

MA-004-188-1

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad DAHLEB de Blida



Faculté des sciences

Département Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN INFORMATIQUE (LMD)

Option : Ingénierie de logiciel

Développement d'un système de E-Learning qui pourra prédire les émotions des apprenants.

MA-004-188-1

Mémoire réalisé par :

M^{elle} Menacer Khedoudja

f. Guerrab Houcine

Proposé et Encadré par :

Dr. Sidoumou Mohamed Rédha.

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

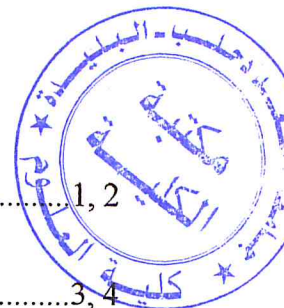
M. Cherfa Imène Président

M. Attaf Sara Examineur

M. Ameer Khadidja Examineur

Promotion 2012/2013

Sommaire



Résumé.....	1, 2
Introduction.....	3, 4

Chapitre 1 : Etat de l'art sur l'utilisation des émotions en STI.

Introduction.....	5
1.1 Qu'est-ce qu'une émotion.....	5
1.2 Les théories de l'émotion	6
1.2.1 Les théories de l'émotion discrète	6
1.2.1 Les théories de l'émotion dimensionnelles.....	6
1.2.1 Les théories de l'émotion cognitive.....	7
1.3 Les émotions dans les interactions homme-machine.....	7
1.3.1 L'informatique affective	8
1.3.2 Exemples de modèles computationnels des émotions	8
1.3.3 Techniques pour la reconnaissance d'émotions	10
1.4 L'émotion et les systèmes intelligents	12
1.4.1 Lien entre émotions et processus cognitifs	12
1.4.2 L'intelligence émotionnelle dans les STI	13
1.4.3 Exemples des STI émotionnels.....	13
1.4.3.1 Cosmo	14
1.4.3.2 Emilie.....	15
1.5 Notre approche de prédiction.....	15
1.5.1 Le choix des outils d'évaluation de la personnalité (le <i>Big Five</i> et l'IPIP-NEO).....	15
1.5.2 Evaluation de la personnalité avec "BIG FIVE"	16
1.5.3 Evaluation de l'émotion instantanée de l'apprenant	18
Conclusion	18

Chapitre 2 : Mieux comprendre le e-Learning

Introduction.....	19
2.1 Aperçu historique.....	19
2.1.1 Première génération	19
2.1.2 Deuxième génération	20
2.1.3 Troisième génération.....	20

2.2 Définition du e-Learning.....	21
2.3 Principe du e-Learning	21
2.4 Comparaison du e-Learning et de la formation traditionnelle	22
2.5 E-Learning et e-formation.....	22
2.5.1 Quelles différences entre e-Learning et e-formation ?.....	22
2.5.2 Autres modes de formations.....	23
2.5.3 Quelques comparaisons.....	24
2.6 Les technologies de e-Learning	25
2.6.1 Le multimédia	25
2.6.2 L'internet.....	25
2.7 Outils et fonctions du e-Learning.....	26
2.8 Les système de gestion des cours (LMS).....	26
2.8.1 Les acteurs d'une plateforme	27
2.8.2 Les modes de formations dans une plateforme.....	27
2.8.3 Etudes comparatives entre interfaces des plateformes du e-Learning	28
2.8.3.1 Les principaux critères que doivent vérifier les plateformes.....	28
2.8.3.2 les plateformes gratuites.....	29
2.8.3.3 Les plateformes payantes	31
2.9 Enjeux du e-Learning.....	34
Conclusion	35

Chapitre 3 : L'apprentissage machine

Introduction.....	36
3.1 Qu'est ce que l'apprentissage machine.....	36
3.2 L'apprentissage supervisé	37
3.2.1 Présentation.....	37
3.2.2 Algorithmes utilisés	38
3.3 Arbres de décision.....	42
3.3.1 Définition	42
3.3.2 Représentation.....	42
3.3.3 Exemples.....	42
3.3.4 Algorithmes utilisés	44
3.3.4.1 Algorithme de CART.....	44
3.3.4.1.1 Présentation de CART	44

3.3.4.1.2 Principes de CART	44
3.3.4.1.3 Les phases de construction d'un arbre par CART	45
3.3.4.1.4 Avantages et limites	47
3.3.4.2 Algorithme d'ID3	48
3.3.4.2.1 Présentation d'ID3	48
3.3.4.2.2 Principe de l'ID3	48
3.3.4.2.3 Exemples	49
3.3.4.2.4 Les limites de l'algorithme ID3	51
3.3.4.3 Algorithme de C4.5	52
3.3.4.3.1 Principe de C4.5	52
3.3.4.3.2 Les phases d'algorithme C4.5	52
3.3.4.3.3 Exemple	53
3.5 Choix des algorithmes utilisés	55
Conclusion	55

Chapitre 4 : Modélisation du système

Introduction	56
4.1 La spécification des besoins	57
4.1.1 Identifications des acteurs	57
4.1.2 Les acteurs du notre système	57
4.1.3 Diagrammes des cas d'utilisation	58
4.2 L'analyse	66
4.2.1 Dictionnaire de donnés	68
4.2.2 Diagramme de classe	69
Conclusion	69

Chapitre 5 : architecture et Conception

Introduction	70
5.1 Conception globale	70
5.2 Conception détaillé	71
5.2.1 La première partie : l'acquisition de l'échantillon et la construction de l'arbre	71
5.2.1.1 Le module acquisition de l'échantillon	71

5.2 1.2 Le module construction de l'arbre de décision	75
5.2.2 La deuxième partie : l'utilisation de l'arbre de décision afin de prédire les émotions ...	77
5.3 Exemples complet sur la prédiction de l'émotion.....	77

