurs du Web à savoir un environnement collaboratif où chacun est aussi bien lecteur que rédacteur. Concrètement, les systèmes développés se sont quasiment tous soldés par des échecs.

Nous pensons que ces échecs sont particulièrement dus à deux causes : une mauvaise connaissance des annotations et des utilisations que l'on peut en faire. De plus, ces annotations sont un potentiel considérable afin d'améliorer la compréhension et la manipulation des documents dans le cadre du partage d'information et de l'interopérabilité.

3.1.6.1 Annotation sémantique

Les annotations sémantiques selon (Mahdjoub, 2009) sont persistantes (du moins si le document n'est pas modifié) et implicites, car faisant référence à une connaissance (habituellement une ontologie) séparée du document. Elles sont le plus souvent attachées au document et ne possèdent pas d'ancrage particulier. Elles sont des annotations opérationnelles, car elles sont destinées à être traitées par des machines (par opposition aux annotations libres en langage naturel ou composées de symboles souvent tacites). Leur objectif majeur est de désambiguïser le document pour un traitement automatique. Les annotations sémantiques ne sont ni publiques (pas consultables directement, il faut disposer d'un éditeur

spécialisé ou regarder le code source du document) ni publiques (destinées à des outils ayant accès à l'ontologie référencée) ce qui en fait un cas très particulier d'annotations (Desmontils 2002).

Derrière le processus général d'annotation sémantique de documents par des ontologies se cache plusieurs phases qui font référence à des annotations de natures un peu différentes. Ces phases sont au nombre de trois :

- **Repérer** : processus manuel ou automatique qui consiste à placer dans le document des références aux concepts de l'ontologie qu'il contient. Ces éléments sont considérés comme des métadonnées.
- **Instancier** : processus manuel ou automatique permettant d'évaluer les attributs des concepts à l'aide des informations présentes dans le document (là encore, ce sont des métadonnées).
- **Enrichir** : processus manuel visant à ajouter des informations par l'intermédiaire des attributs de concepts qui n'ont pas pu être values à la phase précédente (Desmontils 2002).

Les deux premières étapes sont des étapes d'insertion de métadonnées : il n'y a pas ajout d'information mais plutôt localisation et caractérisation de l'information déjà présente de manière intrinsèque. Par contre, la dernière est plutôt une étape d'annotation plus classique, car il y'a ajout d'information : Le document est enrichi d'information qui n'est pas explicitement présente dans le document. Cette annotation est directement "formalisée" par des métadonnées.

Dans le cadre des annotations sémantiques, les outils sont généralement des éditeurs d'ontologies permettant de choisir une ontologie, les concepts représentant les documents et les instances des concepts présents dans le document. Les annotations sont directement insérées dans le code source du document. Ces concepts et ces instances sont soit directement parcourus par des moteurs de recherche soit utilisés pour indexer les documents.

3.2 Notion d'ontologie :

3.2.1 Introduction :

La manipulation des connaissances en informatique a pour but de ne plus faire l'utiliser en aveugle des informations à la machine, mais de permettre un dialogue et une coopération entre le l'ordinateur et ses utilisateurs.

L'ordinateur doit donc avoir accès non seulement aux termes utilisés par l'être humain mais également à la sémantique qui lui associée, afin qu'une communication efficace soit possible, les ontologies visent à représenter cette connaissance en étant à la fois interprétables par l'homme et par la machine.

Actuellement, les ontologies constituent un enjeu stratégique dans la représentation et la modélisation des connaissances, récemment, elles ont été introduites pour formaliser les connaissances dans le domaine de modélisation et de simulation intelligente, elles définissent les primitives indispensables pour leur représentation, ainsi que leur sémantique dans un contexte particulier, elle

permettent aussi la recherche d'informations, le traitement du langage naturel, l'intégration intelligente d'informations et la gestion des connaissances. Elles fournissent une connaissance partagée et commune sur ce domaine qui peut être échangée entre des personnes et des systèmes hétérogènes.

A travers cette étude sur les ontologies, nous recherchons à savoir comment en tirer profit afin de formaliser les connaissances que l'on a sur le domaine de modélisation et de simulation intelligente dans le respect du principe de plasticité.

Dans cette parité, nous attachons à décrire les différentes définitions du concept d'ontologie en fonction du contexte dans lequel il est utilisé, ainsi que les différents éléments constituant l'ontologie ; ensuite, nous présentons les typologies des ontologies ainsi que les diverses classifications existantes. Un aperçu rapide des formalismes de représentation d'ontologies est ensuite donné, puis, nous passons en revue les différentes étapes intervenant dans la construction des ontologies. Enfin pour implémenter une ontologie, il convient d'utiliser un langage de spécification, ce travail est facilité par de nombreux outils assistant l'utilisateur en phase d'opérationnalisation.

3.2.2 Origine de l'ontologie :

Ontologie est un terme qui a tout d'abord été défini en Philosophie comme une branche de la métaphysique qui s'intéresse à l'existence, à l'être en tant qu'être et aux catégories fondamentales de l'existant. En effet, ce terme est construit à partir des racines grecques *ontos* qui veut dire ce qui existe, l'Etre, l'existant, et *logos* qui veut dire l'étude, le discours, d'où sa traduction par l'étude de l'Etre et par extension de l'existence.

Dans la philosophie classique, l'Ontologie correspond à ce qu'Aristote appelait la Philosophie première (*protè philosopha*), c'est-à-dire la science de l'être en tant qu'être, par opposition aux philosophies secondes qui s'intéressaient à l'étude des manifestations de l'être (les existants) (Psyché, 2007). Bien que ce sont les Grecs qui ont inventé cette science, ils ne l'avaient pas appelé «Ontologie», le terme étant beaucoup plus récent (XVIIe siècle) que la discipline qu'il désigne, La discipline elle-même a évolué vers une voie imprévisible, il y a seulement une vingtaine d'années. En effet, d'après (Valéry et al, 2003) l'ontologie a été abordée dans le domaine de l'intelligence artificielle pour la première fois par John McCarthy qui reconnut le recoupement entre le travail fait en Ontologie Philosophique et l'activité de construire des théories logiques de systèmes d'intelligence artificielle, il affirmait déjà en 1980 que les concepteurs de systèmes intelligents fondés sur la logique devraient d'abord énumérer tout ce qui existe.

3.2.2.1 Définitions :

Ontologie : 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. Plusieurs autres définitions du concept ontologie ont été proposées dans le domaine de l'Intelligence Artificielle, ces définitions sont souvent des raffinements de définitions déjà proposées et/ou sont complémentaires avec elles.

Dans le cadre de l'intelligence artificielle, Neeches et ses collègues (Neeches, 1991) furent les premiers à proposer une définition à savoir : «une ontologie définit les termes et les relations de base du vocabulaire d'un domaine ainsi que les règles qui indiquent comment combiner les termes et les relations de façon à pouvoir étendre le vocabulaire». En 1993, Gruber propose la définition suivante : «spécification explicite d'une conceptualisation». Par explicite, il faut entendre que le type de concepts utilisés ainsi que leurs contraintes d'utilisation sont définies de façon explicite, qui est jusqu'à présent la définition la plus citée dans la littérature en intelligence artificielle.

Cette définition a été modifiée légèrement par Borst (Borst, 1997) comme «spécification formelle d'une conceptualisation partagée».

Ces deux définitions sont regroupées dans celle de Studer comme «*spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée*».

- **Formelle** : l'ontologie doit être lisible par une machine, ce qui exclut le langage naturel.
- **Explicite** : la définition explicite des concepts utilisés et des contraintes de leur utilisation.
- **Conceptualisation** : le modèle abstrait d'un phénomène du monde réel par identification des concepts clefs de ce phénomène.
- **Partagée** : l'ontologie n'est pas la propriété d'un individu, mais elle représente un consensus accepté par une communauté d'utilisateurs.

Guarino & Giaretta de leurs parts définissent l'ontologie comme « Une spécification rendant partiellement compte d'une conceptualisation». Swartout et ses collègues (Swartout et al, 1997) la déterminassent 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». Cette définition se base sur le fait qu'ils construisent des ontologies de connaissances spécifiques à des domaines d'expertise.

La même notion est également développée par Gomez, 1999 comme : « une ontologie fournit moyens de décrire de façon explicite la conceptualisation des connaissances représentées dans une base de connaissances. ».En conclusion nous pouvons définir une ontologie comme suit :

Une ontologie est une spécification formelle d'une conceptualisation commune d'un domaine indépendamment d'une application particulière, elle est utilisée par des personnes, des bases de données et des applications ayant besoin de partager des informations portant sur un domaine (Lassila et McGuinness, 2001).L'ontologie est donc le support de l'acquisition des connaissances et elle est aussi un outil utile pour interfacer les agents logiciels et les agents humains.

Pour communiquer, les agents doivent donc partager une ontologie et pour qu'une ontologie soit une connaissance partagée, elle doit être explicite et être exprimée dans un langage ou un formalisme partagé.

3.2.3 Notion d'ingénierie ontologique :

Historiquement, l'ingénierie ontologique a émergé de l'ingénierie des connaissances vu la détection d'un besoin de passer à une ingénierie s'appuyant plus solidement sur des fondements théoriques et méthodologiques, afin d'améliorer la conception des systèmes intelligents, elle permet de spécifier la conceptualisation d'un système, c'est-à-dire, de lui fournir une représentation formelle des connaissances qu'il doit acquérir, sous la forme de connaissances déclaratives exploitables par un agent.

L'ingénierie ontologique peut être définie comme une thématique visant à proposer des concepts, des méthodes, des outils et des langages dédiés à la définition, au développement et au déploiement d'ontologies exploitables au sein d'un (ou de plusieurs) Artefact.

3.2.4 Les objectifs d'ontologie :

L'ontologie permet de fournir un vocabulaire conceptuel dans un domaine donnée afin de permettre la communication au sujet de ce domaine, elle permet de définir les concepts utilisables pour décrire une connaissance consensuelle ainsi que les relations qui existent entre les concepts et leurs contraintes d'utilisation, donc elle fournit un cadre unificateur des concepts manipulés ce qui favorise la communication entre les membres de l'entreprise.

L'ontologie peut aussi permettre l'interopérabilité entre différentes méthodes, paradigmes, langage ou outils, elle peut permettre les multipoints de vues sur des connaissances.

En fin, elle permet de favoriser la réutilisabilité, la fiabilité et la spécification d'un système informatique.

3.2.5 Les composantes d'une ontologie :

Les ontologies fournissent un vocabulaire commun d'un domaine et définissent la signification des termes et des relations entre elles, les connaissances dans les ontologies sont principalement formalisées en utilisant cinq types de composants (Gomez et Benjamin, 1999) à savoir :

- ↳ Les concepts (ou classes),
- ↳ Les relations (ou propriétés),
- ↳ Les fonctions,
- ↳ Les axiomes (ou règles),
- ↳ Les instances (ou individus).

Ces composants sont illustrés dans la figure suivante.

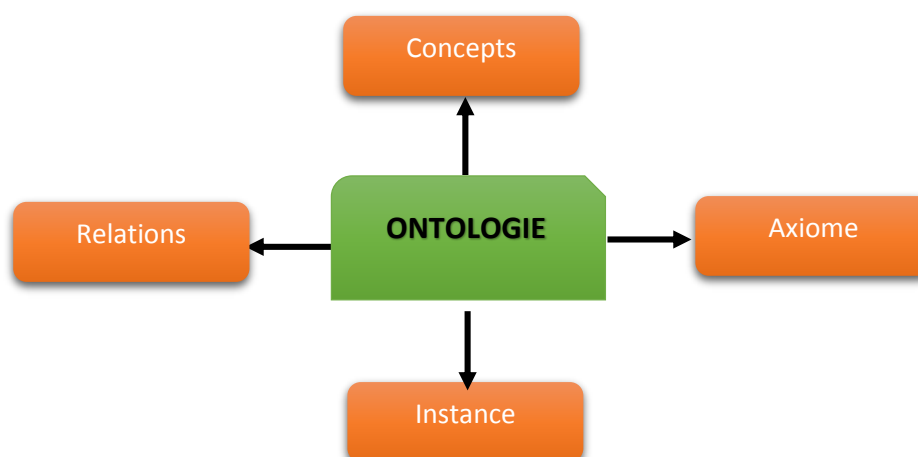


Figure14. Les Composants de l'ontologie.

3.2.5.1 Les concepts :

Une ontologie concerne principalement l'intention des concepts. Un concept est un constituant de la pensée (un principe, une idée, une notion abstraite) sémantiquement évaluable et communicable.

L'ensemble des propriétés d'un concept constitue sa compréhension ou son intention et l'ensemble des êtres qu'il englobe son extension. Ces concepts selon Gomez peuvent être classifiés selon trois dimensions :

- Niveau d'abstraction (concrets ou abstraits).
- Atomicité (élémentaires ou composés).
- Niveau de réalité (réelle ou fictive).

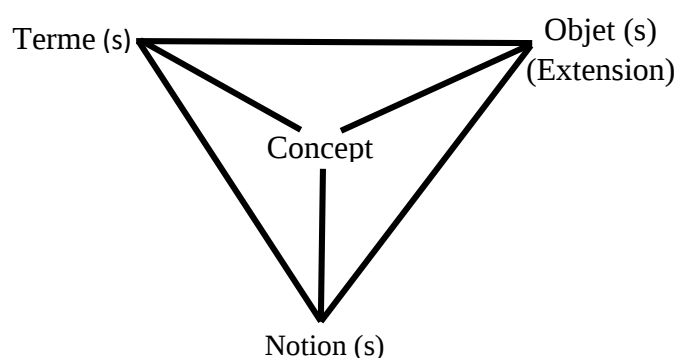


Figure15. Le concept.

Le terme est un élément lexical qui permet d'exprimer le concept en langue naturelle. Il peut admettre un acronyme et des variations.

La notion est le sens du terme, la partie intensionnelle du concept. Elle exprime un point de vue sur un objet individuel ou un ensemble d'objets.

L'objet est une entité de référence pour la notion, la partie extensionnelle du concept.

Les propriétés portant sur un concept :

- ↪ **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 :

- ↪ **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).

3.2.5.2 Les relations :

Elles traduisent les interactions existant entre les concepts présents dans le domaine analysé. Ces relations nous permettent de capturer la structuration ainsi que l'interaction entre les concepts, ce qui permet de représenter une grande partie de la sémantique de l'ontologie. Une relation permet de lier des instances de concepts, ou des concepts génériques. Une relation est caractérisée par un terme (voir plusieurs) et une signature. Les termes sont les labels ou les étiquettes de la relation. La signature précise le nombre d'instances de concepts, que la relation lie, leurs types et l'ordre des concepts (c'est à dire la façon dont la relation doit être lue). Par exemple, la relation "écrit" lie une instance du concept "personne" et une instance du concept "texte", dans cet ordre. 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.

3.2.5.3 Les fonctions :

Elles présentent des cas particuliers de relations dans lesquelles le nième élément de la relation est unique pour les $n-1$ éléments précédents. Formellement, les fonctions sont définies telles que : $F : C_1 * C_2 * ... * C_{n-1} * C_n$.

3.2.5.4 Les axiomes (ou Règles) :

Les axiomes permettent de modéliser des assertions acceptées comme vraies, à propos des abstractions du domaine traduites par l'ontologie. Leur inclusion dans une ontologie peut avoir plusieurs objectifs : interviennent dans la définition des significations des composants d'ontologie, les contraintes sur les valeurs des attributs, les arguments de relations et dans l'inférence de nouvelles informations, etc. Les axiomes formels sont utilisés pour vérifier la consistance de l'ontologie.

3.2.5.5 Les instances (ou individus) :

Elles constituent la définition extensionnelle de l'ontologie ; elles sont utilisées pour représenter des éléments dans un domaine.

3.2.6 Classification des ontologies :

Les ontologies peuvent être subdivisées en plusieurs dimensions, parmi celles-ci nous en examinerons cinq, à savoir :

- ↳ Selon l'objet de la conceptualisation.
- ↳ Selon le niveau de granularité.
- ↳ Selon le niveau de formalisation de la représentation des connaissances.
- ↳ Selon le niveau de la représentation des connaissances.
- ↳ Selon l'information dont l'ontologie a besoin et la richesse de sa structure interne.

3.2.6.1 Selon l'objet de la conceptualisation :

Dépendamment de leur objet de conceptualisation, les ontologies sont classifiées de la manière suivante :

↳ **Ontologie de représentation de connaissances** : Elle modélise les représentations primitives utilisées pour la formalisation des connaissances sous un paradigme donné.

Comme exemple : l'ontologie de Frame qui intègre les primitives de représentation des langages base de frames : classes, instances, facettes, propriétés/slots, relations, restrictions, valeurs permises, etc.

↳ **Ontologie supérieure ou de Haut niveau** : Cette ontologie est une ontologie générale. Son sujet est l'étude des catégories des choses qui existent dans le monde, qui sont les concepts de haute abstraction tels que : les entités, les événements, les états, les processus, les actions, le temps, l'espace, les relations, les propriétés. L'ontologie de haut de niveau est fondée sur : la théorie de l'identité, la méréologie (*theory of whole and parts rôle*) et la théorie de la dépendance.

↳ **Ontologie Générique/ méta-ontologies** : Egalement appelée noyau ontologique qui modélise des connaissances moins abstraites que celles véhiculées par l'ontologie de haut niveau mais assez générales néanmoins pour être réutilisées à travers différents domaines. Cette ontologie inclue un vocabulaire relatif aux choses, événements, temps, espace, causalité, comportement, fonction, etc.

↳ **Ontologie du Domaine** : Cette ontologie exprime des conceptualisations spécifiques à un domaine, elle est réutilisable pour plusieurs applications de ce domaine. Elle fournit les concepts et les relations permettant de couvrir les vocabulaires, activités et théories de ces domaines. Selon Mizoguchi, l'ontologie du domaine caractérise la connaissance du domaine où la tâche est réalisée. Par exemple, dans le contexte du e-learning, le domaine peut être celui de la formation.