Chapitre 6 : implémentation et test

Introduction.....	82
6.1 L'architecture de notre système	82
6.1.1 Définition et concepts	82
6.1.2 Avantages et inconvénients de l'architecture 3-tiers	83
6.1.3 Fonctionnalités des couches.....	83
6.1.3.1 La couche présentation (premier niveau)	83
6.1.3.2 La couche Métier/Business (second niveau)	84
6.1.3.3 La couche Accès aux données(Troisième niveaux).....	84
6.2 Environnement et technologie de développement utilisés.....	84
6.3 Présentation des interfaces de l plateforme.....	85
6.3.1 Installation de la plateforme.....	85
6.3.2 La page d'accueil	86
6.3.3 Gestion des apprenants et des enseignants.....	87
6.3.4 Gestion des cours	88
6.3.5 Évaluation de l'apprenant	91
6.4 Résultats et test.....	91
6.4.1 Présentation du weka.....	91
6.4.2 Principe de fonctionnement du weka	91
6.4.3 Notre test sur le weka.....	92
Conclusion.....	95
Conclusion général.....	96
Bibliographie	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Cosmo et son environnement d'apprentissage (Lester et al., 1999).....	12
Figure 1.2 : Émilie exprime sa joie lorsque l'utilisateur résout un exercice difficile (Faivre et al., 2002b).....	13
Figure.2.1 : l'évolution de l'EAO en fonction de l'informatique	19
Figure.2.2 : Organisation des ressources : outils et supports.....	25
Figure.2.3 : Les différentes fonctions des plates-formes.	27
Figure.2.4 : Extrait d'interface de la plateforme ACCOLAD.....	28
Figure.2.5 : Extrait d'interface de la plateforme CLAROLINE	29
Figure.2.6 : Extrait d'interface de la plateforme MOODLE.....	30
Figure.2.7 : Extrait d'interface de la plateforme LERNING SPACE.....	31
Figure.2.8 : Extrait d'interface de la plateforme VIGIPORTAL.....	31
Figure.2.9 : Extrait d'interface de la plateforme WEBCT	32
Figure.3.1 : les différentes composantes d'un arbre de décision	41
Figure.3.2 : arbres de décision d'un système de reconnaissance d'émotions d'une personne qui embarque dans une voiture.....	42
Figure.3.3 : exemple d'un arbre binaire.....	44
Figure.3.4 : calcul de la fonction Gini.....	45
Figure.3.5 : arbres de décision (exemple du golf).....	53
Figure 4.1 : Modèle en cascade(<i>Mou, 2006</i>).	56
Figure 4.2 : Cas d'utilisation globale.....	57
Figure 4.3 : Cas d'utilisation « Authentification ».....	58
Figure 4.4 : Cas d'utilisation « Gestion des facultés ».....	58
Figure 4.5 : Cas d'utilisation« Gestion des départements».....	59
Figure 4.6: Cas d'utilisation « Gestion des branches ».....	59
Figure 4.7: Cas d'utilisation « Créer compte utilisateur »	59
Figure 4.8: Cas d'utilisation « Gestion des enseignants».....	60
Figure 4.9 Cas d'utilisation « Gestion des apprenants».....	60
Figure 4.10: Cas d'utilisation « Gestion des cours »	60
Figure 4.11: Cas d'utilisation « Gestion des outils du cours »	61
Figure 4.12: Cas d'utilisation « Inscription à un cours »	61

Figure 4.13: Cas d'utilisation « Consultation des outils du cours ».....	62
Figure 4.14: Cas d'utilisation « Evaluation du comportement d'un apprenant»	62
Figure 4.15: Diagramme de séquence « Création d'un nouvel utilisateur »	63
Figure 4.16: Diagramme de séquence « Création d'un cours »	64
Figure 4.17: Diagramme de séquence « Inscrire à un cours »	64
Figure 4.18: Diagramme de classe globale	68
Figure 5.1: Architecture global du notre système	69
Figure 5.2: Le déroulement du notre expérimentation.....	70
Figure5.3: Architecture de la préparation de l'échantillon	71
Figure 5.4:Architecture de l'évaluation de la personnalité de l'apprenant	72
Figure 5.5: Architecture de l'évaluation de l'évaluation de l'état émotionnel courant de l'apprenant.....	73
Figure 5.6: Représentation de sous arbre de l'attribut désirabilité.....	78
Figure 5.7: arbre de décision d'un système reconnaissance d'émotion d'un conducteur qui embarque dans une voiture.....	78
Figure 6.1 :L'architecture 3 tiers.....	82
Figure 6.2 :L'architecture logique à trois niveaux du notre système.....	83
Figure 6.3 : identification de l'utilisateur.....	84
Figure 6.4 : vérification des paramètres de configuration.....	84
Figure 6.5 : détermination des paramètres de l'administrateur.....	85
Figure 6.6 : validation des paramètres de configuration de la plate forme.....	85
Figure 6.7: page d'accueil.....	86
Figure 6.8 : gestion des facultés, départements v et branches de la plateforme	86
Figure 6.9 : supprimer, rechercher, affecter droits d'accès à l'apprenant.....	87
Figure 6.10 : Consultation de la liste des aoprenants.....	87
Figure 6.11 : créer un cours.....	88
Figure 6.12 : consultation de la liste des cours	88
Figure 6.13 : consultation des outils du cours.....	89
Figure 6.14 : ka recherche d'un cours à partir d'un mot clés.....	89
Figure 6.15 : évaluation de l'apprenant.....	90
Figure 6.16 : Répartition des 18 exemples (apprenants sur la base d'apprentissage).....	93
Figure 6.17 : L'arbre de décision généré par le logiciel Weka	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : La taxinomie des "Big Five" de la personnalité (traits et facettes)	16
Tableau 2.1 : Comparaison des caractéristiques du e-Learning et de l'apprentissage traditionnel	20
Tableau 2.2 : Comparaison des avantages et inconvénients du e-Learning et de la formation traditionnelle	21
Tableau 2.3 : les modèles de e-formation	22
Tableau 2.4 : Comparaison de quelques e-formations	23
Tableau 2.5 : les technologies de e-Learning : support et application pédagogique	24
Tableau 2.6 : comparaison de critères des plateformes étudiées	33
Tableau 3.1: tableau d'un ensemble de données (discrètes) collectées	48
Tableau 3.2: tableau d'un ensemble de données (continues et discrètes) collectées	52
Tableau 4.1: dictionnaire de données.....	67
Tableau 5.1:Description des flux existants entre les modules du système	70
Tableau 5.2: les paramètres à prendre en compte	71
Tableau 5.3: un ensemble de données (collectées)	74
Tableau 6.1 : Technologies utilisés.....	84

LISTE DES FORMULES

Formule 3.1 : fonction de Gini.....	44
Formule 3.2 : calcul de la quantité.....	46
Formule 3.3 : la variation d'erreur apparente.....	46
Formule 3.4 : Entropie de Shannon.....	47
Formule 3.5: L e gain d'information.....	47
Formule 3.6 : Condition d'un nœud terminale.....	51
Formule 3.7 : Autre Condition d'un nœud terminale.....	51
Formule 3.8 : Le gain associé au choix du test T.....	51

Introduction générale

Les dernières décennies ont été marquées par une évolution quasi générale du réseau Internet, de nouvelles formes de l'industrie sont apparues dont notamment le commerce électronique, le *e-Learning*, etc. Cette dernière technologie, en particulier, n'a cessé de changer au fil des années.

Auparavant l'utilisation de l'ordinateur pour l'apprentissage a donné naissance, dans les années 60, à l'*Enseignement Assisté par Ordinateur* (EAO). Cependant, ces systèmes d'EAO étaient limités dans la mesure où ils présentaient à l'apprenant une succession de contenu figé et des questions pour tester si le contenu présenté était bien assimilé. Les faiblesses de ces systèmes se manifestent alors, d'une part, par l'absence de diagnostic à la suite des réponses de l'apprenant et d'autre part par le manque d'interactivité avec ce dernier. Cela représentait un obstacle pour comprendre les intentions de l'apprenant et identifier les difficultés qu'il rencontrait.

Avec l'apparition de l'intelligence artificielle à la conférence de Dartmouth en 1956, une nouvelle génération d'enseignement est apparue dans les années 70, à savoir, l'*Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur* (EIAO), appelé aussi *Système Tuteur Intelligent* (STI). Ces systèmes se caractérisent généralement par leur capacité à fournir un enseignement individualisé selon le degré de connaissance de l'apprenant et à accomplir des tâches non prévues d'avance, en utilisant des techniques d'intelligence artificielle afin de ressembler à un tuteur humain (c'est-à-dire remplacer un tuteur humain par une machine).

Le problème ici qui se pose souvent ces systèmes ne prennent pas en considération le facteur émotionnel et pourtant divers travaux de recherche ont montré que l'émotion joue un rôle crucial dans la prise de décision, les processus cognitifs et la performance (Damasio, 1994), (Goleman, 1995), (Isen, 2000).

Pour cela nous adressons ici les deux questions fondamentales suivantes :

- Une réaction émotionnelle peut-elle être prédite dans un environnement d'apprentissage à distance ?
- Comment cette réaction émotionnelle est-elle liée aux caractéristiques de l'apprenant ?

L'objectif principal de notre projet est de développer une méthode permettant à un système de e-Learning de prédire la réaction émotionnelle de l'apprenant à un moment donné de l'apprentissage sachant que les émotions ont un grand influences sur plusieurs processus cognitifs tels que l'attention, la mémorisation à long terme, la prise de décision, etc. (Isen, 1999), (Damasio, 1994). Par exemple les gens anxieux ont un déficit dans le raisonnement inductif, une attention restreinte et une capacité de mémoire réduite (Isen, 2000).

Nous avons adapté comme solution une plate-forme e-Learning qui se charge de prédire les émotions de l'apprenant au moment d'apprentissage. En d'autre terme on veut développer une application web e-Learning qui s'adapte en fonction des réactions émotionnelles de l'apprenant et, donc soit capable de déterminer l'émotion actuelle de l'apprenant. Nous avons construire une base d'apprentissage qui contient des informations personnel de l'apprenant tel que le sexe, le niveau d'étude, la personnalité de l'apprenant, l'émotion. Puis à partir de cette base nous allons construire un arbre de décision qui va nous aider à prédire l'émotion de l'apprenant....

Afin d'atteindre le principal but de notre étude, nous avons organisé notre mémoire comme suit :

Introduction générale

- ✓ **Chapitre 1** « Etat de l'art sur l'utilisation des émotion en STI » : ce chapitre fournit un état de l'art sur l'utilisation des émotions en interaction homme/machine(IHM), les Systèmes Tutoriels intelligents (STI), les modèles émotionnels les plus utilisés.
- ✓ **Chapitre 2** : Sous le titre du (Mieux comprendre e-Learning) présentera les concepts de base du e-Learning, et permet de mieux comprendre ce qu'est le e-Learning, ce qu'il recouvre et les technologies associées à ce nouveau mode d'acquisition du savoir.
- ✓ **Chapitre 3** « L'apprentissage machine »: représente une introduction à l'apprentissage automatique, est plus particulièrement, l'apprentissage supervisé. Dans cette partie de ce mémoire, nous allons essayer de décrire quelques algorithmes de ce type d'apprentissage, dans le but de comparer entre eux. Pour finir ensuite, par le choix des arbres de décision(C4.5), grâce à leur capacité de traiter des problèmes structurés.
- ✓ **Chapitre 4** « Modélisation su système »: aborde l'analyse et la conception de notre système en utilisant la modélisation avec UML à travers cas d'utilisation, les scénarios, les diagrammes de séquences, et les diagrammes de classes.
- ✓ **Chapitre 5** « Architecture et conception »: Ce chapitre a comme objectif de mieux représenter le fonctionnement du système, et cela à l'aide d'une architecture globale du notre système.
- ✓ **Chapitre 6** «Implémentation et test » : Représente la mise en œuvre du notre système .Il étale la représentation du fonctionnement de notre système, à l'aide d'une architecture 3tiers.
- ✓ **Conclusion générale**

Introduction

L'émotion est encore un domaine peu étudié en Interaction Homme-Machine (IHM). Pourtant, l'homme est une créature profondément émotionnelle, qui se repose sur l'affect bien plus que sur la logique ou sur la raison. Chaque décision que nous prenons fait intervenir l'affect. Cette dimension humaine a été totalement ignorée jusqu'à il y a quelques années en IHM.