↳ **Ontologie de Tâches** : L'ontologie de tâches fournit un vocabulaire systématisé des termes employés pour résoudre des problèmes liés aux tâches qui peuvent être ou non du même domaine. Elle fournit un ensemble de termes au moyen desquelles nous pouvons décrire généralement comment résoudre un type de problèmes, elle inclut des noms, des verbes et des adjectifs génériques dans les descriptions de tâches.

↳ **Ontologie d'application** : C'est l'ontologie la plus spécifique, elle contient des concepts dépendants d'un domaine et d'une tâche particulière, elle est spécifique et non réutilisable. Ces concepts correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine lors de l'exécution d'une certaine activité (Hernandez, 2005).

↳ **Ontologie de méthodes** : Ce type d'ontologie modélise les définitions des concepts et des relations pertinentes pour le processus de raisonnement afin d'effectuer une tâche spécifique.

3.2.6.2 Selon le niveau de granularité (détail) :

Par rapport au niveau de détail utilisé lors de la conceptualisation de l'ontologie en fonction de l'objectif opérationnel envisagé pour l'ontologie, deux catégories au moins peuvent être identifiées :

↳ **Granularité fine** : On parle sur ce niveau lorsque les ontologies sont très détaillées, ou possèdent un vocabulaire plus riche capable d'assurer une description détaillée des concepts pertinents

d'un domaine ou d'une tâche. Ce niveau de granularité peut s'avérer utile lorsqu'il s'agit d'établir un consensus entre les agents qui l'utiliseront.

↳ **Granularité large** : ce niveau correspond à des vocabulaires moins détaillés. Par exemple : les scénarios d'utilisation spécifiques où les utilisateurs sont déjà préalablement d'accord à propos d'une conceptualisation sous-jacente. Les ontologies génériques possèdent une granularité large, du fait que les concepts qu'elles traduisent sont normalement raffinés subséquentement dans d'autres ontologies de domaine ou d'application.

3.2.6.3 Selon le niveau de formalisation de la représentation :

Par rapport au niveau de formalisation de la représentation des connaissances de l'ontologie, on peut distinguer quatre sortes d'ontologies : (Psyché, 2007)

↳ **Informelle** : l'ontologie est exprimée en langage naturel (sémantique ouverte). Cela peut permettre de rendre plus compréhensible l'ontologie pour l'utilisateur mais peut rendre plus difficile la vérification de l'absence de redondances ou de contradictions.

↳ **Semi-informelle** : l'ontologie est exprimée dans une forme restreinte et structurée du langage naturel, cela permet d'augmenter la clarté de l'ontologie tout en réduisant l'ambiguïté.

↳ **Semi-formelle** : l'ontologie est exprimée dans un langage artificiel défini formellement.

↳ **Formelle** : l'ontologie est exprimée dans un langage artificiel disposant d'une sémantique formelle ainsi que des théorèmes permettant de prouver ses propriétés, l'intérêt d'une ontologie formelle est la possibilité d'effectuer des vérifications telles que la complétude, la non-redondance, la consistance, la cohérence, etc.

3.2.6.4 Selon le niveau de la représentation des connaissances :

L'appellation de niveaux de représentation des connaissances ainsi que leur interprétation peuvent varier selon les auteurs. À titre de comparaison, nous décrivons les typologies de Mizoguchi et de Bachimont, d'une part, Mizoguchi propose une typologie sur trois niveaux très axée sur le processus d'ingénierie ontologique :

↳ **Niveau 1 (ou niveau conceptuel)** : Il est spécifié en faisant abstraction de toute contrainte informatique et sert donc de support à l'acquisition des connaissances. c'est une collection structurée de termes. La tâche fondamentale dans la construction d'une ontologie est l'articulation du monde d'intérêt, c'est-à-dire l'extraction des concepts et leur identification dans des hiérarchies de type *is-a*, cette étape est indispensable pour que l'on puisse parler d'ontologie. À ce stade, la modélisation étant informelle, une spécification en langage naturel complétée de graphiques est acceptable et des définitions minimales des concepts sont faites.

↳ **Niveau 2 (ou niveau formel)** : Il est formalisé au moyen d'un langage de représentation interprétable par une machine ; en plus des définitions du niveau 1, les définitions formelles sont ajoutées pour empêcher des interprétations inattendues des concepts. De même, les relations ou contraintes nécessaires sont également traduites en langage machine pour former un ensemble

d'axiomes ; à ce stade, les relations sont plus riches que celles du niveau précédent. Les définitions sont déclaratives et formelles pour permettre aux ordinateurs de les interpréter, l'interprétation d'une ontologie à ce niveau permet aux ordinateurs de répondre aux questions sur les modèles construits à partir de l'ontologie. La plupart des efforts de construction de l'ontologie aboutissent à ce niveau.

↳ **Niveau 3 (ou niveau opérationnel)** : Il est encodé au moyen d'un langage de programmation dont la spécification obtenue est exécutable. L'ontologie est exécutable dans le sens où les modèles construits à partir de l'ontologie fonctionnent en utilisant des modules fournis par quelques-uns des codes abstraits associés aux concepts dans l'ontologie. Ainsi, elle peut répondre à des questions à propos de la performance du temps d'exécution des modèles.

D'autre part, Bachimont propose une typologie de trois niveaux très axée sur la construction de la signification :

↳ **Niveau sémantique (ou interprétatif)** : tous les concepts (caractérisés par un libellé) doivent respecter les quatre principes différentiels :

- Communauté avec l'ancêtre.
- Différence (spécification) par rapport à l'ancêtre.
- Communauté avec les concepts frères (situés au même niveau).
- Différence par rapport aux concepts frères (sinon il n'aurait pas lieu de le définir).

Ces principes correspondent à l'engagement sémantique qui s'assure que le libellé de chaque concept aura un sens univoque et non contextuel associé. Deux concepts sémantiques sont identiques si l'interprétation du terme/libellé à travers les quatre principes différentiels aboutit à un sens équivalent.

↳ **Niveau formel (ou référentiel)** : En ajout aux caractéristiques énoncées au niveau précédent, les concepts référentiels se caractérisent par un terme/libellé dont la sémantique est définie par une extension d'objets. L'engagement ontologique spécifie les objets du domaine qui peuvent être associés au concept conformément à sa signification formelle. Deux concepts formels sont identiques s'ils possèdent la même extension.

Exemple : Les concepts « d'étoile du matin » et « d'étoile du soir » associés à Venus.

↳ **Niveau opérationnel (ou computationnel)** : En plus des caractéristiques énoncées au niveau précédent, les concepts au niveau opérationnel sont caractérisés par les opérations qu'il est possible de leur appliquer pour générer des inférences ou engagement computationnel. Deux concepts opérationnels sont identiques s'ils possèdent le même potentiel d'inférence.

3.2.6.5 Selon l'information dont l'ontologie a besoin et la richesse de sa structure interne :

Lassila et McGuinness (Lassila et McGuinness, 2001) proposent une classification des ontologies selon l'information dont l'ontologie a besoin et la richesse de sa structure interne. Cette classification consiste en un continuum allant d'ontologies légères aux ontologies lourdes :

↳ **Vocabulaire contrôlé** : C'est un ensemble de termes définis par un groupe de personnes ou une communauté, la signification des termes n'est pas forcément définie et il n'y a pas d'organisation logique entre les termes. Ce vocabulaire peut être utilisé afin de labelliser des contenus documentaires. Les catalogues sont des exemples de vocabulaires contrôlés.

↳ **Glossaire** : C'est un ensemble de termes avec leur signification, la définition de chaque terme est donnée en langage naturel. Cette représentation apporte plus d'informations car une personne peut lire la définition, cependant elle n'est pas interprétable par l'ordinateur.

○ **Thésaurus** : Glossaire contenant des descriptions sémantiques entre les termes. Ils sont principalement utilisés pour assister les documentalistes dans la tâche d'indexation manuelle de documents, ils sont reconnus pour présenter différents avantages dans ce contexte, ils offrent tout d'abord une vue générale sur les termes et relations d'un domaine, ils définissent ensuite un vocabulaire standardisé pour l'indexation. Ils permettent d'assurer qu'un seul terme d'un ensemble de synonymes soit choisi pour l'indexation (terme dit « à utiliser »). Les thésaurus sont également utilisés lors de la spécification d'une requête pour spécifier ou généraliser une recherche documentaire à partir des termes dits plus spécifiques ou plus génériques.

↳ **Hiérarchie informelle de généralisation (is-a)** : sa structure est basée non pas sur des relations de généralisation mais sur la proximité des concepts.

↳ **Hiérarchie formelle de généralisation (is-a)** : sa structure est déterminée par des relations de généralisation.

↳ **Hiérarchie formelle de généralisation (is-a) avec instances du domaine** : Similaire à la catégorie précédente mais incluant des instances.

↳ **Frame** : ontologies incluant des classes avec propriétés pouvant être héritées.

↳ **Ontologies avec restrictions de valeur** : ontologies pouvant contenir des restrictions sur les valeurs des propriétés.

↳ **Ontologies avec contraintes logiques** : ontologies pouvant contenir des contraintes entre constituants (exemple relations) définies dans un langage logique.

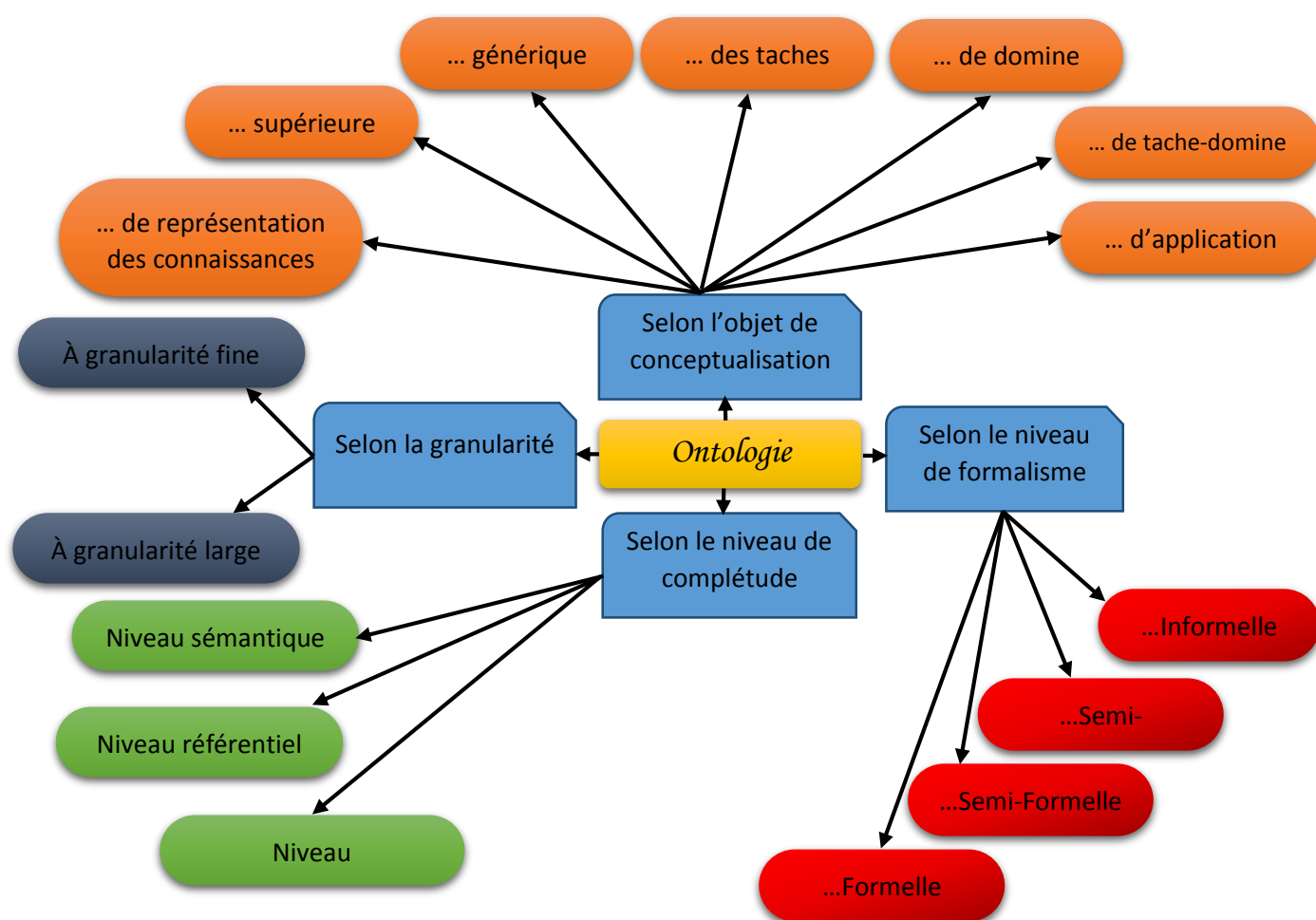


Figure 16. Classification des ontologies.

3.2.7 Principes de construction des ontologies

Le processus de construction d'ontologies, appelé ingénierie ontologique, peut être décrit selon les principes qui le gouvernent, et les méthodologies et les outils qui le soutiennent. Il existe un ensemble de critères et de principes qui ont fait leurs preuves dans le développement des ontologies et qui peuvent être résumés comme suit :

- ✦ **Clarté et objectivité (Gruber) :** L'ontologie doit fournir la signification des termes définis en fournissant des définitions objectives ainsi qu'une documentation en langue naturelle.
- ✦ **Complétude (Gruber) :** Une définition exprimée par des conditions nécessaires et suffisantes est préférée à une définition partielle (définie seulement par une condition nécessaire et suffisante).
- ✦ **Cohérence (Gruber) :** Une ontologie cohérente doit permettre des inférences conformes à ces définitions.

- ✦ **Extensibilité ontologique maximale (Gruber)** : De nouveaux termes généraux et spécialisés devraient être inclus dans l'ontologie d'une façon qui n'exige pas la révision des définitions existantes (des définitions sur mesure).
- ✦ **Principe de distinction ontologique (Borgo)** : Les classes dans une ontologie devraient être disjointes.
- ✦ **Distance sémantique minimale (Arpirez)** : Il s'agit de la distance minimale entre les concepts enfants de mêmes parents. Les concepts similaires sont groupés et représentés comme les sous classes d'une classe, et devraient être définis en utilisant les même primitives, considérant que les concepts qui sont moins similaires sont représentés plus loin dans la hiérarchie.
- ✦ **Normalisation des noms (Arpirez)** : Ce principe indique qu'il est préférable de normaliser les noms autant que possible. Cet ensemble de critères et de processus est généralement accepté pour guider le processus d'ingénierie ontologique.

3.2.8 Les étapes suivies lors de la construction d'une ontologie :

Le processus de construction d'ontologies repose sur un enchaînement de trois étapes (conceptualisation, ontologisation, opérationnalisation) permettant de passer des données brutes à l'ontologie opérationnelle. Les données brutes, constituant un corpus (exprimé a priori en langage naturel), intègrent toutes les connaissances du domaine que l'on souhaite formaliser.

L'étape 1 : La conceptualisation

Elle consiste à identifier précisément, à partir du corpus (ensemble de documents généralement exprimés en langage naturel qui doivent couvrir l'ensemble du domaine de connaissances considéré) et à travers des interviews avec les experts du domaine, les objets conceptuels propres au domaine considéré (concepts, relations et axiomes), certaines connaissances implicitement utilisées dans le domaine ne sont cependant jamais exprimées, ni dans le corpus, ni par les experts, car elles sont acquises par l'expérience sensorielle et accumulées différemment. Un des points les plus délicats de la conceptualisation consiste donc à identifier ces connaissances. La mise en évidence de ces connaissances implicites ne peut a priori se faire que lors de l'utilisation de l'ontologie.

On obtient alors un modèle conceptuel informel (car exprimé en langage naturel) ou une ontologie informelle.

L'étape 2 : L'ontologisation

L'ontologisation consiste en une formalisation partielle autant que possible, sans perte d'information, du modèle conceptuel. Il s'agit de transcrire les connaissances exprimées a priori en langage naturel dans un langage ou paradigme de représentation d'ontologie (le model Frame, le modèle entité relation, le modèle de graphe conceptuel ou réseau sémantique. Ce travail doit être

mené par l'ingénieur de la connaissance, assisté de l'expert du domaine. Cette étape facilite sa représentation ultérieure dans un langage complètement formel et opérationnel (Fürst 03).

L'ontologisation peut être complétée par une étape d'intégration au cours de laquelle une ou plusieurs ontologies vont être importées dans l'ontologie à construire.

L'étape 3 : L'opérationnalisation

L'opérationnalisation consiste à l'intégration des connaissances dans un système à base de connaissance donc à outiller l'ontologie pour permettre à une machine (via cette ontologie) de manipuler des connaissances du domaine, cette étape consiste ainsi à formaliser complètement l'ontologie obtenue précédemment dans le cadre d'un langage de représentation de connaissances formel et opérationnel.

Dans le cas où le langage d'ontologisation n'est pas opérationnel, il est nécessaire, soit d'outiller ce langage (dans la mesure du possible) soit de transcrire l'ontologie dans un langage opérationnel. Avant d'être livrée aux utilisateurs, l'ontologie doit bien sûr être testée par rapport au contexte d'usage pour lequel elle a été bâtie.