Ce chapitre passe en revue les différents travaux qui ont traité de l'émotion, dans le contexte d'interaction homme/machine(IHM). Mais, en premier lieu, il convient de clarifier ce qu'est une émotion. Quels sont ses effets sur l'être humain et comment peut-elle l'influencer ?

1.1 Qu'est-ce qu'une émotion

Le terme « émotion » vient du latin e-movere qui signifie « mettre en mouvement » ou autrement dit « qui sert à l'action ». L'émotion est un ressenti psychique subjectif et spécifique, variable en intensité et en qualité. [b-01]

Elle nécessite trois composantes :

- L'expérience subjective (le sentiment)
- L'expression communicative (ex : les pleurs pour exprimer la tristesse)
- Les modifications physiologiques (ex : rythme cardiaque, pression sanguine,... etc.)

On peut différencier les émotions selon trois niveaux de classification :

- **Les émotions fondamentales** : réaction à un événement extérieur réel ou imaginaire.
- **Les émotions dérivées** : fondées par l'image que l'on a de la conscience d'autrui.
- **Les émotions tierces** : naissent de la conscience de soi face au regard de l'autre.

• Selon (Cohn, 2007), [b-02] les émotions sont des réactions synchronisées d'une personne, impliquant ses ressources mentales et somatiques, face à un événement stimulus qui est perçu ou évalué comme étant pertinent pour ses besoins, ses objectifs et ses valeurs.

• Selon (Damasio, 1994) [b-03] qui est fortement reconnu dans les recherches sur les émotions, il est possible de considérer deux aspects contribuant aux émotions:

1) **un aspect cognitif**, lié au processus mental de raisonnement et de prise de décision;

2) **un aspect physique**, selon lequel l'émotion est un phénomène physique qui modifie les expressions comportementales, par exemple, les traits du visage et l'intonation vocale.

Les émotions sont ainsi très présentes dans la vie de l'homme. Par conséquent, elles ont fait l'objet de plusieurs études psychologiques. Dans la littérature, il existe essentiellement trois théories qui décrivent la manifestation des émotions et spécifient le processus de génération (physiologique ou cognitif), soit les théories de l'émotion discrète, les théories de l'émotion dimensionnelle et les théories de l'évaluation cognitive. Ces théories sont présentées à la section qui suit.

Les théories de l'émotion [b-04]

1.1.1 Les théories de l'émotion discrète

Ces théories soutiennent que les émotions représentent un ensemble fini. Elles sont appelées émotions de base et sont universelles, partagées par tous les humains. Les premiers travaux étaient l'œuvre de (Tomkins (1962)) [b-05], lequel a proposé neuf émotions. Ensuite, Ekman et al. (1972) [b-06] ont présenté leurs six émotions de base, chacune correspondant à une expression faciale : tristesse, joie, colère, peur, dégoût et surprise. Ces émotions ont été très utilisées dans la littérature. La plupart des théories discrètes déterminent le nombre d'émotions par rapport aux différents patterns de l'expression faciale. Cela a donné lieu à différentes listes d'émotions de base en type et en nombre selon la théorie discrète (Fragopanagos & Taylor, 2005). [b-07]. Concernant le processus de génération, ces théories supposent que ces émotions de base ne requièrent pas un processus cognitif complexe et qu'elles surviennent principalement suite au déclenchement d'un processus détecteur-moteur ou neuro-moteur inné ou préprogrammé (Gratch, Marsella, & Petta, 2009 [b-08]). Par exemple, le fait d'entendre une grande détonation peut déclencher à priori inconsciemment (involontairement) et d'une manière systématique une émotion de peur. Du fait de la diversité des listes des émotions présentées par chaque théorie, en nombre et en type, d'autres recherches ont proposé des théories qui vont dans un sens totalement opposé aux thèses présentées par les théories discrètes. Ce sont les théories de l'émotion dimensionnelle.

1.1.2 Les théories de l'émotion dimensionnelle

Les théories de l'émotion dimensionnelle stipulent que les émotions ne sont pas discrètes et qu'elles ne peuvent pas être catégorisées. Elles soutiennent également que celles qui sont communément appelées émotions (p. ex., joie, tristesse, etc.) ne sont que des labels ou étiquettes qu'on utilise pour mieux comprendre le phénomène. Selon ces théories, les émotions correspondent plutôt à des phénomènes continus issus d'activations ou d'excitations physiologiques (p. ex., accroissement des battements du cœur, troubles respiratoires, etc.) (Lang, 1995) [b-09] et peuvent être représentées à l'aide de points dans un repère à dimensions bipolaires. La plupart des théories dimensionnelles ont caractérisé les émotions à l'aide de deux dimensions. La première est la **valence**, avec ses deux pôles opposés reflétant le fait que l'évènement déclencheur de l'émotion est perçu comme positif et bénéfique ou bien négatif et nuisible. La deuxième dimension correspond à l'**excitation**, appelée aussi activation, et traduit l'intensité de l'excitation physiologique qui révèle la prédisposition d'agir ou d'entreprendre une action suite à l'évènement générateur de l'émotion.

Cette activation ou excitation varie entre deux valeurs extrêmes « élevée » et « basse » (faible).

Ainsi, une transformation pourrait se faire depuis les émotions de base vers l'espace valence excitation. Par exemple, quelqu'un qui sent une excitation élevée et qui perçoit sa situation comme étant nuisible peut avoir l'émotion communément connue sous le terme « colère ». En outre, il y a eu d'autres théories qui ont rajouté une troisième dimension appelée **dominance**. Cette dernière indique à quel point la personne a un contrôle et un pouvoir d'action sur la situation, ou bien à quel point elle est soumise et impuissante.