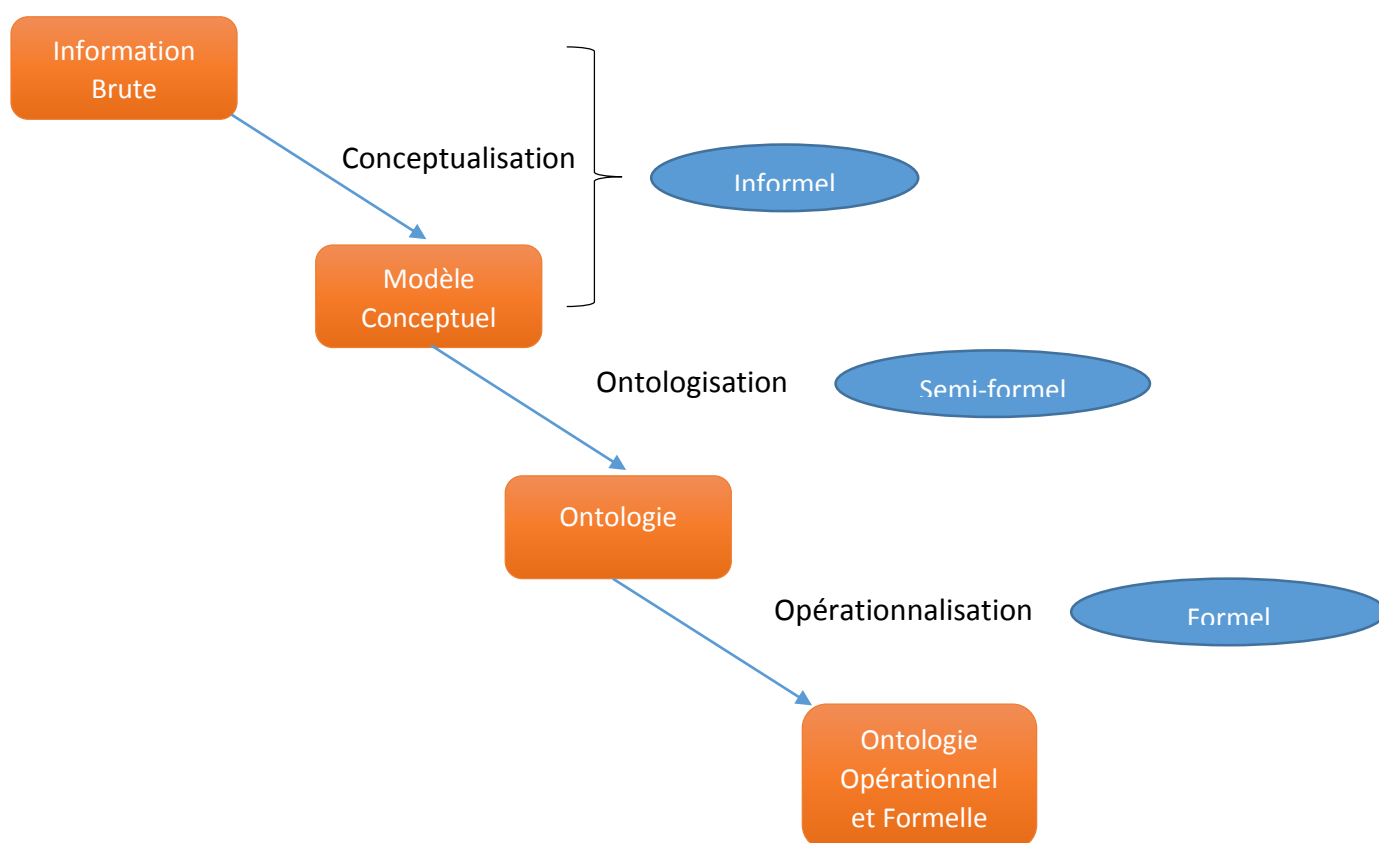


Figure 17. Construction d'ontologie opérationnelle.

Le processus de construction d'une ontologie est un processus très complexe, impliquant plusieurs intervenants dans les différentes phases du processus. La gestion de cette complexité exige la

mise en place de processus de gestion, afin de contrôler les coûts et le risque, et d'assurer la qualité tout au long du processus de construction (Psyché 2007).

Il n'existe pas encore de consensus à propos des meilleures pratiques à adopter lors du processus de construction ou même des normes techniques régissant le processus de développement des ontologies, bien que certaines contributions dans cette direction soient déjà disponibles dans les écrits.

Une méthodologie étant considérée comme ensemble de principes de construction systématiquement reliés, appliqués avec succès par un auteur dans la construction d'ontologies. Les méthodologies recensées permettent la construction d'ontologies à partir du début, par intégration ou fusion avec d'autres ontologies, par re-ingénierie, par construction collaborative, ainsi que par l'évaluation des ontologies construites.

Aux méthodologies sont généralement associés des outils de modélisation et d'éditations. Une liste non exhaustive de méthodes de construction figurant sur le tableau ci-dessous :

Méthodes (Identification /auteurs et année)
Approche unifiée (Uschold et Gruninger 1995)
CO4 (Euzenat 1995)
Projet KATUS (Bernaras et al. 1996)
Methontology (Fernandez-Lopéz et Gomez Pérez 1997)
KRAFT (Jones 1998)
(KA)2 (Decker et al. 1999)
Method for Reengineering (Gomez Pérez et Rojas 1999)
PROMPT (Noy et Musen 2000)
Modèle en V (Stevens 2001)
Méthodologie (Nuy et McGuinness 2001)
Approche collaborative (Holsapple et al. 2002)
OntoSpec (Kassel 2002)
MI2O (Valéry Psyché 2007)

Tableau 4. Liste des méthodes de construction d'ontologies.

3.2.9 Validation d'une ontologie :

La validation de l'ontologie en amont de son opérationnalisation est souhaitable, la validité des hiérarchies doit donc être testée dès la phase d'ontologisation, aussi bien du point de vue formel que du point de vue sémantique.

- **La validation formelle consiste à vérifier que :**

- ↳ Il n'y a pas de cycle (pas de définition en boucle).
- ↳ Il n'y a pas redondance de concepts ou de relations.
- ↳ Chaque hiérarchie est bien connexe (pas de concept ou de relation isolé des autres et donc sans aucun sens) (Gomez 1999),
- ↳ La hiérarchie est conforme aux choix de modélisation (par exemple la détection de l'héritage multiple).

- **La validation sémantique consiste à vérifier :**

- ↳ La cohérence sémantique de l'ontologie.
- ↳ La validation sémantique permet de contrôler que la structure des hiérarchies est correcte de point de vu sémantique, le sens des concepts ainsi que les liens existant entre ces concepts doivent avoir un sens pour les experts du domaine.

Le deuxième cas nécessitant l'évolution d'une ontologie est celui où les objectifs changent, c'est-à-dire que le contexte d'usage est modifié, ou que le domaine de connaissance est élargi. On peut décider soit de construire une nouvelle ontologie avec les connaissances à ajouter et l'intégrer dans l'ontologie déjà constituée (ce qui revient à fusionner les deux ontologies chose qui reste un thème de recherche encore peu exploré), soit d'agréger directement les nouvelles connaissances dans l'ontologie existante.

3.2.10 Cycle de vie d'une ontologie

Les ontologies utilisées comme des composants logiciels dans des systèmes répondant à des objectifs opérationnels différents, leur développement doit s'appuyer sur les mêmes principes que ceux appliqués en génie logiciel.

Les activités liées aux ontologies sont d'une part des activités de gestion de projet (planification, contrôle, assurance qualité), et d'autre part des activités de développement (spécification, conceptualisation, formalisation). S'y ajoutent des activités transversales de support telles que l'évaluation, la documentation, la gestion de la configuration. Un cycle de vie inspiré du génie logiciel est présenté dans (**Furst 02**). Chaque étape de ce cycle de vie pose des problèmes de recherche.

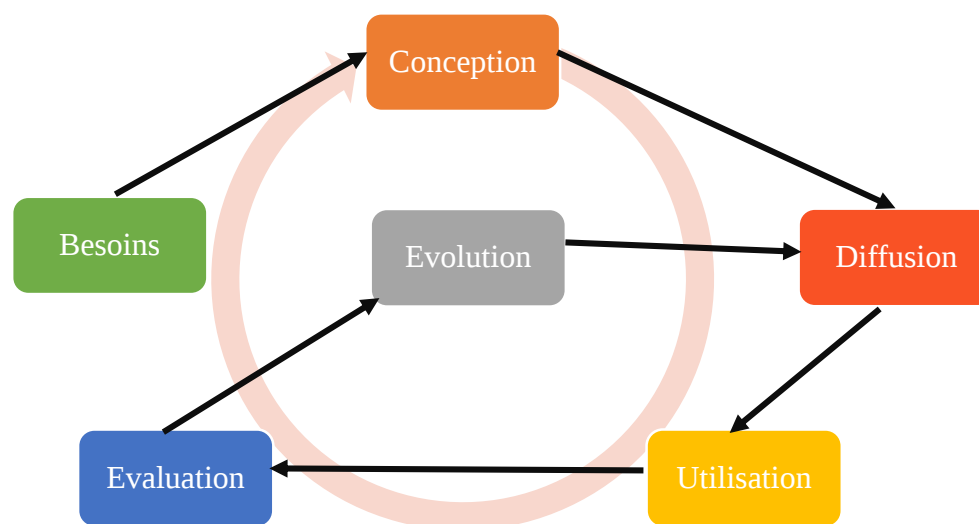


Figure 18. Cycle de vie d'une ontologie.

3.3 Outils d'édition des ontologies

De nombreux outils de construction d'ontologies utilisant des formalismes variés ont été développés, beaucoup d'outils offrent des supports pour le processus d'ontologisation, mais peu d'entre eux offrent une aide à la conceptualisation. Ces outils d'aide à la construction d'ontologie sont plus ou moins indépendants des formalismes de représentation, parmi ces outils, on peut citer :

↳ PROTEGE

Protégé est un environnement graphique de développement d'ontologies développé par le SMI de Stanford. Il est disponible sur les plates-formes différentes comme Windows, Mac OS, Solaris, Linux, Unix. On l'utilise pour le but de construire un domaine d'ontologie, d'adapter l'interface d'usage pour l'acquisition des connaissances, de créer les connaissances d'un domaine en ajoutant les instances.

Dans le modèle des connaissances de Protégé, les ontologies consistent en une hiérarchie de classes qui ont des attributs (slots), qui peuvent eux-mêmes avoir certaines propriétés (facettes). C'est-à-dire les classes constituent une hiérarchie taxonomique. On peut voir la relation de sous classes dans un arbre. On peut avoir l'héritage multiple et la racine de la hiérarchie est la classe : **THING**. Ce sont les métaclasse, donc, les individus et les classes peuvent être les instances d'une autre classe. C'est pourquoi peut-on définir des nouvelles classes dans une ontologie et utiliser Protégé comme un éditeur pour différents systèmes de représentation de connaissance, ainsi les différentes langues comme DAML+OIL, OWL qui sont disponible de télécharger comme des plugins de Protégé.

Grâce aux trois types d'objets classes, attributs, et propriétés et l'interface graphique intermédiaire, on n'a pas besoin d'exprimer ce que l'on a à spécifier dans un langage formel : il suffit juste de remplir les différents formulaires correspondant à ce que l'on veut spécifier. Il peut également tester les uniformités avec l'ontologie pour les nouvelles données, réutiliser les autres ontologies existantes grâce à l'insertion de plugins pouvant apporter de nouvelles fonctionnalités (par exemple :

PROMPT Tab plugin pour importer, exporter, fusionner des ontologies, déterminer des conflits, proposer un conflit résolution, etc... ou OWLS Tab qu'on va utiliser pour décrire des services Web).

Donc, cette architecture avec l'interface très bien conçue a participé au succès de Protégé2000 qui regroupe une communauté d'utilisateurs assez importante et constitue une référence pour beaucoup d'autres outils.

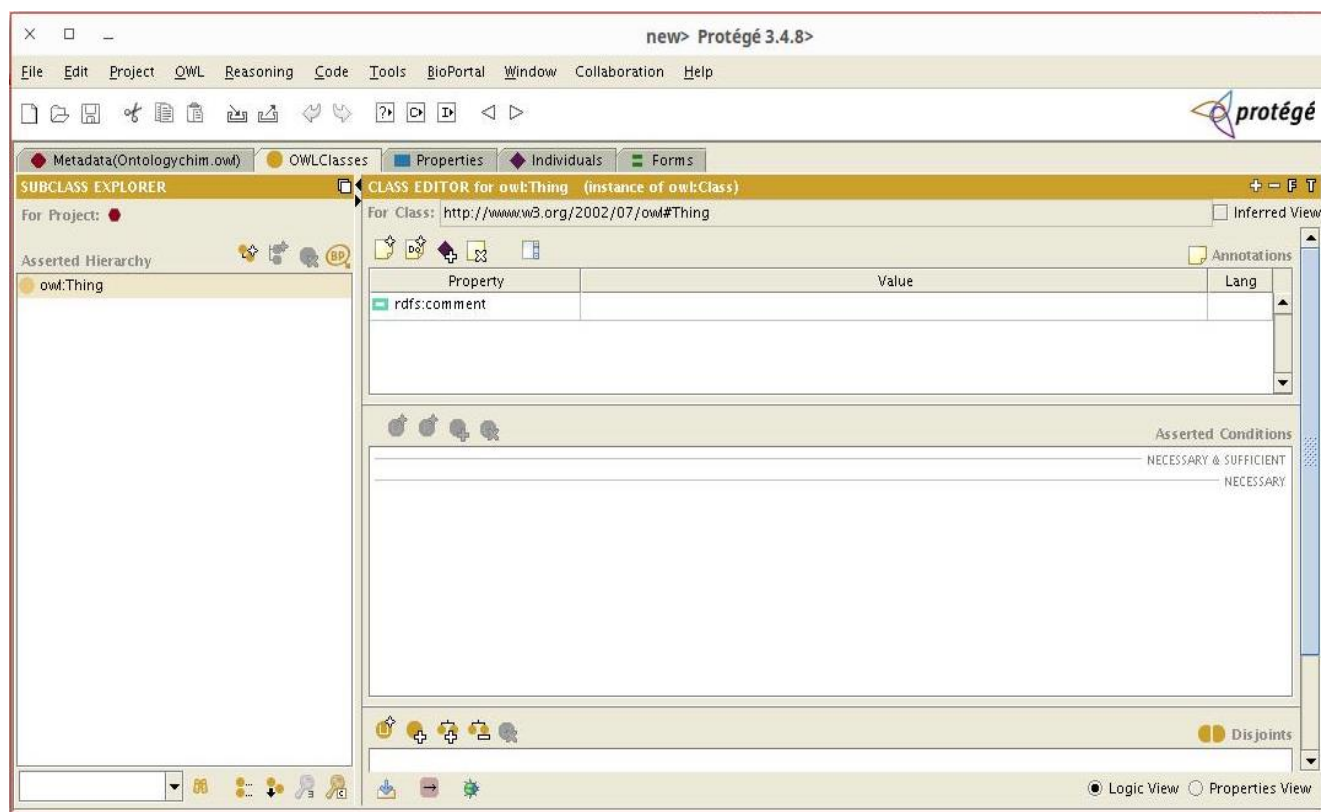


Figure 19. La fenêtre principale de Protégé.

3.4 Langages de représentation d'ontologies

Un langage d'ontologie est un langage formel permettant de représenter une ontologie, décrire les annotations, exploiter et raisonner sur les contenus des ressources. Parmi les langages existant dans la littérature nous citons OWL (Ontology Web Language) :

3.4.1 Ontology Web Language (OWL)

Le langage OWL fournit des mécanismes pour créer tous les composants d'une ontologie : classes, instances, propriétés et axiomes. OWL repose également sur la syntaxe des triplets RDF et réutilise certaines des constructions RDFS. Comme en RDFS, les classes peuvent avoir des sous-classes, fournissant ainsi un mécanisme pour le raisonnement et l'héritage des propriétés. Par contre, en OWL, on distingue :

- a. Les propriétés objet (object property), i.e. les relations, qui relient des instances de classes à d'autres instances de classes. C'est l'équivalent des triplets RDF dont l'objet est une ressource.

- b. Les propriétés type de données (datatype property), i.e. les attributs, qui relient des instances de classes à des valeurs de types de données (nombres, chaînes de caractères,...). C'est l'équivalent des triplets RDF dont l'objet est une valeur littérale.

Les axiomes fournissent de l'information au sujet des classes et des propriétés, spécifiant par exemple l'équivalence entre deux classes. Donc OWL permet de définir des ontologies comme un jeu de définition de classes, de propriétés et de contraintes.

Toute classe définie dans une ontologie OWL est une sous-classe d'owl : Thing. OWL a été fractionné en trois langages distincts chacune étant une extension de la précédente :

- ↳ **OWL Lite** : Convient aux utilisateurs qui ont principalement besoin d'une hiérarchie de classification et de contraintes simples. Ce sous langage reprend tous les constructeurs de RDF (c'est-à-dire fournit des mécanismes permettant de définir un individu comme instance d'une classe, et de mettre des individus en relation), il utilise les mots-clés de RDFS (rdfs:subClassOf, rdfs:Property, rdfs:subPropertyOf, rdfs:range, rdfs:domain), avec la même sémantique, et il supporte les contraintes de cardinalité, mais ne permet d'utiliser que les valeurs 0 ou 1.
- ↳ **OWL DL** : Convient aux utilisateurs qui veulent le maximum d'expressivité, ce sous langage reprend tous les constructeurs d'OWL LITE, il permet tout entier positif dans les contraintes de cardinalité, et le tire son nom de sa correspondance avec les logiques de descriptions.
- ↳ **OWL FULL** : ce sous langage reprend tous les constructeurs d'OWL DL, et tous les constructeurs de RDF Schéma. Il permet d'utiliser une classe en position d'individu dans les constructeurs.

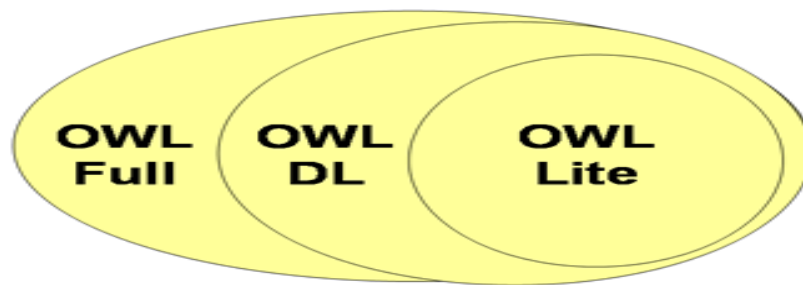


Figure 20. La relation entre les trois versions de l'OWL.

3.4.2 JENA

Jena est un « open source framework » de Web sémantique pour Java. Il fournit une API pour extraire des données et d'écrire des données sur des graphes RDF. Les graphes sont représentés comme un modèle abstrait. Un modèle peut être obtenu auprès de données à partir de fichiers, bases de données, des URL ou une combinaison de ceux-ci. Un modèle peut également être interrogé par SPARQL et mis à jour par SPARUL.

Jena est similaire à Sesame, bien que, Jena fournit un support pour OWL (Web Ontology Language). Jena a plusieurs raisonneurs internes et le raisonneur Pellet (une open source Java OWL-DL raisonneur) peut être mis en place pour travailler à Jena.

Jena peut supporter la sérialisation de graphes RDF pour :

- Une base de données relationnelle
- RDF / XML
- Turtle (tortue)
- Notation 3

Jena est une API Java pour les applications Web sémantique. Le paquet-clé RDF pour le développeur d'applications est *com.hp.hpl.jena.rdf.model*. L'API a été définie en termes d'interfaces donc le code de l'application peut fonctionner avec différentes implémentations sans changement. Ce paquet contient des interfaces pour représenter des modèles, des ressources, des propriétés, des littéraux, des déclarations et tous les autres concepts-clés de RDF, et une *ModelFactory* pour créer des modèles. Ainsi ce code d'application reste indépendant de l'implémentation, il est préférable s'il utilise des interfaces dans la mesure du possible et pas les implémentations de classes spécifiques.

Le paquet *com.hp.hpl.jena.tutorial* contient le code source du travail pour tous les exemples utilisés dans ce tutoriel.

Les paquets *com.hp.hpl...jenaimpl* contiennent l'implémentation des classes qui peuvent être communes à plusieurs implémentations. Par exemple, elles définissent les classes *ResourceImpl*, *PropertyImpl* et *LiteralImpl*, qui peuvent être utilisées directement ou dérivées par différentes implémentations. Les applications doivent rarement, voire jamais, utiliser ces classes directement. Par exemple, plutôt que de créer une nouvelle instance de *ResourceImpl*, il vaut mieux utiliser la méthode *createResource* quel que soit le modèle utilisé. Ainsi, si l'implémentation du modèle a utilisé une implémentation optimisée de *Resource*, alors aucune conversion entre les deux types ne sera nécessaire.

3.5 Apport du Web sémantique et d'ontologie en chimie

L'objectif du e-Learning est de dégager les anciennes façons concernant le temps, la place, le contenu de l'apprentissage prédéterminé avec des processus d'apprentissage à temps, à la place de travail, de manière personnalisée et à la demande de l'utilisateur. Grâce à la propriété clé de l'architecture du Web sémantique avec le sens partagé commun, métadonnées manipulables par les machines, ces exigences peuvent être satisfaites. Le Web Sémantique peut aussi offrir une plate-forme adéquate pour implémenter des systèmes de type laboratoire virtuel.

Une ontologie est toujours construite en fonction de son usage. Dans le cas des laboratoires virtuels, l'utilisation d'ontologies peut intervenir pour (Mahdjoub 2009) :

- **La communication** : elle permet de créer un "vocabulaire" standardisé et facilite la communication entre les différents acteurs de la formation, entre les systèmes et entre les acteurs et les systèmes.
- **L'interopérabilité (communication entre systèmes)** : elle permet de soutenir la conception des systèmes de formation e-Learning. Le degré de formalité requis doit être rigoureusement formel.
- **Le partage et la réutilisation des informations pédagogiques** : l'utilisation des ontologies permet la mise en correspondance des contenus sémantiques des objets pédagogiques utilisés dans différents systèmes. Elle facilite la réutilisation des objets pédagogiques par d'autres systèmes, au moyen d'une traduction automatique.
- **L'indexation et la recherche d'information pédagogique** : les ontologies peuvent être utilisées comme méta-descripteur pour décrire le contenu sémantique associé aux objets.
- **Mise à jour des informations pédagogiques** : les ontologies peuvent contribuer à rendre le processus de mise à jour des objets pédagogiques qu'elles décrivent, plus facile et plus efficace.
- **Les connaissances du domaine e-Learning** : l'utilisation des ontologies permet d'améliorer le processus d'acquisition de connaissances lors de la construction d'une formation e-Learning. Cela se traduit par une meilleure organisation des objets pédagogiques et des connaissances du domaine.
- **La spécification de notions** : les ontologies peuvent être utilisées comme moyen de spécification des notions à appréhender et des relations entre notions d'une formation donnée.

3.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le web sémantique et les ontologies et leur utilisation. L'ontologie est une conceptualisation d'un domaine à laquelle sont associés un ou plusieurs vocabulaires de termes, elles servent à décrire formellement des concepts et des relations entre elles, donc elles apparaissent désormais comme une clé pour la manipulation automatique de l'information au niveau sémantique

Les apports d'utilisation des ontologies sont divers, elles jouent un rôle important dans les systèmes à base de connaissance, outre la réutilisation et le partage de connaissances, elles permettent de faciliter la communication entre les acteurs de différentes organisations et en particulier, la réalisation de l'interopérabilité entre différents systèmes, elles permettent aussi non seulement la création de systèmes mais capables de gérer et de raisonner sur ces connaissances.

Elles peuvent être décrites dans plusieurs outils de construction d'ontologie (WEBONTO, ONTOLINGUA, WEBONTO, PROTEGE, etc.) mais nous pouvons dire que l'outil PROTEGE s'impose comme référence. Nous avons achevé ce chapitre par la présentation des apports de web sémantique et les ontologies au notre domaine d'étude qui est la chimie.

CAPITRE 04 : CONCEPTION ET REALISATION

CAPITRE 04 : CONCEPTION ET REALISATION

CAPITRE 04 : CONCEPTION ET REALISATION

PARTIE 01 : CONCEPTION

4.1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à la conception et l'implémentation de notre ontologie, la conception a été faite en reposant sur une méthodologie qui est une étude des méthodes scientifiques et techniques ou un ensemble des procédés et des techniques propres à un domaine spécifique. Une méthode est un ensemble de principes théoriques et pratiques appliquées dans l'enseignement d'un art ou d'une science, tout en suivant le processus de construction des ontologies, notre ontologie est appelé Chim_Onto. Par la conception de notre ontologie nous visons à atteindre deux objectifs :

- ↳ Construction d'une ontologie pour les manipulations dans le domaine de la chimie, en fournissant un vocabulaire conceptuel qui permet l'annotation et la description des manipulations (expériences ou analyses chimiques) avec tous leurs renseignements descriptifs et conditionnels ainsi que l'outillage et l'équipement mis en jeux pour leur réalisation. Ceci permet à Chim_Onto d'être adaptée à différents objectifs et utilisée dans différents domaines.
- ↳ Réalisation d'une application d'apprentissage en chimie qui permet d'un côté d'assister, de guider, et d'aider l'étudiant (l'apprenant) dans son apprentissage expérimental et d'un autre côté d'exploiter et d'interroger l'ontologie, de ce faite Chim_Onto doit permettre de répondre aux requêtes suivantes (à titre d'exemple) :
 - Quels sont les prérequis nécessaires pour pouvoir faire une manipulation.
 - Quelles sont les étapes à suivre pour réaliser une telle manipulation.
 - Quelle est la fiche technique d'une manipulation.
 - Quelle est la vidéo ou l'image correspondante à une manipulation.
 - Quelles sont les caractéristiques d'outillages utilisés.
 - Quels sont les risques prévus et à éviter pendant la manipulation.
 - Quelles sont les mesures de sécurité à prendre pendant le travail expérimental.

D'une autre part, la conception d'une ontologie à besoin de définir une sémantique pour le système à développer, on a utilisé des classes mère et interfaces prédéfinis, pour créer des nouvelles ontologies utilisées pour la sémantique des messages de communication entre les différents processus de notre système.

4.2 Conception de l'ontologie de l'application

4.2.1. Choix d'une méthodologie de construction

Pour construire l'ontologie d'application, la méthode développée par (Bernaras *et al*, 1996) a été utilisée, elle repose sur trois étapes :

- ↳ Spécifier l'application basée sur l'ontologie en particulier les termes à collecter et les tâches à effectuer en utilisant cette ontologie.
- ↳ Organiser les termes en utilisant les métas catégories : concepts, relations, attributs, etc.
- ↳ Affiner l'ontologie et la structurer selon des principes de modularisation et d'organisation hiérarchiques.

Ce choix peut être justifié par deux raisons :

Cette méthode est conditionnée au développement d'une application, en d'autres termes elle est adaptée à la construction des ontologies d'application plutôt que des ontologies de domaines.

Elle s'articule autour d'un ensemble de termes qui doit être reformulé en une ontologie. Dans le cas de notre travail, on disposait au début d'un ensemble de termes qui sont utilisés dans le milieu d'enseignement universitaire. A titre d'exemple on peut citer : enseignant, module, chapitre, série de TP... etc.

Pour réaliser notre objectif, l'ontologie sera construite dans l'esprit de fournir un vocabulaire conceptuel, qui permet l'annotation des documents pédagogiques, ensuite une application de recherche de documents par leurs métadonnées sera développée. Puis la collecte des termes à l'affinement de l'ontologie ou on ne peut pratiquement dissocier les étapes de construction d'une ontologie, car il s'agit d'un processus non linéaire, plusieurs allers-retours ont été fait lors du développement de l'ontologie de ce projet, pour les raisons suivantes :

Il n'était pas possible de savoir dès le départ, que les termes collectés sont suffisants pour répondre à l'objectif pour lequel l'ontologie a été construite, on a ajouté des nouveaux termes lorsque c'était nécessaire, tout de même on a retiré des termes qu'on a jugés inutiles.

Il n'était pas toujours facile de prédire qu'un terme va jouer le rôle d'une classe ou celui d'un attribut, plusieurs modifications ont été effectuées dans ce sens.

Pour représenter l'ontologie conceptuelle réalisée, on a construit :

- ↳ Une liste de concepts.
- ↳ Une liste d'attributs.
- ↳ Une liste de relations.
- ↳ Une représentation hiérarchique des concepts.
- ↳ Un diagramme de classe en UML.

Par la détermination des buts globaux de notre système avec quelques détails. Cet ensemble des buts est la première étape et peut être incomplète ; en effet comme c'est souvent le cas, développé des scénarios de cas d'utilisation suggère les buts additionnels qui sont inclus dans le diagramme de buts (schéma ci-dessous).

Nous représentons les sous buts et certains de leurs détails :

- ❖ Gestion d'administration.
 - Gestion des utilisateurs.
 - ↳ Gestion des comptes apprenants.
 - Mise-à-jour des apprenants.
 - Consultation des apprenants.
 - ↳ Gestion des comptes enseignants.
 - Mise-à-jour des enseignants.
 - Consultation des enseignants.
 - ↳ Gestion d'accès.
 - Inscription.
 - Connexion.
 - Déconnexion.
- ❖ Gestion des groupes
 - Mise-à-jour des groupes.
 - Consultation des groupes.
 - Gestion d'accès.
- ❖ Gestion de la communication.
- ❖ Gestion des rapports.
 - Mise-à-jour des rapports.
 - Consultation des rapports.
- ❖ Supervision des apprenants.
 - Capter l'écran de l'apprenant.
 - Archiver les scènes captées.

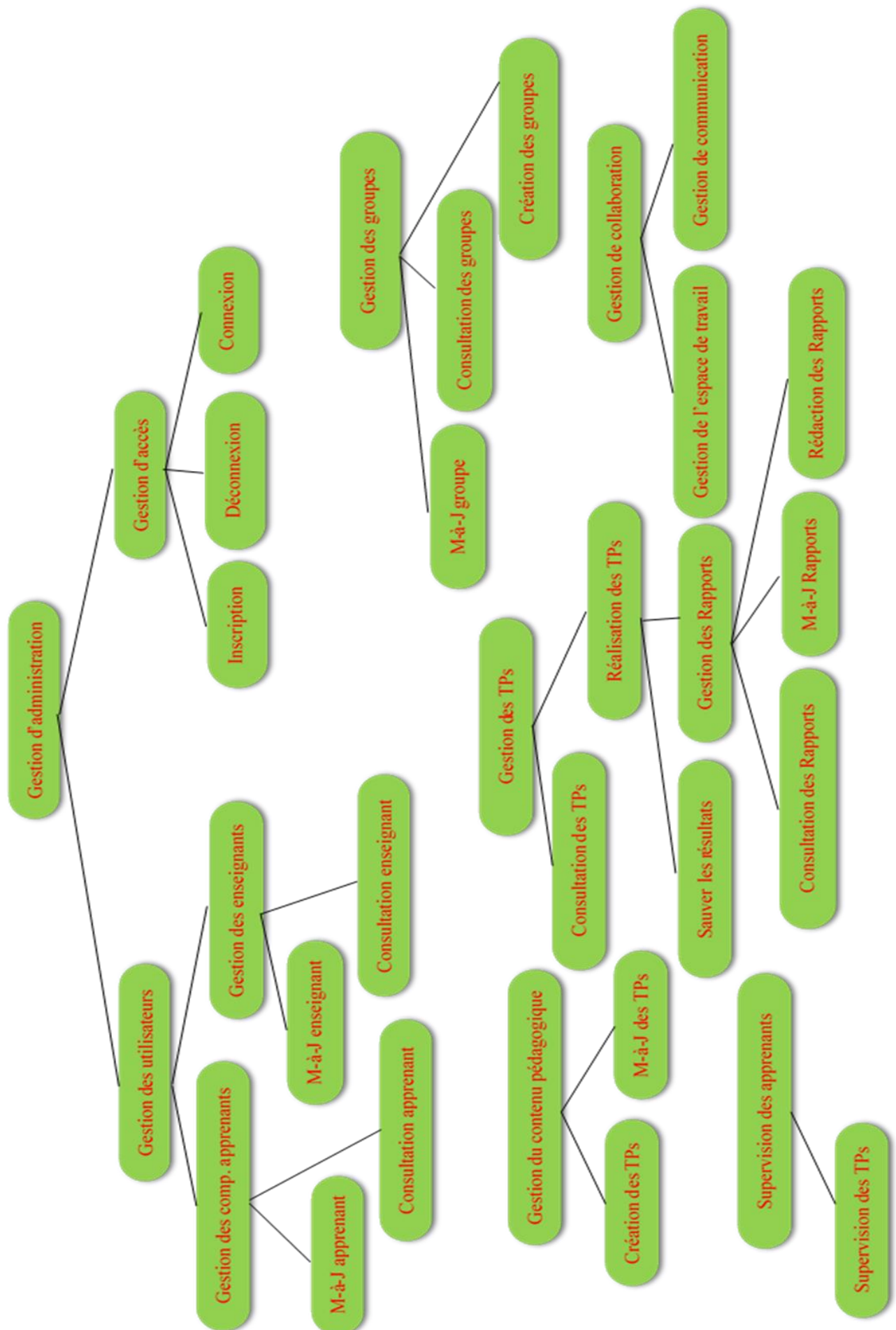


Figure 21 .

4.3. Présentation de l'ontologie conceptuelle

Dans tous les tableaux qui suivent « **est un** » désigne une condition nécessaire, « **si et seulement si** » désigne une condition nécessaire et suffisante.

4.3.1. Liste des concepts

Dans le tableau qui suit on va présenter les concepts de l'ontologie ainsi que leurs définitions et leurs sur concepts :

Concept	Sur concept	Définition du concept
Document pédagogique	Concept d'application	un document pédagogique est un concept d'application, il peut être : des prérequis des résumés des cours, une série de de TP.
prérequis	Document pédagogique	un prérequis est un document pédagogique il regroupe des connaissances liées à un module. un prérequis est composé d'au moins un chapitre.
Série de TP	Document pédagogique	une série de TP est un document pédagogique, dans lequel l'enseignant demande aux étudiants de développer une (des) application(s) informatique(s), ou de réaliser une (des) expérience(s)... une série de TP est composée de deux parties : partie initiation de TP et partie travail à faire.
Produit_Chimique	Concept d'application	Le produit chimique est un concept d'application, c'est la molécule qui va participer dans une manipulation.
Enseignant	Concept d'application	un enseignant est un concept d'application, c'est la personne responsable de la tâche d'enseignement dans un processus de formation.
Module	Concept d'application	un module est un concept d'application, il regroupe des connaissances liés à une spécialité et adapté à un certain niveau et un certain cycle.
Chapitre	Concept d'application	un chapitre est un concept d'application, il est le composant de base d'un support du cours il regroupe un ensemble de connaissance nécessaires pour la compréhension du module. un chapitre est composé d'un ou plusieurs paragraphes.
Paragraphe	Concept d'application	un paragraphe est un concept d'application, il est le composant de base d'un chapitre, d'un diapositif, de la partie initiation dans une série de TP. Chaque paragraphe regroupe des connaissances plus

		élémentaires, nécessaires pour la compréhension d'un chapitre, d'un diapositif, de la partie : initiation dans une série de TP. Un paragraphe peut contenir une ou plusieurs figures.
Figure	Concept d'application	une figure est un concept d'application. une figure est la représentation graphique de la connaissance. Une figure peut apparaître dans un paragraphe, dans un exercice ou dans un exercice corrigé.
Diapositif	Concept d'application	un diapositif est un concept d'application, il est le composant de base d'un diaporama. un diapositif est composé de un ou plusieurs paragraphes.
Partie initiation de TP	Concept d'application	la partie initiation d'un TP est un concept d'application ; c'est la première partie dans une série de TP, où l'enseignant doit expliquer le sujet de TP, et décrire les outils qui seront utilisés pour réaliser le travail si nécessaire. la partie initiation est composée de un ou plusieurs paragraphes.
Partie travail à faire de TP	Concept d'application	la partie travail à faire est un concept d'application ; c'est la deuxième partie dans une série de TP ; c'est la partie où l'enseignant doit préciser le travail que l'étudiant doit réaliser. la partie travail à faire est composée de un ou plusieurs exercices.
Outillage	Concept d'application	Un outillage est un concept d'application, il peut être (un appareil, un élément,...)
Atome	Concept d'application	L'atome est un concept d'application, c'est la particule composante d'une molécule.
Manipulation	Document_Pédagogique	Une manipulation est un document pédagogique qui a pour but de mettre en expérience les notions théoriques dans une classe.
Liste_TP	Document_Pédagogique	Liste de TP est un concept, contenant la liste des tps à faire par les apprenants.
Action	Document_Pédagogique	est un concept contenant les actions possibles à faire.
Rapport	Document_Pédagogique	est un concept la rédaction du résultat de la manipulation
Apprenant	Concept d'application	Un apprenant (étudiant) est un concept d'application, il peut voir et faire son TP voir la vidéo, les figures,...)