Les théories dimensionnelles ont fait l'objet de plusieurs études dans la littérature, encouragées par le cadre théorique simple utilisé pour la caractérisation de l'émotion. Cependant, des psychologues (*Lazarus, 1991; Ortony, Clore, & Collins, 1988*) ([b-10], [b-11]) soutiennent que cette caractérisation, selon seulement deux ou trois dimensions, peut engendrer une perte d'informations du fait de la richesse, la complexité et le caractère multidimensionnel de l'émotion.

1.1.3 Les théories d'évaluation cognitive

Introduites par *Arnold (1960)* [b-12] et *Lazarus (1968)* [b-13], les théories d'évaluation cognitive ont été, et sont encore, l'objet d'un grand nombre de recherches au sujet de l'émotion. Elles soutiennent que la réaction émotionnelle, avec ce qu'elle implique comme réactions corporelles ou physiologiques, est le résultat d'un processus cognitif correspondant à la perception ou l'évaluation faite par l'individu de l'impact que pourrait avoir son environnement et des situations qu'il vit. En fait, cela correspond à l'influence des comportements d'autrui, des événements qui surviennent et des objets qui l'entourent sur son bien-être, ses objectifs et ses valeurs.

Ainsi, contrairement aux autres théories (discrètes et dimensionnelles), les théories d'évaluation fournissent un cadre théorique plus riche qui permet de mieux cerner le caractère multidimensionnel de l'émotion et proposent des liens et des relations détaillées entre le processus cognitif de génération de l'émotion et la réaction émotionnelle produite. Du fait de cette richesse, elles ont été très utilisées dans le domaine de l'intelligence artificielle, principalement dans les travaux sur les modèles computationnels d'émotions qui essayent de simuler le processus de génération de l'émotion. Une autre utilisation intéressante des théories d'évaluation est la reconnaissance automatique de l'émotion, dans un contexte d'interaction homme-machine (IHM), où la machine serait capable d'inférer l'évaluation cognitive de l'individu. Dans ce qui suit, nous essaierons de présenter les travaux qui ont tenté d'intégrer les émotions au niveau des interactions homme-machine au moyen de la reconnaissance automatique de l'émotion. Ensuite, nous présenterons quelques modèles computationnels reposant sur les théories d'évaluation.

1.3 Les émotions dans les interactions homme-machine

Dans l'introduction de ce mémoire, nous avons souligné l'omniprésence des ordinateurs dans la vie quotidienne de l'humain. Nous avons également indiqué la nécessité d'améliorer la qualité des interactions entre l'humain et la machine en rendant cette dernière capable de reconnaître les états émotionnels que peut éprouver l'utilisateur. Cette problématique est abordée par les recherches en informatique affective.

1.3.1 L'informatique affective

L'informatique affective introduite par Picard (2000) [b-14] vise à doter les ordinateurs de la capacité de reconnaître et d'interpréter les émotions et les comportements affectifs d'une personne afin de fournir des réponses plus intelligentes, d'initier une conversation, d'agir sur l'état de la personne et d'enrichir par conséquent l'interaction en la rendant plus « humaine ». Ainsi, l'informatique affective peut être considérée comme une sous-discipline de l'interaction homme-machine. La reconnaissance de l'émotion se fait à partir de plusieurs sources (p. ex., intonation de la voix, expression du visage, gestes du corps, signaux physiologiques, etc.). Généralement, la reconnaissance à partir de ces sources se fait à l'aide d'algorithmes d'apprentissage machine. Les recherches en informatique affective ont connu une expansion considérable et ont été appliquées à une variété de domaines, comme les jeux vidéo, les systèmes tuteurs intelligents, les centres d'appel, etc. [b-04]

1.3.2 Exemples de modèles computationnels des émotions

L'émotion et la cognition ont largement inter-relies (d'après Les théories d'évaluation cognitive). En effet, l'émotion est très importante pour les processus cognitifs, la prise de décision et les comportements sociaux. Pour ces raisons et dans le but de créer une machine intelligente qui exprime des émotions, plusieurs modèles computationnels des émotions ont été réalisés. La majorité de ces modèles est fondée sur la théorie de l'évaluation cognitive. Ils peuvent être divisés en deux catégories: ceux destinés aux agents virtuels et ceux destinés à l'utilisateur.

a) Modèles computationnels des émotions destinés aux agents virtuels

Damasio a montré que l'être humain n'est pas capable de prendre même de simples décisions sans émotions. Suite à cette étude, des chercheurs se sont intéressés aux modèles computationnels des émotions dans le domaine de l'intelligence artificielle et particulièrement dans la communauté de recherche sur les agents afin de créer des agents intelligents qui seront capables de prendre des bonnes décisions. Ainsi, une grande partie des recherches avaient pour objectif d'inclure les modèles computationnels des émotions dans les agents virtuels. [b-15]

- ✓ Dans le projet **OZ**, (Reilly et confits 1992) [b-16] ont créé un modèle émotionnel appelé Em, inspiré par le modèle OCC (Ortony, Clore et Collins 1988). Le modèle Em est inclut dans des agents afin de simuler et exprimer des émotions.
- ✓ Seif El-nasr et ses collègues [b-18] ont créé un modèle émotionnel qui peut être intégré dans les agents intelligents. Ce modèle s'appelle **FLAME** (modèle adaptatif de la logique floue des émotions) et se base sur divers modèles, principalement le modèle OCC et le modèle de Roseman. FLAME utilise la logique floue pour représenter des émotions, des événements et des observations émotionnelles. Ce modèle utilise également une technique d'apprentissage machine pour apprendre à partir d'événements, d'associations entre objets et des prévisions sur l'utilisateur. [b-17]

- ✓ Gratch et Marsella 2004 [b-19] ont développé EMA (émotion et adaptation), un modèle informatique d'émotion incorporé dans des agents virtuels visant à faciliter la prise de décision et la réaction comportementale.
- ✓ Dans le but de motiver l'apprenant, les chercheurs ont amélioré des systèmes tuteurs intelligents en y intégrant la capacité d'identifier, d'exprimer, et d'induire des émotions. (Lester, Towns et Fitzgerald 1999) [b-20], par exemple, ont créé COSMO, un agent pédagogique qui exprime des émotions pour motiver l'étudiant par un système tuteur et le soutenir particulièrement dans des activités de résolution des problèmes.