4.3.2. Liste des attributs

Dans le tableau ci-dessous on va présenter pour chaque concept ses attributs, et s'il a des attributs hérités d'un concept père.

Concept	Hérite les attributs de concept	Attributs	Commentaires
Document pédagogique		URI	Par URI on désigne le chemin d'accès au document(URL).
		Format	Par format on désigne, le format numérique du document (PDF, Word, HTML, PPT)
		Langue	Langue
		Date de création	Date de création
		Année universitaire	Année universitaire
		Université	Université
		Faculté	Faculté
		Département	Département
Prérequis	Document pédagogique	Mots clés	Mots clés
Série de TP	Document pédagogique	Numéro de série de TP	Numéro de série de TP
		Titre de série de TP	Titre de série de TP
Enseignant		Nom de l'enseignant	Nom de l'enseignant
		Prénom	Prénom
		Email	Email
Module		Nom de module	Nom de module
		Spécialité	Spécialité
		Niveau	1 ^{ère} , 2 ^{ème} , 3 ^{ème} année.
		Cycle	Cycle court ou long.
Figure		Num_figure	Numéro de figure
		Titre_figure	Titre de figure
		Type_figure	Type de figure : tableau, image, etc.
Diapositif		Numéro_diapositif	Numéro de diapositif
Produit_Chimique		Num_Prod	Numéro produit chimique
		Nom_Prod	Nom produit chimique
		Masse_Mol	Masse molaire
		Etat_Int	Etat initial
		Type_L	Type liaison chimique
Atome		Num_At	Numéro de l'atome dans tableau périodique
		Des_At	Désignation de l'atome
		Masse_At	Masse atomique de l'atome
		Valence	Nombre d'électrons libres

			(dernière couche)
Outillages		Num_Outil	Numéro outillage
		Type_Outil	Outil ou équipement du laboratoire (bûchette, centrifugeuse, balance, ..)
		Des_Outil	Nom de l'outillage
		Rôle_Outil	Rôle de l'outillage
		Carac_Outil	Caractéristiques de l'outil
		Cdts_Utilis_Outil	Conditions d'utilisation de l'outillage et de son
		fonctionnement	Fonctionnement de l'outil utilisé
Action		Nom_act	Nom action
rapport		Num_rap	Numéro du rapport
		Num_tp	Numéro du TP
		Nom_ens	Nom d'enseignant
		Nom_appr	Nom d'apprenant
		Res_tp	Résultat obtenu
Liste_tp		Num_liste_tp	Numéro de la liste des TPs à faire dans le module
		Nom_ens	Nom enseignant responsable
		des_mod	Désignation liste tps
		Mod_cons	Le module du tps
Manipulation	Document Pédagogique	Num_Manip	Numéro manipulation
		Des_Manip	Désignation de la manipulation
		But_Manip	But et objectif de la manipulation
		Pré_Requis	Les prérequis théoriques nécessaires pour faire la manipulation
		Principe	Le principe de la manipulation
		Type	Le type de la manipulation
		Résult_Atten	Résultats attendus à obtenir
		Cdts_Manip	Conditions de réalisation de manipulation
		Précautions	Précautions à prendre lors de la manipulation
		Etapes	Les étapes à suivre dans cette manipulation
		Calculs	Les différents calculs
		Remarques	Des remarques supplémentaires

4.3.3. Liste des relations

Dans le tableau cité ci-dessous on décrit les relations qui existent entre les différents concepts de l'ontologie.

Relation	Prédécesseur	Successeur	Définition
Enseigne	Enseignant	Module	Un enseignant enseigne un module Pendant une année universitaire, si et seulement si il est chargé de cours et quand il rédige des documents pédagogiques concernant ce module
Est auteur	Enseignant	Document pédagogique	Un enseignant est auteur d'un document pédagogique, si et seulement si c'est lui qui l'a écrit.
Concerne	Document pédagogique	Module	Un document pédagogique concerne un module si et seulement si il est rédigé (a été rédigé) par (qui était) l'enseignant de ce module, et lorsqu'il l'utilise (l'avait utilisé) pour enseigner ce module à ses étudiants.
Se_trouve	apprenant	Outillage	Outillage nécessaire pour une manipulation
Se_mélanger	apprenant	Produit chimique	Les produits utilisés pour une expérience
Est composer	Produit chimique	Atome	Composition des produits chimiques
participation	Produit chimique	manipulation	Les produits chimiques participant en TP
Est composé d'un TP	Série de TP	manipulation	Une série de TP contient une et une seule partie travail à faire.
A fair	apprenant	Action	Liste des actions à faire par l'apprenant pour réaliser son TP
utl_outg	manipulation	Outillage	Outillage nécessaire pour une manipulation
Img atm	atome	Image	Image explicatif pour un atome
Anim atm	atome	Animation	Animation explicatif pour un atome
Anim outg	outillage	Animation	Explication pour l'utilisation d'un outil
initialisation	manipulation	Prérequis	Partie initiale de TP
Anim tp	manipulation	Animation	Animation montrons le déroulement d'un TP.
Img outg	outillage	Image	Des figures pour les outils utilisés
Prend outg	outillage	Action	Action à faire pour faire son TP.
Est composé de Diapo	Module	Diapositif	Un diapositif contient au moins un paragraphe.
Crée-rapport	apprenant	Rapport	L'apprenant va créer un rapport à fin du TP

A fair	apprenant	manipulation	C'est quoi faire l'apprenant dans un TP.
action	apprenant	Outillage	Les actions possibles des matériels outillages.
consulter	Apprenant	Document pédagogique	L'apprenant va consulter les documents du cours et les TPs ...
Valider-rapport	enseignant	Rapport	L'enseignant valider le rapport du fin de TP

4.3.4. Représentation hiérarchique des concepts

La figure ci-dessous (figure 12) indique la représentation hiérarchique des concepts de Chim_Onto.

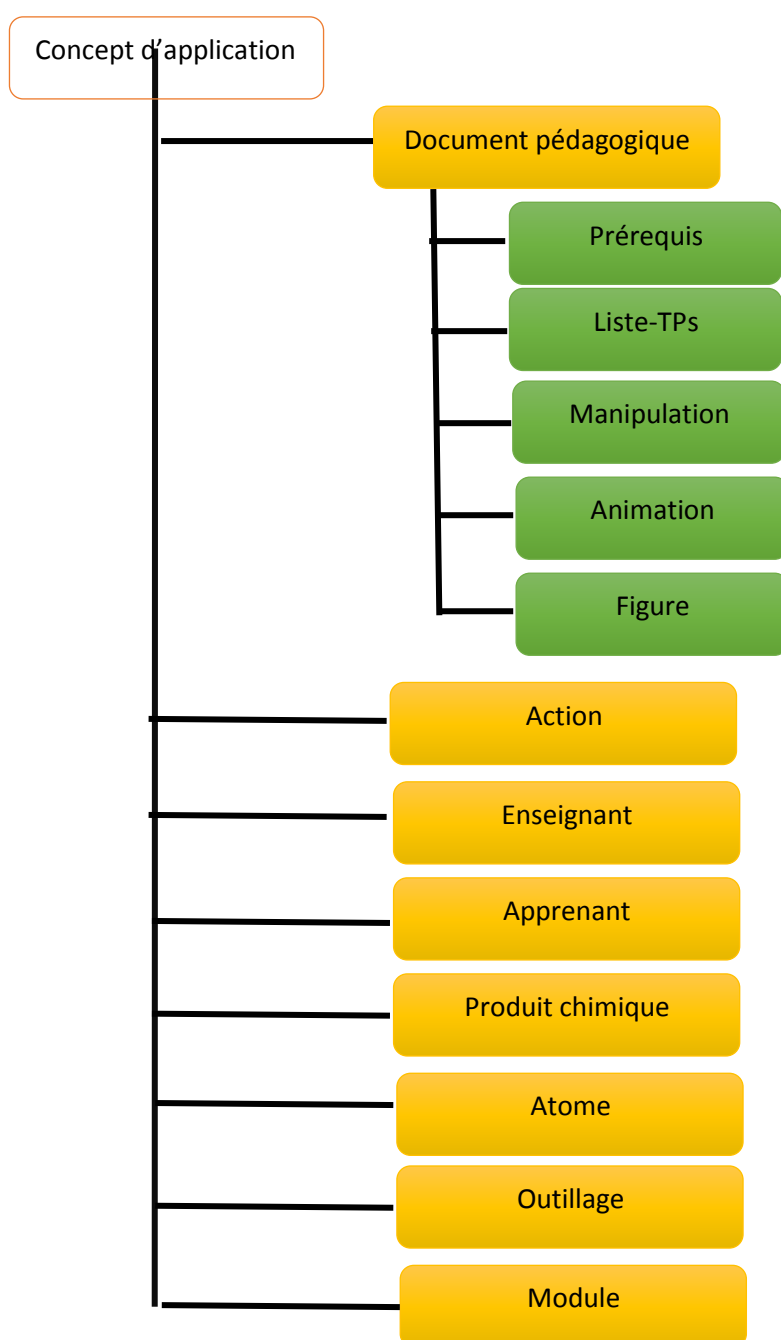


Figure 22. Représentation hiérarchique des concepts de l'ontologie.

4.3.5 Diagrammes de représentation de l'ontologie

Les diagrammes de représentation de Chim_Onto correspondent à ceux d'UML.

4.4 UML Définition et caractéristiques

UML (en anglais Unified Modeling Language ou « langage de modélisation unifié ») est un langage de modélisation graphique à base de pictogrammes. Il est apparu dans le monde du génie logiciel, dans le cadre de la « conception orientée objet ». Couramment utilisé dans les projets logiciels, il peut être appliqué à toutes sortes de systèmes ne se limitant pas au domaine informatique.

UML est l'accomplissement de la fusion de précédents langages de modélisation objet : Booch, OMT, OOSE. Principalement issu des travaux de Grady Booch, James Rumbaugh et Ivar Jacobson, UML est à présent un standard défini par l'Object Management Group (OMG). La dernière version diffusée par l'OMG est UML 2.4.1 depuis août 2012. Comme UML n'impose pas de méthode de travail particulière, elle peut être intégrée à n'importe quel processus de développement logiciel de manière transparente. Intégrer UML par étapes dans un processus, de manière pragmatique, est tout à fait possible. La faculté d'UML de se fondre dans le processus courant, tout en véhiculant une démarche méthodologique, facilite son intégration et limite de nombreux risques (rejet des utilisateurs, coûts...).

De plus, UML a choisi une notation supplémentaire : il s'agit d'une forme visuelle fondée sur des diagrammes.

4.4.1 Diagrammes de représentation

4.4.1.1 Diagramme de classes

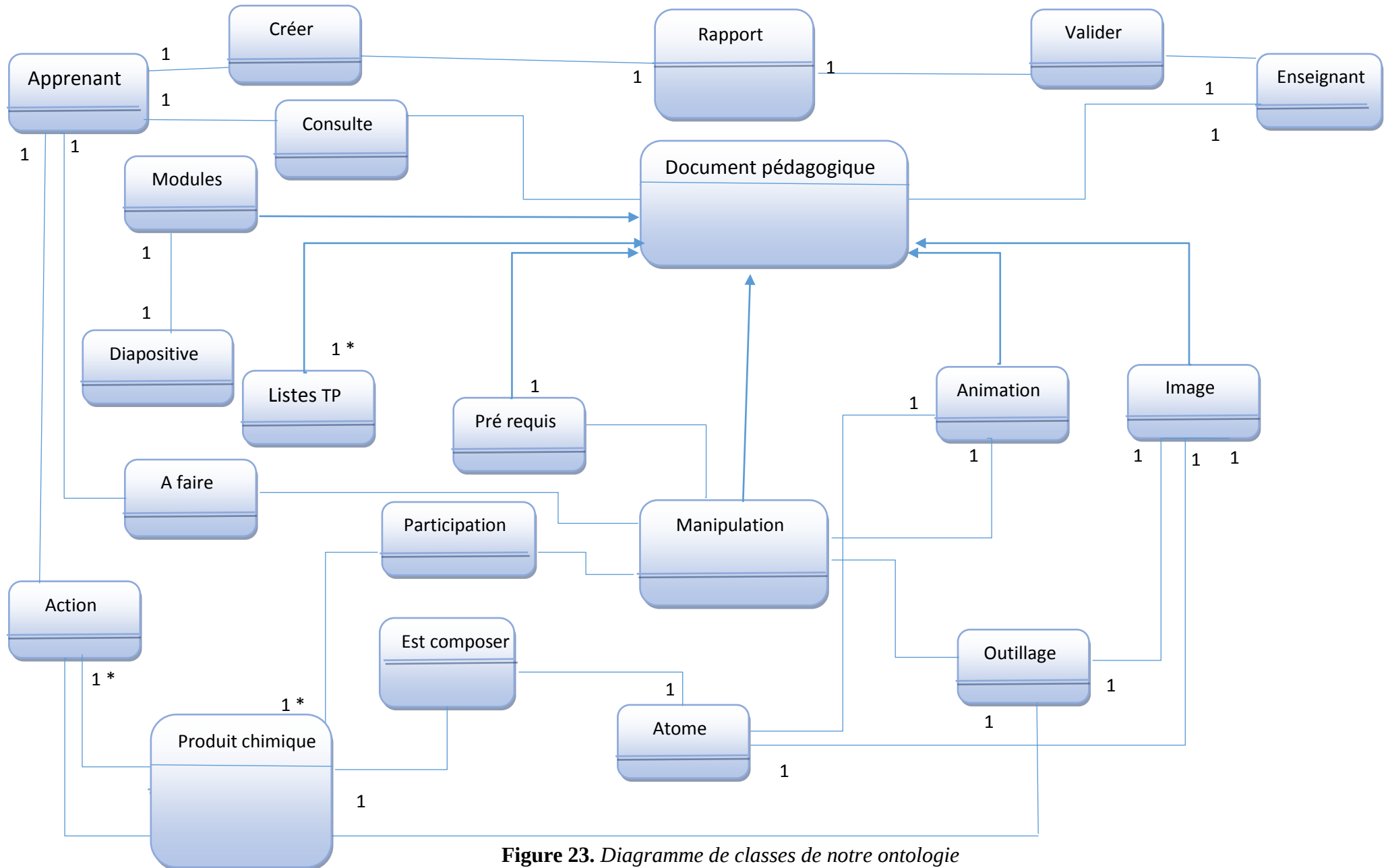
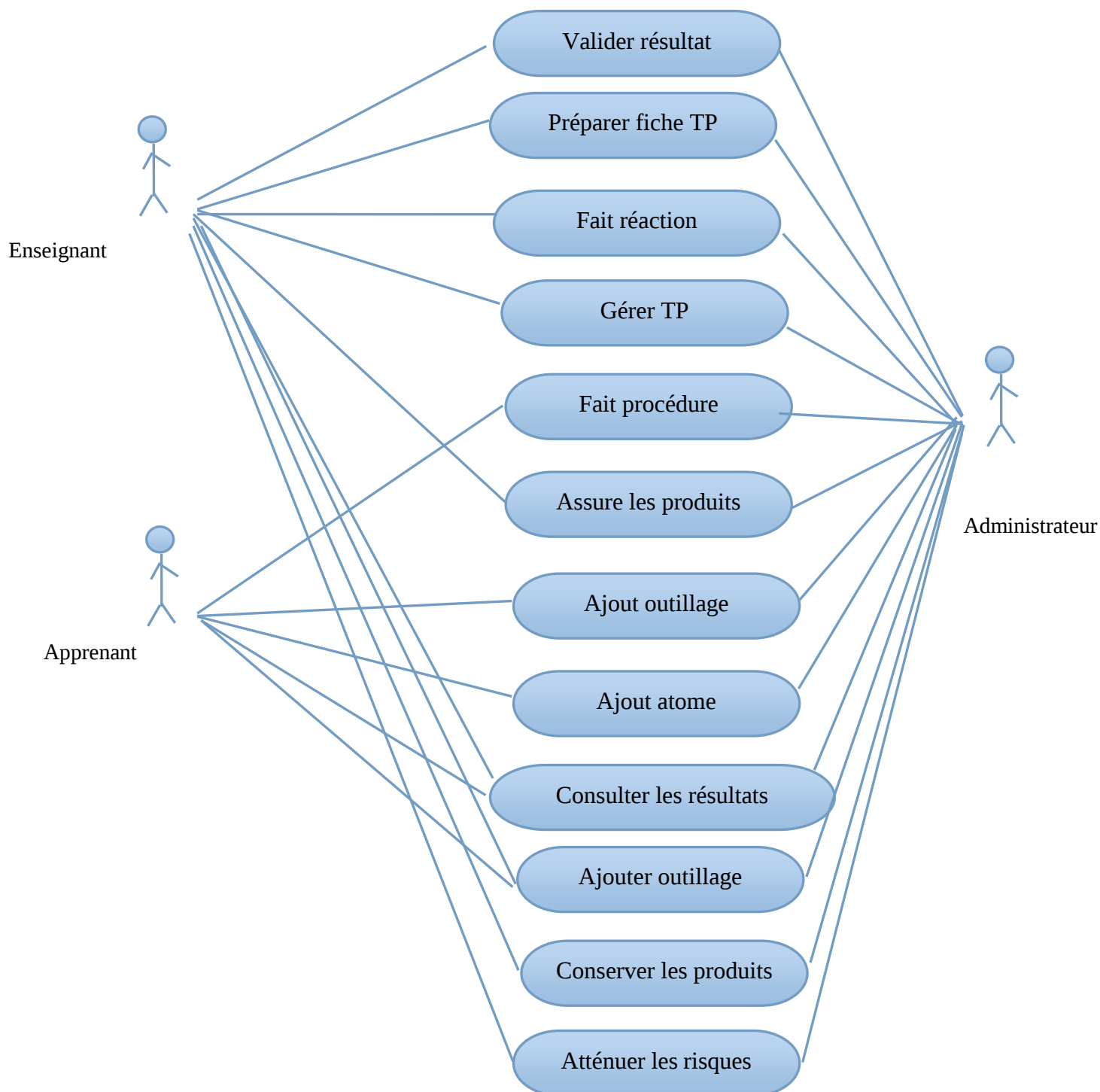


Figure 23. Diagramme de classes de notre ontologie

4.4.1.2 Diagramme de cas d'utilisation

Les acteurs intervenants dans Chim_Onto sont : les apprenants (étudiants), les enseignants et l'administrateur, le diagramme de cas d'utilisation de Chim_Onto est présenté en figure ci-dessous.