(b) Modèles computationnels des émotions des utilisateurs

Bien que l'intérêt pour la modélisation des émotions de l'utilisateur soit plutôt récent, un nombre important de chercheurs ont tenté de trouver un moyen pour communiquer aux agents l'état émotionnel de l'utilisateur afin de produire une réaction adéquate. Ces travaux se sont concentrés soit sur une émotion spécifique (comme le stress), soit sur l'intensité (est-ce que l'événement a pu déclencher une émotion forte ou faible?) et la valence (est-ce que l'événement a des impacts positifs ou négatifs sur l'utilisateur?). Par ailleurs, ces modèles n'ont jamais été comparés à des utilisateurs réels. [b-15]

Pour ces raisons, Conati et Maclare (2004) [b-21] ont développé un modèle probabiliste prenant en considération des émotions spécifiques. Ce modèle se fonde sur des réseaux de décision dynamiques qui intègrent des informations sur les causes des réactions émotionnelles des étudiants et leurs effets sur l'expression corporelle. De plus, il découle du modèle OCC et a été conçu pour évaluer les émotions des étudiants durant leur interaction avec un jeu éducatif. Ce modèle représente alors seulement 6 des 22 émotions définies dans le modèle OCC. De plus, ce modèle ne prend en compte que trois facteurs ou causes reliés à la génération des émotions (les buts, la situation et la personnalité). La personnalité, en particulier, est un facteur essentiel du modèle émotionnel de l'utilisateur. Elle a été utilisée dans plusieurs applications informatiques (*p. ex.* : les systèmes de recommandation) puisqu'elle a un effet important sur la décision.

Dans un contexte d'apprentissage à distance, il existe plusieurs autres facteurs à considérer (tels la personnalité de l'apprenant, son sexe, son émotion courante, etc.) puisque chaque individu réagit émotionnellement de façon différente suite à un événement émotionnel.

Pour développer des modèles computationnels des émotions destinées aux utilisateurs, les chercheurs informaticiens utilisent différentes techniques de reconnaissance des émotions. Dans la section suivante, nous explorons différentes techniques existantes dans le domaine de l'informatique utilisées pour identifier les émotions d'un individu.

1.3.3 Techniques pour la reconnaissance d'émotions

Pour la reconnaissance automatique d'émotions, il existe quatre méthodes qui sont les plus utilisées:

(a) La technique d'auto-rapport (*self-report*) :

Cette technique consiste à interroger des sujets sur leurs états émotionnels. Elle peut inclure des listes d'adjectifs ou des questionnaires fondés sur l'échelle de (Likert, 1932) [b-22]. Une liste d'adjectifs comprend une série d'adjectifs, tels que joyeux et triste, décrivant l'émotion actuelle de l'individu. Le problème avec cette technique consiste à choisir des mots décrivant la situation actuelle, tandis que, les questionnaires fondés sur l'échelle de Likert se composent d'un ensemble de questions liées à des états émotionnels. Par exemple, pour mesurer l'anxiété, les participants sont priés d'indiquer leurs sentiments sur une échelle de 4-point de Likert définie par (1) Certainement n'est pas sentie, jusqu'à, (4) Certainement sentie. [b-15]

(b) Les expressions faciales :

Plusieurs chercheurs en psychologie et en informatique ont utilisé les expressions faciales pour détecter l'émotion de l'individu. Paul Ekman est parmi les premiers chercheurs qui ont exploré ce domaine. Il a créé avec son collègue Friesen le système FACS (*Facial Action Coding System*) qui permet de mesurer les mouvements des muscles faciaux (Ekman and Friesen, 1978) [b-23]. Ce travail a constitué une base pour les travaux suivants dans le domaine. En particulier, dans le domaine de l'informatique, les chercheurs ont utilisé différentes approches pour la détection automatique des expressions faciales. Ce mécanisme consiste en l'extraction et la classification des caractéristiques faciales.

L'extraction peut être appliquée sur le visage en entier (considéré comme un ensemble), ou sur les parties les plus expressives du visage, qui changent selon les expressions faciales. Selon (Parke and Waters, 1996) [b-24] la génération de l'émotion se fait à travers des muscles spécifiques.

- ✓ Pour la joie par exemple les sourcils sont détendus, la bouche est large avec les coins tirés vers le haut (vers les oreilles).
- ✓ Pour la tristesse, les parties intérieures des sourcils sont empilées vers le haut au-dessus de la paupière supérieure et la bouche est détendue.
- ✓ Pour la colère les sourcils sont rassemblés en bas, la bouche est fermée avec la lèvre supérieure légèrement comprimée.
- ✓ En ce qui concerne le dégoût, la partie intérieure des sourcils est légèrement abaissée et la bouche est fermée avec la lèvre supérieure élevée.
- ✓ Pour la peur, les sourcils sont élevés, rassemblés et pliés vers le haut, la bouche peut être légèrement ouverte et relâchée. Enfin pour la surprise, les sourcils sont élevés en haut, les paupières supérieures sont ouvertes et la bouche est ouverte et relâchée

(c) Les expressions prosodiques du discours:

Les travaux de détection des émotions à partir de la voix sont moins importants en nombre que les travaux réalisés dans le domaine des expressions faciales. Récemment, les chercheurs se sont concentrés sur les indices prosodique et acoustique du mot. Il s'agit alors de déterminer des informations relatives à la prononciation d'un message, comme : l'intonation, la durée, l'articulation, etc. La plupart s'accordent toutefois sur le fait que l'émotion, en faisant varier le tonus -musculaire entre autres, influence le fonctionnement des systèmes respiratoire, phonatoire et articulaire qui, en réaction, modifient certaines dimensions acoustiques de la voix. (Petrushin, 1999), [b-25] par exemple, a développé un système de reconnaissance d'émotions par la voix en temps réel, en utilisant les réseaux de neurones, pour des applications de centres d'appels. Son système permet de classer deux émotions (agité et calme) avec un taux de précision de 77%. [b-15]