PARTIE 02 : Réalisation et mise en œuvre

5. Objectifs du projet

Conception est réalisation d'un Télé TP, permet aux apprenants de simuler, de faire virtuellement et sans contrainte ni de temps, ni de risque, leurs manipulations chimique, tout en respectons les principes pédagogiques connus du domaine. Afin d'arrivé que tous les étudiants des universités qui ont des TPs en chimie peuvent faire leurs expériences chimique.

5.1 Edition de l'ontologie et génération du code RDF

Dans cette phase nous passons à l'opérationnalisation de l'ontologie Chim_Onto, pour cela nous avons choisi le logiciel Protégé, comme outil d'édition. Le lancement du fichier exécutable de Protégé fait apparaître sa première fenêtre (figure 25).

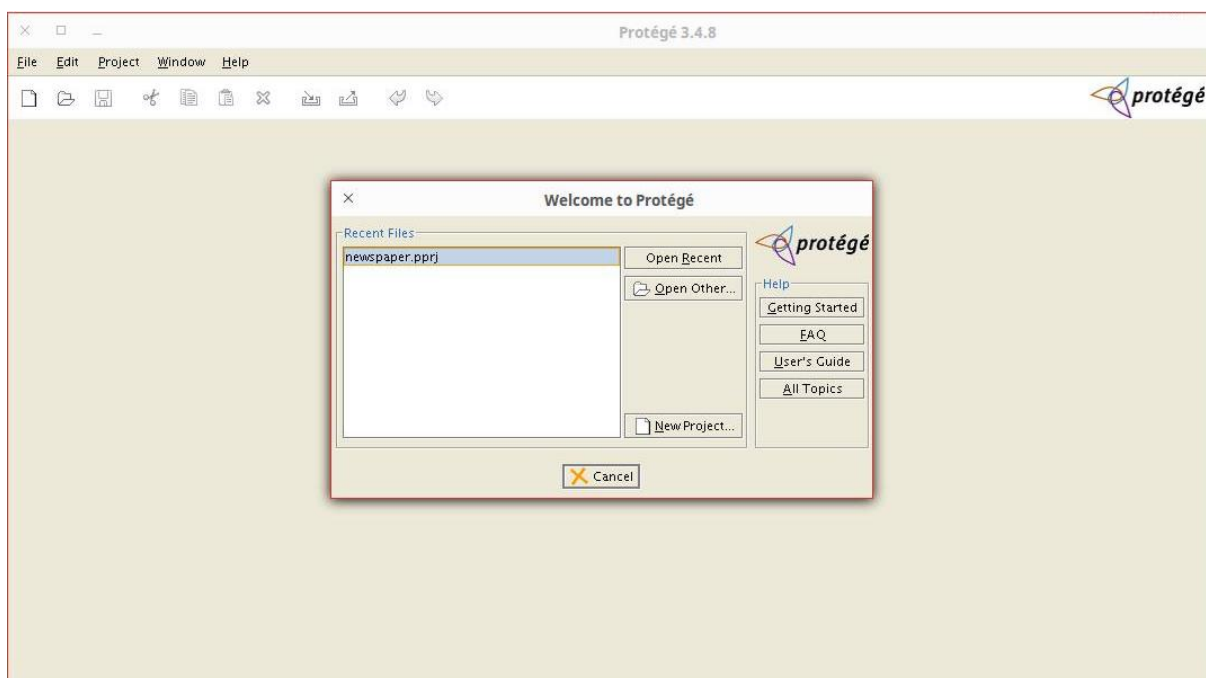


Figure 25. Fenêtre de début de protégé.

Après le choix d'un nouveau projet, nous choisissons le type de code à générer (figure 26).

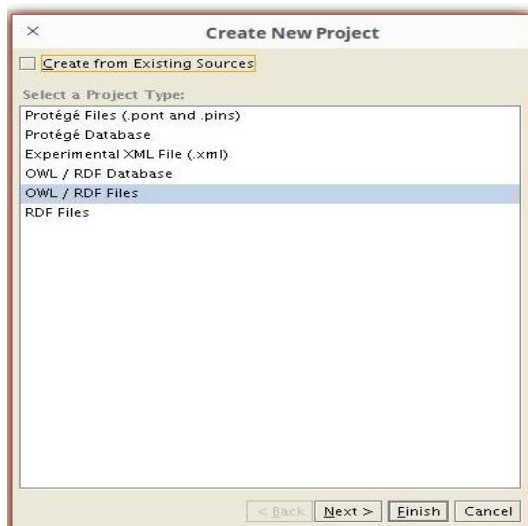


Figure 26. Choix du type de code de l'ontologie à générer

5.2.2 Création des classes et des sous classes

Les classes et sous classes de Chim_Onto sont éditées en (figure 27).

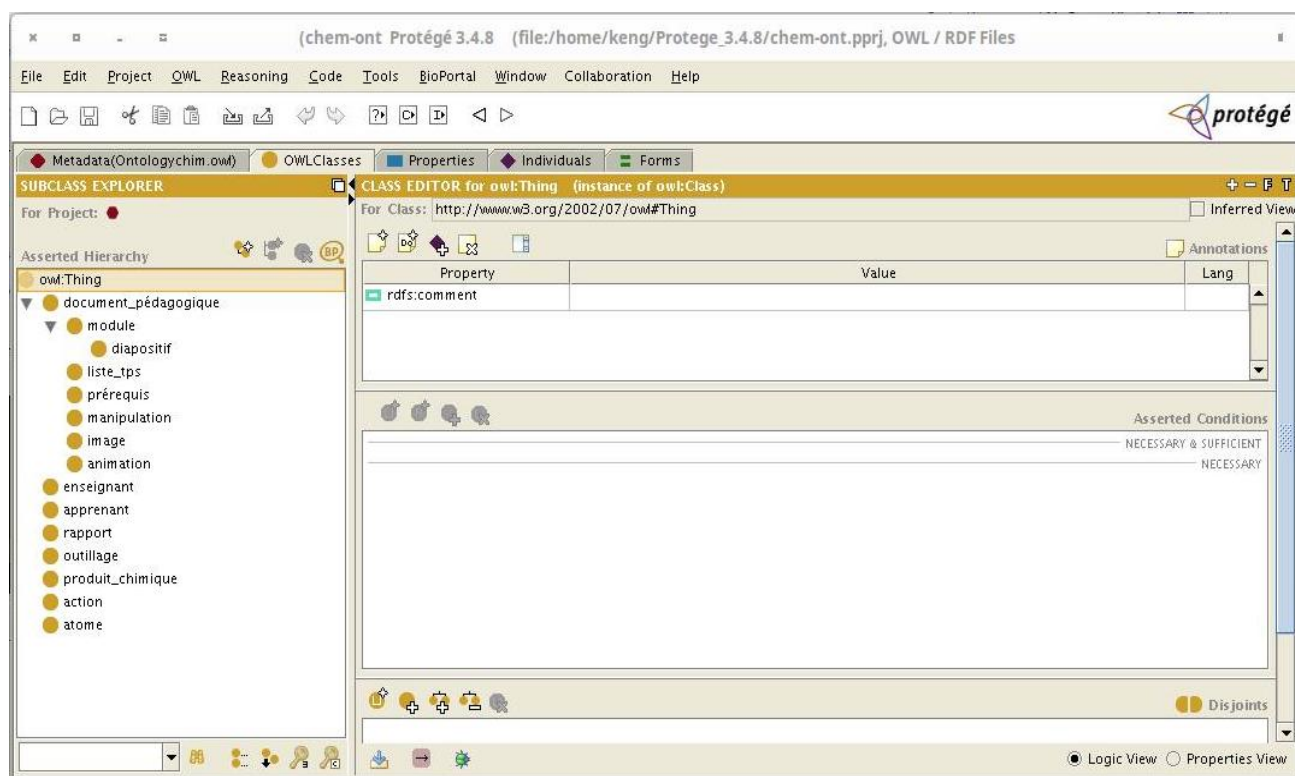


Figure 27. Classes et sous classes de l'ontologie Chim_Onto

5.2.3 Ajout des propriétés des classes et des sous classes

Les propriétés des classes et des sous classes de Chim_Onto sont ajoutées une par une avec pour chacune son type (figure 28).

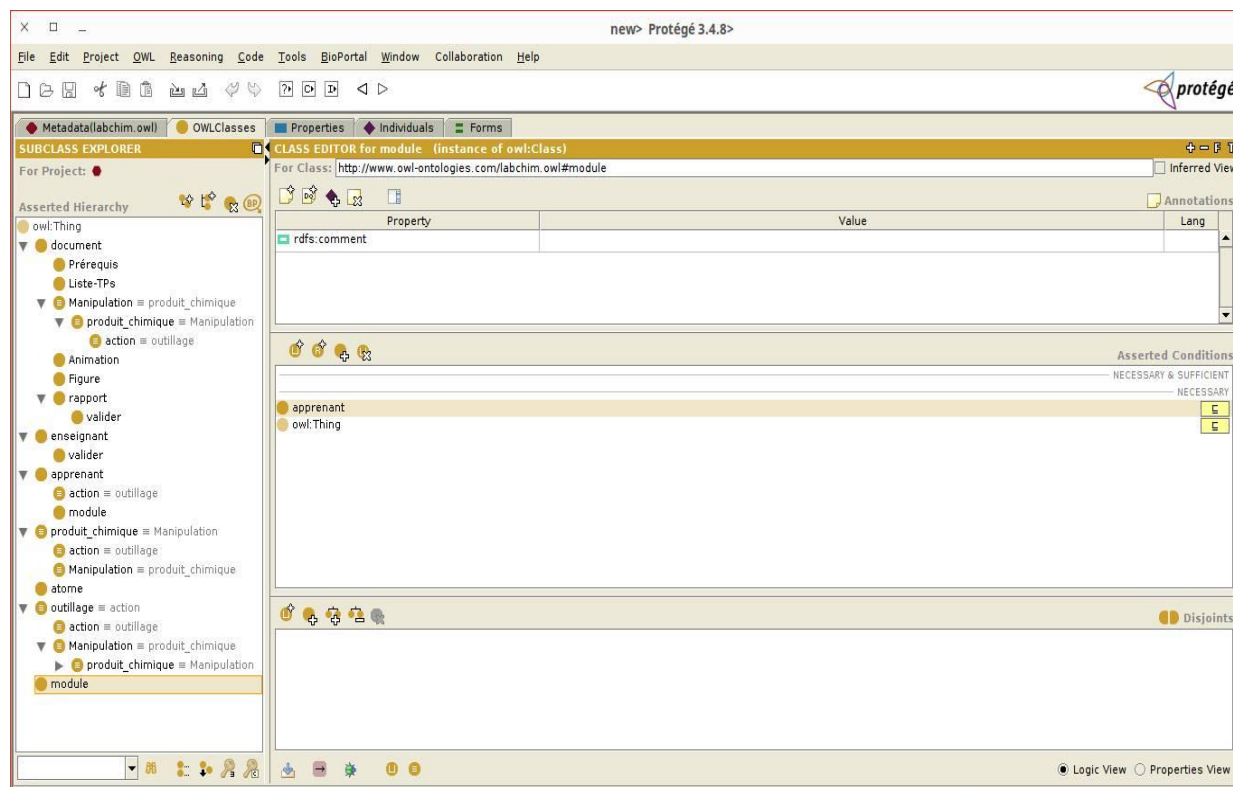


Figure 28. Les propriétés des classes et des sous classes de Chim_Onto.

5.2.4 Ajout des relations

En fin les classes et sous classes doivent être liées par des liens sémantiques désignant les relations (voir la figure 29).

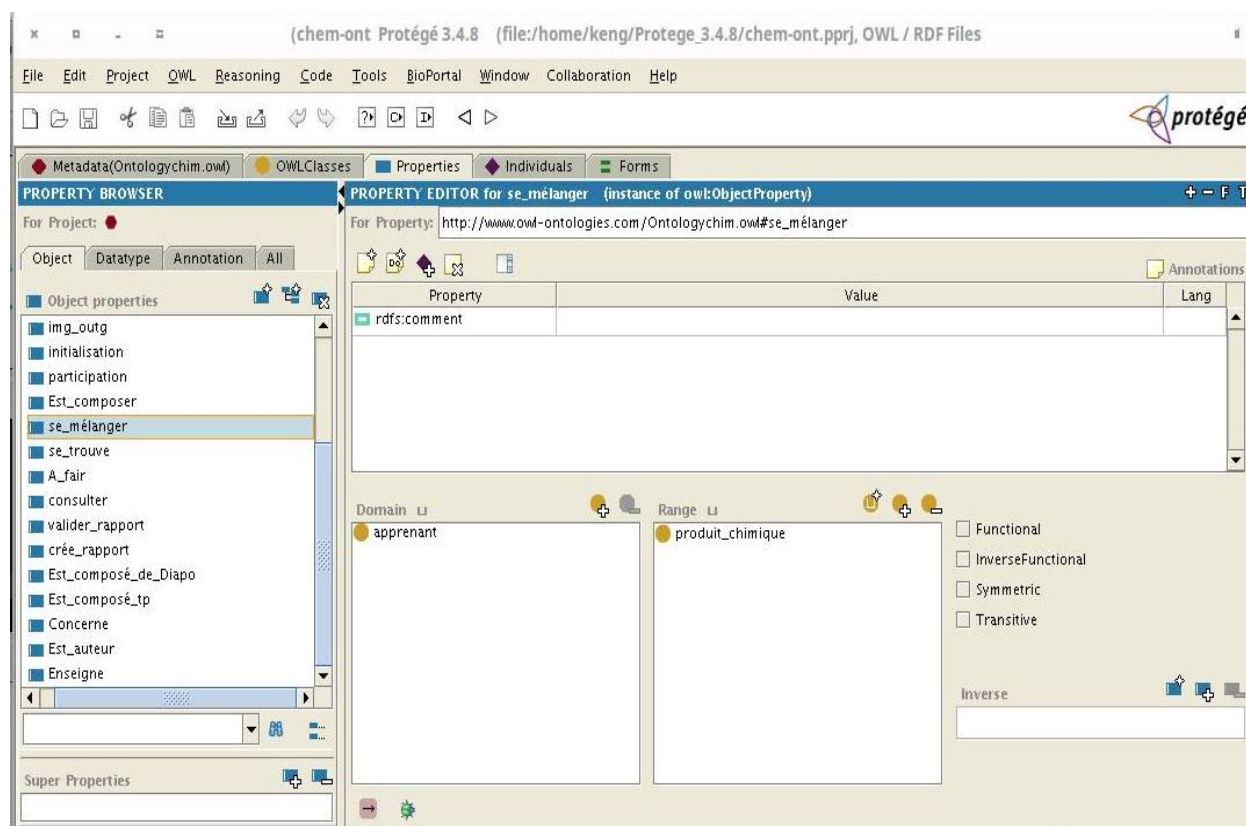


Figure 29. Relations de Chim_Onto.

5.2.5 Génération de code en RDF

En fin nous générons le code de notre ontologie Chim_Onto, un extrait de code ci-dessous.

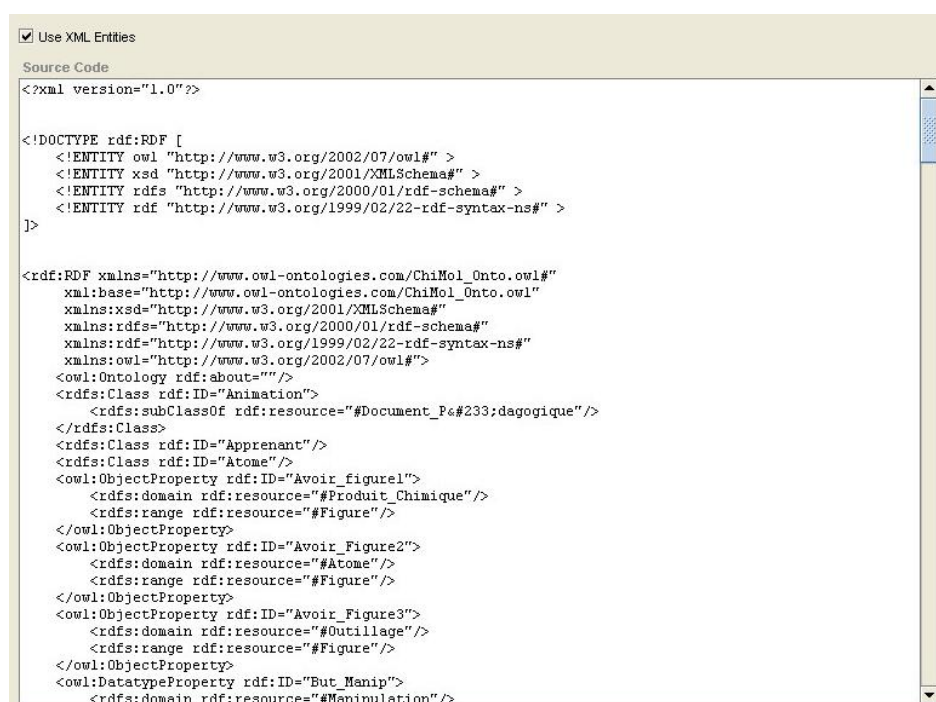


Figure 30. Code généré de Chim_Onto.

5.3 Environnement de travail

5.3.1 Software

5.3.1.1 Système d'exploitation

Windows 7 (précédemment connu en tant que Blackcomb et Vienna) est un système d'exploitation de la société Microsoft, sorti le 22 octobre 2009 et successeur de Windows Vista. Windows 7 est progressivement remplacé par Windows 8 à partir du 30 octobre 2013, le support de Windows 7 RTM a pris fin le 9 avril 2013 tandis que la version SP1 a vu son support se terminer en janvier 2015. Cette version de Windows reprend l'acquis de Windows Vista tout en apportant de nombreuses modifications, notamment par divers changements au niveau de l'interface et de l'ergonomie générale, un effort particulier pour la gestion transparente des machines mobiles et le souci d'améliorer les performances globales du système (fluidité, rapidité d'exécution même sur des systèmes moins performants, tels les netbooks) par rapport à son prédécesseur.

En identifiant cette mouture par son numéro de version (il s'agit de la septième version de Windows), Microsoft renoue avec une logique abandonnée depuis Windows 3.11 et Windows NT 4.0. La tradition voulait jusqu'ici que les versions de Windows soient identifiées par référence à l'année de sortie (Windows 95...) ou par une appellation ad hoc (Windows XP ou Windows Vista). Néanmoins, Windows 7 se base sur le noyau NT 6.1.

5.3.1.2 Choix du langage de programmation :

Java :

Java est un langage de programmation orienté objet, développé par Sun Microsystems. Il fut présenté officiellement en 1995. Selon les développeurs de Sun, Java (qui signifie café en argot américain) est un langage : simple, orienté-objet, distribué, interprété, robuste sécurisé, neutre vis à vis de l'architecture, portable, à haute performance, multi-threaded et dynamique [SIL].

Le langage Java était à la base un langage pour Internet, pour pouvoir rendre plus dynamiques les pages (tout comme le JavaScript aujourd'hui). Mais le Java a beaucoup évolué et est devenu un langage de programmation très puissant permettant de presque tout faire. Java met à la disposition du développeur une API très riche lui permettant de faire de très nombreuses choses.

Eclipse IDE

Eclipse est un environnement de développement intégré, et universel permettant potentiellement de créer des projets de développement mettant en œuvre n'importe quel langage de programmation. Eclipse IDE est principalement écrit en Java (à l'aide de la bibliothèque graphique SWT, d'IBM), et ce langage, grâce à des bibliothèques spécifiques, est également utilisé pour écrire des extensions.

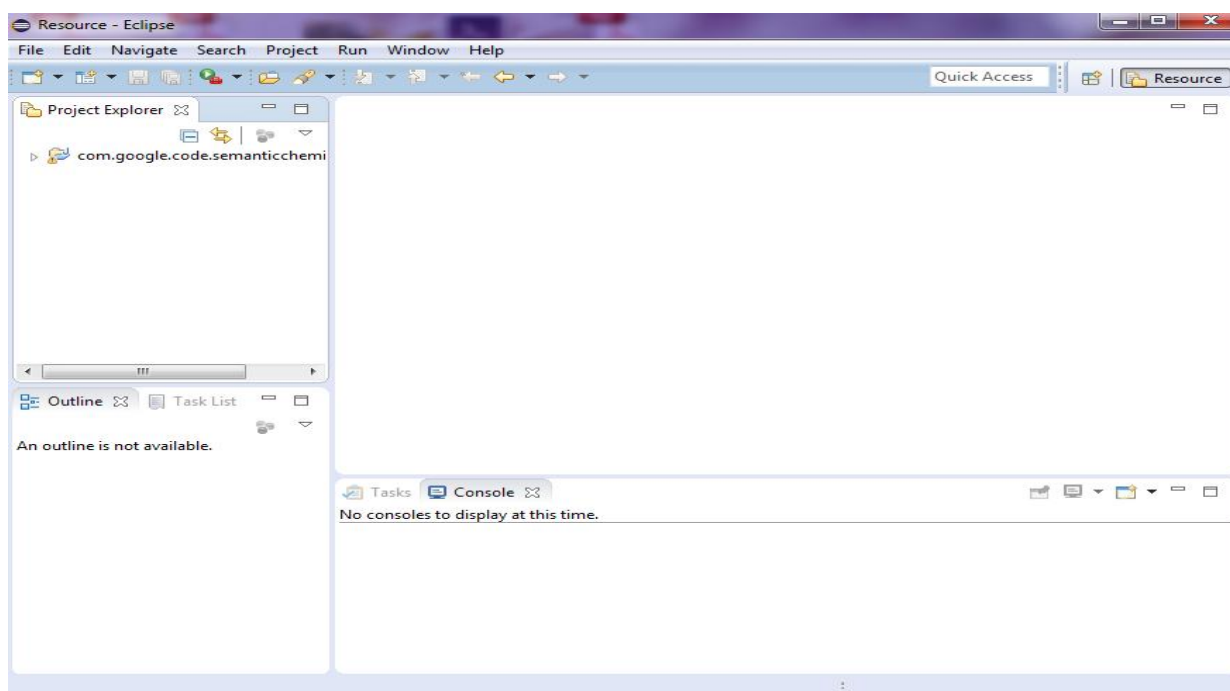


Figure 31. Fenêtre principale d'Eclipse.

5.3.1.3 Serveur de base de données

Le serveur de base de données choisit c'est MySQL, c'est un système de gestion de base de données (SGDB). Selon le type d'application, sa licence est libre ou propriétaire. Il fait partie des logiciels de gestion de base de données les plus utilisés au monde, autant par le grand public (applications web principalement) que par des professionnels, au même titre que Oracle ou Microsoft SQL Server.

MySQL fait partie du quatuor LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) ou du quatuor WAMP (Windows, Apache, MySQL, PHP). Le couple PHP/MySQL est très utilisé par les sites web et proposé par la majorité des hébergeurs. Plus de la moitié des sites web fonctionnent sous Apache qui est le plus souvent utilisé conjointement avec PHP et MySQL.

5.3.1.4 Quelques écrans de notre plateforme

- Accès à l'application

L'utilisateur doit être mené d'un nom de compte et un mot de passe :



Figure 32. Fenêtre d'accès à l'application.

- Fenêtre principale de notre application :

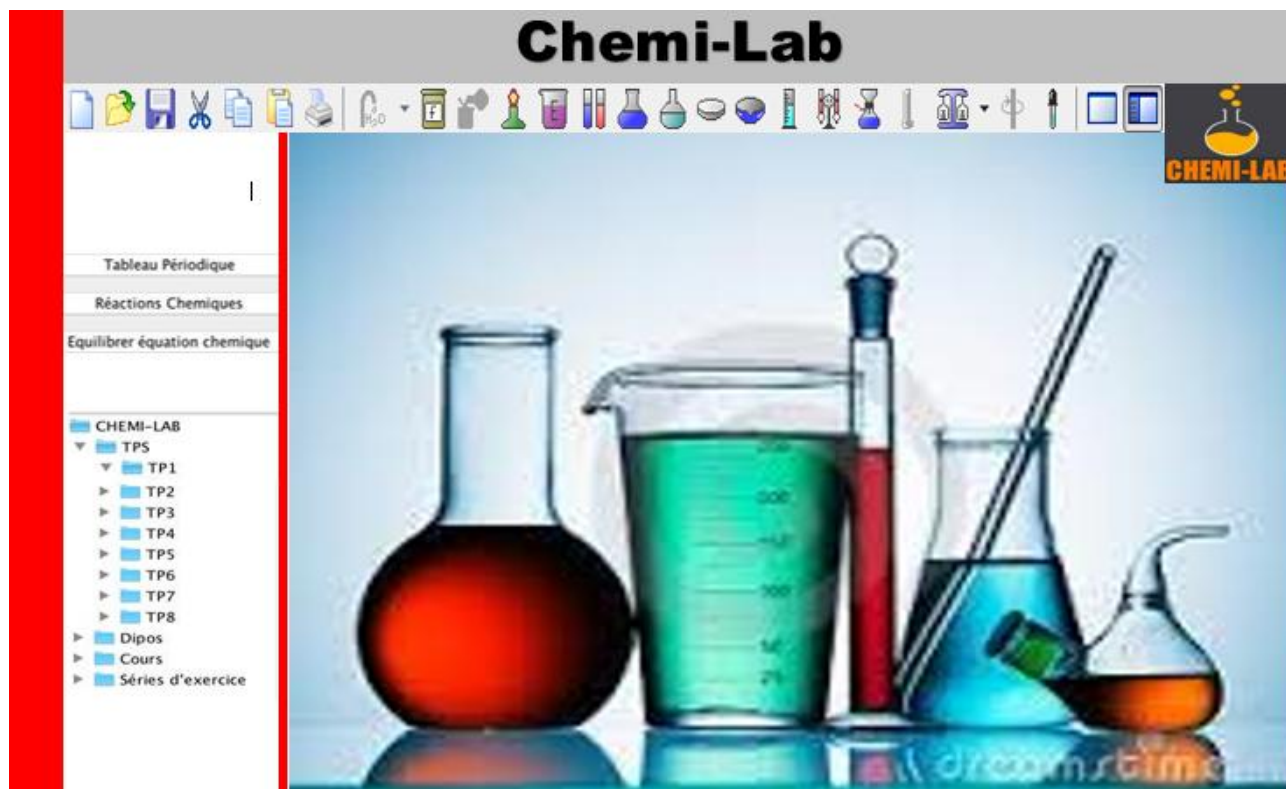


Figure 32. Interface principale de notre application.

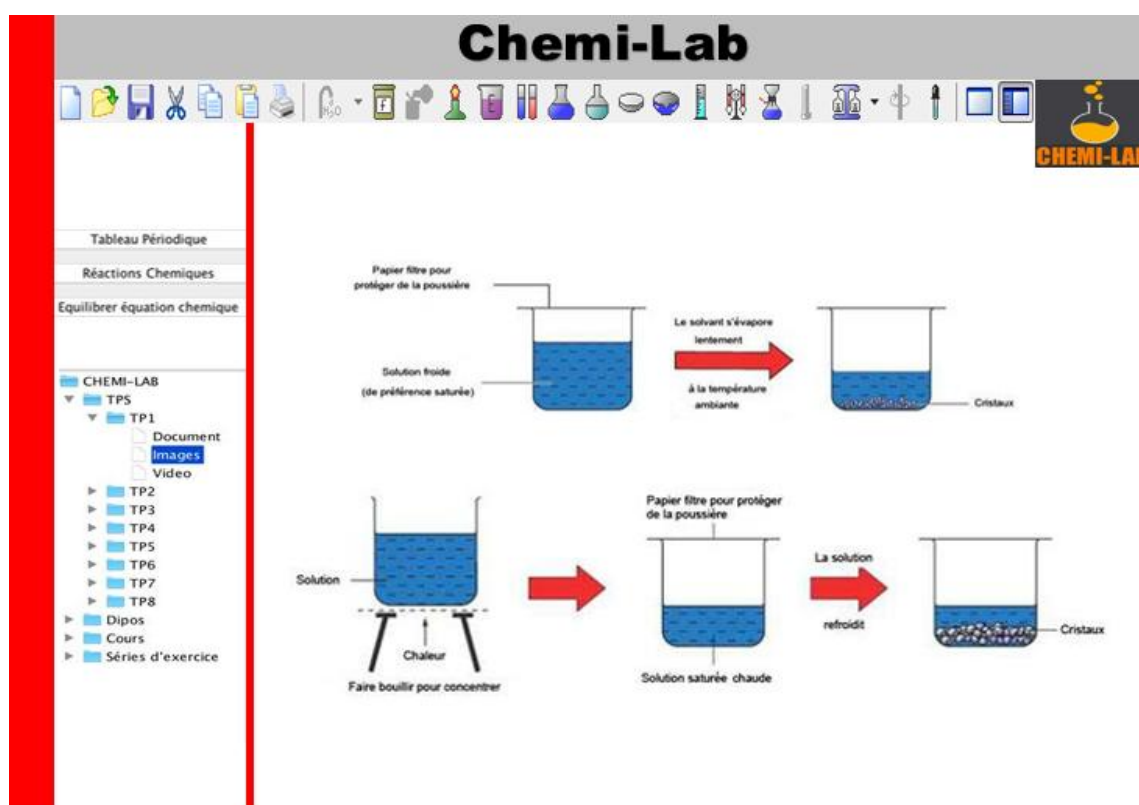


Figure 33. Exemple (explication d'une réaction chimique).

5.4. Conclusion

Nous avons vu - tout au long de ce chapitre les différents outils et technologies nécessaires pour la réalisation de notre système tels que l'environnement de développement, les langages de programmations, les bibliothèques open source utilisées...etc.

Nous avons montré l'implémentation de chaque composant de notre système proposé, afin d'assurer une présentation claire et détaillée de notre outil. De plus, on a cité et expliqué les caractéristiques de notre application. Finalement, nous avons donné quelques résultats obtenus on utilisant des captures d'écran.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Notre travail s'inscrit dans le domaine du e-Learning en chimie, notre contribution s'est présentée et la mise en œuvre d'un dispositif d'apprentissage un laboratoire virtuel pour les TP.

Dans ce travail, nous avons abordé le premier chapitre qui porte sur des concepts liées à la téléformation, les EIAH et leurs apports dans l'apprentissage. Après, nous avons présenté une forme spécifique d'apprentissage ; il s'agit des Télé-TP où on a expliqué tous les avantages de ce type d'apprentissage. Ensuite, nous avons traité le sujet des laboratoires et ses différents types (traditionnel, réel à distance et virtuel) en se concentrant sur les laboratoires virtuels.

Dans la première partie du deuxième chapitre nous avons entamé un panorama général de notre domaine d'étude, ou nous avons faits une présentation générale de la chimie, la matière et ses différentes formes dans la nature, l'atome et la molécule ...etc. Ensuite en deuxième partie de ce chapitre l'enseignement de la chimie, les modes d'enseignement et apprentissages et l'apport des nouvelles technologies, on nous concentrons sur les TP en chimie, les interactions dans un TP et expérience en chimie et les difficultés rencontrées lors de son apprentissage.

Finalement nous achevons par la présentation de quelques laboratoires virtuels de chimie existant, leurs avantages et inconvénients, ce qui a nous permis d'acquérir des nouvelles connaissances à chaque étape de la réalisation de ce mémoire sur tous des connaissances nouvelles en chimie, sur les concepts des e-learning et la technologie, les ontologies et le Web sémantique.

Nous avons appris de manipulé l'outil d'édition des ontologies Protégé et nous appris aussi comment on construit une ontologie d'application pour un domaine donné.

Nous avons touché aussi à quelque outils développés pour la manipulation, interrogation et de réalisation des de notre plateforme telle que MySQL, Java...etc.

Toutes ces connaissances on nous a aidées de construire une ontologie pour les manipulations chimique et la réalisation d'une plateforme pour les expériences des apprenants de la chimie. Elle est représentée par ses concepts, ses attributs et ses relations, par des diagrammes issus de la méthode UML.

Comme perspectives nous souhaitons que notre travail sera la base pour d'autres travaux et d'enrichir notre ontologie de façon quelle contienne toutes les molécules et les compositions possibles entre atomes et entre molécules, aussi par toutes les structures et les réactions des produits chimiques dans tous les domaines de la chimie.

Plus de sa possibilité de réaliser des manipulations et l'exploration de l'ontologie, nous souhaitons qu'il sera intégré dans une plateforme plus générale d'apprentissage de la chimie et pourquoi pas une plateforme générale de e-learning.

Intégration de la technologie de 3D car dans un laboratoire virtuel où l'apprenant est délivré à lui-même, il est nécessaire de modéliser l'environnement de travail de telle sorte qu'il se sente dans une situation présente. Une telle modélisation requiert l'utilisation des techniques de la réalité virtuelle en vue de simuler, dans un monde virtuel, le comportement des entités 3D pour un Télé-TP.

Cet environnement permet l'interaction entre les objets virtuels et l'immersion de l'apprenant dans ce monde.

Un outil d'évaluation : toute activité dans les laboratoires virtuels nécessite une évaluation soit formative ; il s'agit d'une régulation de l'apprentissage où l'enseignant renseigne l'apprenant sur la distance qui le sépare de l'objectif du Télé-TP ainsi les difficultés qu'il rencontre, soit sommative ; ce type est centrée sur les résultats obtenus après réalisation du Télé-TP.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. Abdel Kader KEITA (2007), Conception Coopérative d'Ontologies Pré-Consensuelles : Application Au Domaine De l'Urbanisme, Doctorat, Ecole Doctorale Informatique Et Information Pour La Société, (EDIIS) France.
2. Amel Bouzeghoub, Bruno Defude, John-Freddy Duitama, Claire Lecocq (2005), Un Modèle De Description Sémantique De Ressources Pédagogiques Base Sur Une Ontologie De Domaine Sciences.
3. Amina BAGHLI (2011), Diag-K: Ontologie Pour L'élaboration Du Modèle De Connaissances De L'apprenant Dans Les EIAH.
4. André Laugler, Alain DUMON (2003), Obstacles Epistémologiques Et Didactiques A La Construction Du Concept D'élément Chimique : Quelles Convergences, Bordeaux, France.
5. Anne Lapujade Et Autres, (2009), Une Approche Ontologique Dédiée A La Production De Ressources Pédagogiques En Ligne : Expérience Dans Le Contexte Du Campus Numérique International, France.
6. Audigé Cl., Dupont G., Zonszain F., (1995). Principes Des Méthodes D'analyses Biochimiques.
7. Audigé Cl., Zonszain F., (1999). Biochimie Structurale. Doin, Paris (France).
8. Baget J.-F., (2003). Les Langages Du Web Sémantique. Université De Montpellier, (France).
9. Baneyx A., (2007). Construire Une Ontologie De La Pneumologie. Thèse De Doctorat, Université De Pierre Et Marie Curie, Paris 6, (France).
10. Benayache H., (2005). Construction D'une Mémoire Organisationnelle De Formation Et Evaluation Dans Un Contexte E-Learning : Le Projet Memorae.
11. Berners-Lee, T., Hendler J., Lassila.O. The Semantic Web. Scientific American, May 2001, Feature Article.
12. Bouabid Mohamed El Amine, (2005). "Travaux Pratiques Pour Les Dispositifs De Formations Scientifiques Et Techniques Utilisant Les Tics" Université De Bejaia.
13. Bouekkache Samir, Un Environnement Sémantique A Base D'agents Pour La Formation A Distance ((E-Learning), Doctorat Université Mohamed Khider De Biskra, Algérie.
14. Cappeleare P., (2003). Apprentissage Médiatisé : Le Cas Forma-Sciences. Université De Lille1 (France).
15. Charlet J., Laublet Ph., Reynaud Ch., (2003). Web Sémantique. APHP/STIM Paris6, (France).
16. Chedlia Chakroun (2013), Contribution A La Définition D'une Méthode De Conception De Bases De Données A Base Ontologique, Doctorat, France.
17. Christian M., (2002). Biochimie Structurale Et Métabolique. 2 ième Editions, De Boeck (Espagne) Colin J.-F., (2004). Conception D'un Outil Synchrone D'enseignement A Distance. Entic Telcom Lille1 (France).
18. Christophe Piombo (2007), Modélisation Probabiliste Du Style D'apprentissage Et Application A L'adaptation De Contenus Pédagogiques Indexés Par Une Ontologie, Doctorat, Université De Toulouse, France.
19. Dehors S., (2007). Exploiting Semantic Web and Knowledge Management Technologies for Elearning. Thèse De Doctorat, Université De Nice-Sophia Antipolis, (France).