(d) Les changements physiologiques:

Cette technique consiste à utiliser des enregistrements, des signaux physiologiques, par exemple, la fréquence cardiaque, la conductance de la peau, la tension musculaire, etc. Picard et al (2000) ont cherché à identifier huit émotions (neutre, irrité, détestant, peine, amour platonique, amour romantique, joie et révérence) à partir d'un ensemble de signaux physiologiques sentis. Ils ont employé cinq signaux physiologiques pour identifier des émotions : électromyogramme de la mâchoire (codant la tension musculaire de la mâchoire), de la pression, de volume de sang, de la conductivité de peau, de la respiration et de la fréquence cardiaque.

Cette technique a l'avantage de détecter les changements physiologiques dus à des réactions émotionnelles de façon plus naturelle (moins contrôlés par les utilisateurs) que les autres techniques citées précédemment. Le problème avec cette technique est qu'il est très difficile d'établir des liens entre des changements physiologiques et des émotions spécifiques. En effet, des chercheurs ont montré que certaines émotions différentes ont les mêmes changements physiologiques (Izard, 1977)[b-26]. Par contre, cette technique est très efficace quand on veut détecter le degré d'excitation ou la valence (positive ou négative) d'une émotion étant donné que ces deux derniers ont des fortes corrélations avec les signaux physiologiques. [b-15]

Une émotion de valence positive est une émotion agréable et appréciée (*p. ex.*: joie, fierté, etc.). Cependant, une émotion de valence négative est une émotion désagréable et évitée (*p. ex.*: tristesse, colère, etc.). En dépit des diverses approches proposées pour mesurer l'émotion d'un individu, cette tâche reste toujours complexe dans un cas réel puisque les êtres humains peuvent ressentir la même chose et l'exprimer de différentes manières. Pour cela, l'utilisation d'un seul médium pour la reconnaissance automatique des émotions ne donne pas de bons résultats en général. Certains chercheurs ont proposé de combiner différents média afin d'améliorer la reconnaissance automatique des émotions. Par exemple, Bianchi et Lisett (2002) [b-27] ont développé un modèle permettant de déterminer l'émotion de l'utilisateur par l'intermédiaire de trois sous-ensembles multimodal : visuel, kinesthésique et auditif.

En effet, l'utilisation de capteurs physiologiques par exemple peut générer de l'inconfort pour les apprenants, de même l'utilisation d'une caméra qui surveille l'apprenant tout le temps peut le stresser. De plus, on observe des problèmes liés à la difficulté d'utilisation de ces équipements et à leur coût.

Nous proposons de contourner ces problèmes en laissant de côté la détection et l'interprétation des signaux, pour plutôt fonder la prédiction des émotions sur les réactions passées d'un groupe d'apprenants. Notre approche est fondée sur l'utilisation des techniques d'apprentissage machine pour prédire l'émotion de l'apprenant selon certaines données à caractère personnel (personnalité, état émotionnel courant, sexe) et l'événement qui a eu lieu.

1.4 L'émotion et les systèmes intelligents

Depuis la fin des années 90, la modélisation informatique des émotions constitue une thématique de plus en plus centrale et reconnue dans le domaine de l'intelligence artificielle. D'ailleurs, plusieurs sont les chercheurs en IA qui s'intéressent à cette problématique. Ils ont développé des modèles permettant d'intégrer la dimension émotionnelle dans la structure des agents pédagogiques et des systèmes tutoriels (El Nasr et al., 2000; Gratch et Marsella, 2004). Le but ultime de cette modélisation est de réduire le plus possible la différence entre un environnement d'apprentissage virtuel et celui réel. [b-28]

Deux questions sont alors : Quel est le rôle des émotions dans les tâches d'apprentissage ? Et Pour quelles raisons ces chercheurs cherchent à intégrer une telle dimension émotionnelle dans les STI ?

1.4.1 Lien entre émotions et processus cognitifs

Antonio Damasio fut l'un des premiers chercheurs en neurosciences qui s'est opposé à la théorie classique, celle qui considère que les émotions et la cognition sont deux fonctions mentales indépendantes. En s'appuyant sur de nombreuses études cliniques, il a montré que les émotions sont fortement liées à certains processus cognitifs tels que l'attention, la mémorisation, la perception et la prise de décision. Il a même affirmé que sans émotions, nous ne pouvons pas décider. Ce point de vue a été ensuite confirmé par plusieurs chercheurs (Clore et Gasper, 2000; LeDoux, 1998; Weiss et Palumbo, 2000; Worthman, 1999); ils se sont tous entendus sur le fait que les émotions sont un auxiliaire indispensable à la raison. De ces idées, nous constatons que les émotions interviendraient dans tout processus mental, particulièrement dans le processus de l'apprentissage, où la mémoire et l'attention sont deux déterminants majeurs de la réussite. [b-28]

En effet, lors d'une séance de cours, l'apprenant éprouvait une variété d'émotions telles que la joie, le plaisir, l'ennui, etc., lesquelles peuvent avoir un impact sur ses capacités cognitives et ses performances. À cet égard, (Isen, 1984) [b-29] a déclaré que " la qualité des émotions peut faciliter l'apprentissage en activant chez l'individu de larges capacités cognitives influençant le codage et facilitant la mémorisation ".

Par ailleurs, des chercheurs en informatique s'intéressant à l'avantage des émotions sur l'apprentissage, entre autres (Adam et Evrard, 2005; Ahn et Picard, 2005; Chaffar et al., 2006; Lisetti et Nasoz, 2004), ont pu confirmer cette opinion. Leurs études empiriques menées ont également démontré que les émotions pouvaient influencer le processus d'apprentissage et que certaines émotions pouvaient favoriser le succès de l'apprentissage.