20. Desmontils E., Jaquin C., (2002). Annotation Sur Le Web. IRIN, Université De Nantes (France).
21. Desmoulins, C., Marquet, P., Bouhineau, D. Environnements Informatiques Pour l'Apprentissage Humain.
22. Dessus F., Lemarie B., Baillé J., (1997). Etudes Expérimentales Sur L'enseignement A Distance. Université Pierre Mendès (France).
23. Dib L., Laskri M.-T., (2005). Ontocell: An Ontology of Cellular Biology. Université Badji Mokhtar Annaba, (Algérie).
24. Djamila Mechta, Mahieddine Djoudi, Saad Harous, Amel Douar, "Laboratoire Virtuel De Télétp Sur
25. Djamila Mechta, Plate-Forme Pour Les Travaux Pratiques A Distance Sur Le Web (2012), Doctorat, Sétif, Algerie.
26. Djamila Mechta. Et All, (2009), Agents Based Modeling of Distant Biology Practical Work, Journnée D'étude Sur Les Tics.
27. Djillali Chelli (2014), Une Approche Basée Ontologie Pour L'apprentissage Sémantique D'un Agent, Magister, Université Kasdi Merbah De Ouargla, Algérie.
28. Domitile LOURDEAUX (2001), Réalité Virtuelle Et Formation : Conception d'Environnements Virtuels Pédagogiques, Doctorat, ECOLE DES MINES DE PARIS, France.
29. Faical Azouaou, Cyrille Desmoulins. Memonote, Un Outil De Gestion Des Connaissances Personnelles Pour Enseignants A Base D'annotations. 2006, Nantes, France.
30. Fakhr Eddine HACHEMI(2009), Description Sémantique Des Objets D'apprentissage A Base De Modèles De Contenu, Magister, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.
31. Fatima Zohra HADJOU (2012), Gestion Des Ontologies Médicales, (Master) Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.
32. Florance S., Martin H., (2003). Recherche D'information Multimédia. IRIT, Université De Toulouse (France).
33. Furst F., (2002). L'ingénierie Ontologique. Institut De Recherche En Informatique De Nantes, (France).
34. Gomez Pérez A. (1999). Développements Récents En Matière De Conception, De Maintenance Et D'utilisation D'ontologies. 3èmes Rencontres Terminologie Et Intelligence Artificielle TIA.
35. Gomez Pérez Et Benjamins V R. (1999). Overview of Knowledge Sharing and Reuse Components: Ontologies and Problem-Solving Methods. Proceedings of the IJCAI-99 Workshop on Ontology and Problem-Solving Methods (KRR5).
36. Gruber T, (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications, Knowledge Acquisition. 5(2), P 199-220.
37. Guillard J.-J., Politano O., (2007). La Simulation Numérique : Un Outil Puissant Au Service De La Recherche. Bourgogne (France)
38. Guarino N. (1998). Formal Ontology and Information Systems. IOS Press.
39. Guarino N., ET Giaretta P. (1995). Ontologies and Knowledge Bases: Towards A Terminological Clarification. In Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing, Mars N. J. I., Amsterdam: IOS Press.
40. Habib-Ellah Guergour (2007), Construction D'une Ontologie D'application Dans Le Cadre De L'eai, Université Mentouri De Constantine, Algérie.
41. Hakim Mokeddem, Cyrille Desmoulins (2012), Intégration De Raisonnements Automatiques Dans Le Système D'annotation Memonote, Laboratoire d'Informatique De Grenoble, Université Joseph Fourier, France.

42. Halima Ben Hebireche, Proposition D'une Ontologie Formelle Pour La Modélisation Et La Simulation Intelligente Reference Bibliographique (2012), Magister Ouargla, Algérie.
43. Hallery I., Girard J., (2005).Multimédia Et Informatique Dans L'enseignement De La Chimie.
44. Hernandez N. (2005). Ontologies De Domaine Pour La Modélisation Du Contexte En Recherche D'information. Thèse De Doctorat, Université Paul Sabatier De Toulouse.
45. Hoogeboom M., Lin F., Esmahi L., Yang C., (2005). Constructing Knowledge Bases for Elearning Using Protégé 2000 and Web Services. Canada.
46. Indira Mouttapa Thouvenin (2009), Interaction Et Connaissance : Construction D'une Expérience Dans Le Monde Virtuel. Interface Homme-Machine, Université De Technologie De Compiègne, France.
47. Internet", Journées D'étude Sur Les TIC, Jetic2006, Bechar, Algérie, 15-16 Avril 2006.
48. ISHAK KRAMA (2014), Conception Et Réalisation D'un Système Intelligent De Recherche D'information Réglementaire, Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.
49. Jacq J., (2001). Des TP : Pourquoi ? Réflexion Sur Les Travaux Pratiques En Sciences Physiques Et Chimiques Fondamentales Et Appliquées, Académie d'Aix-Marseille (France).
50. Jean Francois Le Marechal, Karine Robinault (2006), Simulation In Chemistry During The Micromega (R) Project. Aster (Paris. En Ligne), Institut National De Recherche Pédagogique, France.
51. Jean-Marc Mercantini, Nicole Tourigny, Eugène Chouraqui, Élaboration D'ontologies A Partir De Corpus En Utilisant La Méthode D'ingénierie Des Connaissances KOD (2000), France.
52. Jean-Philippe Pernin, Helene Godinet (2006), Scénariser L'enseignement Et L'apprentissage : Une Nouvelle Compétence Pour Le Praticien (INRP), France.
53. Jean-Pierre Loire (2013), Chimie, Chimie Quantique Et Concept D'émergence : Etude D'une Mise En Relation. Histoire, Philosophie Et Sociologie Des Sciences. Ecole Polytechnique X, France.
54. Journées Pour L'innovation Dans L'enseignement De La Chimie.Autrans 1-2 Et 3 Juin.
55. Kessous C., (2007). Biochimie Structurale. OPU, Alger (Algérie).
56. Khadraoui F., (2003). Application De Type Laboratoire Virtuel Pour La Télé-Expérimentation En Physique, Magister. Université De Batna (Algérie).
57. Khalida Farida KHELILI (2009), Modélisation A Base D'ontologie D'une Plate-Forme De E-Learning, Magister, Université Kasdi Merbah De Ouargla, Algérie.
58. Khelif Mehdi (2014), Construction D'une Ontologie Pour La Recommandation De Cours A Un Utilisateur, Master, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.
59. Kozma R., Russel J., Mayer R., (2003). Multimedia Learning of Chemistry. Center for Technologie In Learning SRI International (Oakland University).
60. Lacot X., (2005). Introduction A OWL, Un Langage XML D'ontologies Web. ENST (France).
61. Ladjailia Ammar (2003), Construction D'ontologie A Partir De Textes Techniques – Application A L'expansion De Requête Utilisateur, Magister, University Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
62. Lassila O ET Mcguiness D. (2001). The Role of Frame-Basedrepresentation on the Semantic Web. Rapport Technique KSL-01-02. Knowledge Systems Laboratory, Stanford University.
63. Laublet Ph., Reynaud Ch., Charlet J., (2002). Sur Quels Aspects Du Web Sémantique. Université De Paris-Sorbone, (France).

64. Layaïda N., (1997). Madeus : Système D'édition Et De Présentation De Documents Structurés Multimédia. Thèse Doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble1 (France).
65. Lo Presti S., (2002). Langage De Spécification Et De Présentations Multimédia. Thèse De Doctorat, INPG Grenoble (France).
66. Mahdjoub Mohammed Bachir et autres (2009), Représentation Ontologique Des Quantités Et Des Unités De Mesure Au Sein D'un Laboratoire Virtuel, Ouargla, Algérie.
67. Maldonado A., (2006). Diversité Moléculaire : Application Au Criblage Virtuel, Corrélation Avec Des Propriétés Physico-Chimiques. Thèse De Doctorat, Université Paris 7 – Denis Diderot, (France).
68. Malik M.M., (2002). Le Rôle De La Logique Floue Dans Le Web Sémantique. Université De La Méditerranée, (France).
69. Marina Baietto, (2012) Conception, Réalisation Et Intégration Sur Une Plateforme E-Learning De Modules De Formation A Un Outil De Gestion Commerciale, Master ; Grenoble, France.
70. Matoui Mh., (2007). Reformulation De Requêtes Dans Les Systèmes De Recherche D'information Dans Des Documents XML. Mémoire De Magister, Université M'hamed Bouguara Boumerdes, (Algérie).
71. Medélez Ortega E., (2004). Conception D'un Environnement Collaboratif Multimédia Pour Des Séances D'apprentissage Du Raisonnement Clinique Géré A Distance. Thèse De Doctorat, Université De Rennes1 (France).
72. Merzougui Gh., (2003). Editeur De Cours Médiatisé En SMIL. Thèse De Magistère, Université Elhadj Lakhdar Batna (Algérie).
73. Michel G., Bernadette Q., (2007). Manuel De Biochimie. Dunod, Paris (France).
74. Mizoguchi R Et Ikeda M. (1996). Towards Ontological Engineering (AI-TR-96-1), Osaka: ISIR.
75. Mohamed Khaled Khelif (2006), Web Sémantique Et Mémoire D'expériences Pour L'analyse Du Transcriptome, Docteur En Sciences De L'université De Nice-Sophia Antipolis, France.
76. Mohammed Bachir MAHDJOUB (2009), Apprentissage Médiatisé De La Chimie Moléculaire, Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.
77. Mohammed Ilyes Benabdallah Et Autres (2014), Conception Et Réalisation D'un Didacticiel Exerciseur, Master, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.
78. Mounira Harzallah, Jean Charlet, Nathalie Aussenac Gilles. Ingénierie Des Connaissances, 17e Journées Francophones d'Ingénierie Des Connaissances, Nantes, 28 Au 30 Juin 2006, Juin 2006, Nantes, France.
79. Mr. Djaghloul Younes (2007), Intégration Des Ressources Web Dans Un Environnement P2P, Basée Sur Les Ontologies Et La Gestion De La Confiance, Doctorat, Université Mentouri Constantine, Algérie.
80. Muriel Ney (2007), Modélisation Formelle En Sciences Expérimentales : Problématiques De La Transmission. French HDR Dissertation. France.
81. Ouahes R., Devallez B., (1988). Chimie Générale. OPU, Alger (Algérie), PUBLISUD, Paris (France).
82. Paquette G. (2002), L'ingénierie Du Téléapprentissage, Pour Construire L'apprentissage En Réseaux, 450, Presses De l'Université Du Québec, Canada.
83. Paul A., (2004). Chimie Organique. 17 ième Editions, Dunod, Paris (France).

- 84.** Pierre N., (2002). Considération Sur Le R&D Technologique En Education Et L'exao. Symposium Des Technologies Informatiques En Education. Maison Suger Paris (France) 31 Janvier Au 01 Février.
- 85.** Pietriga E., (2002). Environnements Et Langage De Programmation Visuels Pour Le Traitement Des Documents Structurés. Thèse De Doctorat, INPG Grenoble (France).
- 86.** Psyché V. (2007). Rôle Des Ontologies En Ingénierie Des EIAH : Cas D'un Système D'assistance Au Design Pédagogique. Thèse De Doctorat, Université Du Québec-Montréal
- 87.** Riad Lekhchine (2009), Construction D'une Ontologie Pour Le Domaine De La Sécurité : Application Aux Agents Mobiles, Algérie.
- 88.** Robert K.M., Daryl K.G., (1999). Harper Biochimie. 24 Ième Editions, Milan (Italie).
- 89.** Roisin C., (1999). Documents Structurés Multimédia. Habilitation A Dirigé Les Recherches, INPG Grenoble (France).
- 90.** S. Arslan, N. Balacheff, D. Bouhineau, H. Chaachoua, N. Gaudin, T. Huguet, I. Lima, F. Michau, T. Miyakawa, J.F. Nicaud, B. Pedemonte, X. Pavard (), Modélisation Didactique Et Informatique Des Connaissances Et Des Interactions, France
- 91.** Saher Arnous. Conception Générique D'un Outil De Configuration De " E-TP ". Environnements Informatiques Pour l'Apprentissage Humain. INSA De Lyon, 2014. France.
- 92.** Saloua & Amina Chettibi & Rouibah (2005), Conception D'une Ontologie Pour Une Plateforme D'enseignement A Distance, Université De Jijel, Algérie.
- 93.** Samia BOUARROUDJ, Raisonnement Sur Une Ontologie Enrichie Par Les Règles SWRL Pour La Recherche Sémantique D'images Annotées (2010), Magister ANNABA, Algerie.
- 94.** Serizel J., (2004). Technologie De L'information Et De La Communication Dans L'enseignement (T.I.C.E.), Autoformation Et Accompagnement Médicatif. Université De François Rabelais, Tours, (France).
- 95.** Siboukeur O., Ould Elhadj M.D. Et Zargat F., (2001). Contribution A L'étude De La Production d'Acide Citrique Par Aspergillus Niger Cultivée Sur Moût De Dettes De La Variété Ghars. Université Kasdi Merbah, Ouargla (Algérie).
- 96.** Sid Ahmed Benraouane (2011), Guide Pratique Du E-Learning, Stratégie, Pédagogie Et Conception Avec Le Logiciel Moodle, Dunod ; France.
- 97.** Sonia Mandin, Nathalie Guin, Marie Lefevre, Modèle De Personnalisation De L'apprentissage Pour Un EIAH Fondé Sur Un Référentiel De Compétences (2015), Lyon, France.
- 98.** Soufyane Haffaf, Mohammed El Amine Zenati (2013), Génération Du Profil D'apprenant A Partir De Traces Modélisées De Moodle, (Master) Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie.

Résumé

Les nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication améliorent profondément nos façons de nous informer, de communiquer et de nous former. Cette émergence technologique fait apparaître un nouveau mode d'apprentissage connu sous le nom de e-learning. Celui-ci est basé sur l'accès à des formations en ligne, interactives et parfois personnalisées, diffusées par l'intermédiaire d'un réseau (Internet ou Intranet) ou d'un autre média électronique. Cet accès permet de développer les compétences des apprenants, tout en rendant le processus d'apprentissage indépendant du temps et du lieu.

Ce mémoire propose de bénéficier de ces nouvelles Tics par l'intégration des concepts innovants du Web sémantique et des ontologies dans le domaine de l'apprentissage médiatisé.

L'objet de ce travail est de concevoir et réaliser une plateforme de type laboratoire virtuel, pour permettre la réalisation des TP et effectuer des expériences.

Au sein d'un laboratoire virtuel en sciences expérimentales, l'apprenant et pour réaliser ses expériences est amené à manipuler des objets virtuels, et en plus aux produits et aux matériels, la manipulation (l'expérience chimique) est considérée comme un élément constituant important de cet environnement.

Pour concrétiser les objectifs de ce travail, nous proposons une ontologie pour représenter tous les concepts liés aux manipulations chimiques qui sont considérés comme une partie importante et contribution marquante dans la réalisation d'un environnement de type laboratoire virtuel sur le web pour l'expérimentation à distance.

Ce laboratoire virtuel est destiné aux apprenants et enseignants des sciences expérimentales (chimie) prenant en compte la collaboration et la communication.

Mots clés : TP, Télé-TP, Laboratoire virtuel, chimie, Web sémantique, OWL, RDF, RDFS, enseignement à distance, document pédagogique, ontologie, annotation, unités de mesure, Manipulations chimiques, Quantité.

Abstract

The new technology of the information and communication ameliorate in a big deal how to inform, communicate and form us. This technological phenomenon has helped in the appearance of a new method of learning which is known as e learning. This process is based on the access of the formation on line, interaction and sometimes specialized distributed by an intermediate of a network (Internet or Intranet) or through one of electronic medium. This access permits to develop the competences of learners so that it makes the learning process independent neither on time nor on place.

This research paper wants to benefit from this new method of learning by integration of new concepts of semantic Web and ontology in the field of learning through mediums.

The objective of this work is to model and realize a platform of a virtual laboratory in order to permit to the realization of practical works and performing experiments.

Inside a virtual laboratory of experimental sciences, the learners, in order to realize their experiments, can manipulate virtual objects as well products and materials. This manipulation (chemical experiments) is considerate as an important component in this environment.

In order to realize these objectives, we suggest an ontology to represent all of the concepts related to the chemical manipulations, which are considerate as an important part and remarkable contribution of the realization of an environment of virtual laboratory on line for remote experiments.

This virtual laboratory is designate to learners and teachers of experimental sciences (chemical) taking into consideration the collaboration and communication.

Key words: practical work, virtual laboratory, Semantic Web, e-Learning, OWL, RDF, RDFS, E-learning, Molecular chemistry, Teaching document, Ontology, Annotation, Protégé, chemical manipulations, quantity