1.4.2 L'intelligence émotionnelle dans les STI

Parallèlement à ces études mettant en évidence l'étroite relation entre la cognition et l'émotion, Daniel Goleman (1997)[b-30] a popularisé un nouveau concept, à savoir l'intelligence émotionnelle. Ce concept est issu à l'origine des travaux de Howard Gardner (1983)[b-31], l'un des premiers fondateurs de la théorie des intelligences multiples. Dans sa théorie, Gardner conteste l'idée de réduire l'intelligence à la simple mesure du quotient intellectuel et affirme plutôt l'existence de plusieurs formes d'intelligence, parmi lesquelles l'intelligence interpersonnelle et l'intelligence intra personnelle. Ces deux formes ont permis ultérieurement de constituer l'intelligence émotionnelle (IE).

Selon Goleman, l'intelligence émotionnelle est un des facteurs majeurs contribuant à la réussite scolaire et professionnelle. À cet effet, un nouveau courant de recherche s'intéressant à la modélisation informatique de cette forme sociale d'intelligence dans les systèmes d'apprentissage, a vu le jour. Il s'agit essentiellement de doter ces systèmes tutoriels d'une certaine capacité de l'intelligence émotionnelle; en d'autres termes des STI ayant l'habileté à reconnaître, prendre en considération et gérer les émotions de l'apprenant. Une telle capacité contribuait significativement à la richesse des interactions hommes machines.

Dans cette optique, plusieurs chercheurs ont tenté d'inclure cette dimension émotionnelle dans l'architecture des STI. Leurs tentatives consistent essentiellement à intégrer au sein du STI des agents virtuels supposés jouer le rôle du tuteur humain qui, en plus de fournir le contenu du cours aux étudiants, peut reconnaître et gérer ses émotions. Par exemple, si un étudiant ressent de l'anxiété, l'enseignant va changer sa stratégie d'apprentissage afin d'attirer son attention. Il sera ainsi possible de doter ces agents de certaines capacités émotionnelles de l'enseignant. Nous décrirons dans ce qui suit, à titre d'exemples, quelques travaux réalisés dans ce sujet. [b-28]

1.4.3 Exemples des STI émotionnels

Dans cette section, Nous citons quelques exemples des systèmes tuteurs intelligent émotionnels qui ont déjà réalisés.

1.4.3.1 COSMO

L'un des premiers STI intégrant un agent virtuel doté d'émotion est COSMO (Lester et al., 1999) [b-20]. C'est un agent pédagogique animé destiné à apprendre les fondements de la topologie du réseau et des mécanismes de routage. Il explique notamment aux apprenants comment les ordinateurs sont connectés, comment gérer l'adressage et le routage des données, comment optimiser le trafic réseau, et comment distinguer les différents types de réseaux selon leurs caractéristiques physiques.

L'objectif de cet agent ne se limite pas à fournir aux apprenants des connaissances théoriques du cours, mais plutôt de les encourager et d'augmenter leur motivation à apprendre le cours. L'une des caractéristiques majeures de Cosmo liées à l'IE, c'est sa capacité d'exprimer les émotions à travers son corps entièrement animé; son visage (les yeux, les sourcils et la bouche), ses gestes (inclinaison de la tête, mouvement des bras et des mains, déplacement du corps, applaudissement, etc.) et sa voix lui permettent d'exprimer ses propres émotions (voir figure 1.1).

Ainsi, il exprime de la joie si un apprenant résout un exercice ou de la déception dans le cas contraire. De plus, chaque comportement de Cosmo est modulé par le degré de complexité du problème à résoudre. Il change donc son comportement en fonction de la difficulté du problème; par exemple si un apprenant résout un problème difficile, il exprime sa joie en souriant, en applaudissant et en le félicitant oralement. Une autre particularité alors de Cosmo est sa capacité d'exprimer verbalement ses émotions. Il module ainsi la tonalité de sa voix selon l'émotion qu'il cherche à exprimer. En outre, il peut intervenir et donner des conseils à l'apprenant dans certains cas; par exemple, quand l'apprenant commet une erreur ou fait une longue pause dans la résolution d'un problème il l'encourage, l'incite à continuer et corriger cette erreur, etc. En bout de ligne, toutes ces capacités vont d'une part enrichir l'interaction homme machine, et d'autre part renforcer le processus d'apprentissage. D'ailleurs, tous ses utilisateurs ont exprimé de la joie et du plaisir lors de l'interaction avec Cosmo; ils le trouvent amusant, sympathique, intéressant et charismatique. [b-28]



Figure 1.1 Cosmo et son environnement d'apprentissage (Lester et al., 1999)

1.4.3.2 ÉMILIE

Un autre exemple d'un STI basé sur une architecture multi-agents est *ÉMILIE Faivre et al., 2002b* [b-32]. C'est un STI destiné à l'enseignement des sciences en ligne. Il intègre notamment deux agents émotionnels adaptatifs, Émilie-1 et Émilie-2. Émilie-1 est un agent 3D dédié à l'expression des émotions du tuteur tandis qu'Émilie-2 est dédié à la détection et l'analyse des émotions courantes de l'apprenant. " L'intégration d'agents émotionnels adaptatifs au sein d'un STI multi-

agents vise essentiellement à encourager l'étudiant à jouer un rôle proactif dans son apprentissage ".

Ainsi, au cours d'une séance d'apprentissage, l'agent tuteur se charge de la planification du déroulement du cours et de la prise des décisions appropriées quant aux contenus du cours à exposer et aux stratégies pédagogiques à adopter. Pour augmenter la crédibilité et la richesse de ce tuteur, les auteurs ont utilisé le modèle OCC afin de représenter ses différents états émotionnels et lui ont attribué un agent émotionnel appelé Émilie-1, par lequel il s'exprime d'une façon visible aux étudiants, et ce, à travers ses expressions faciales, ses regards et ses gestes. [b-28]

En outre, ils modulent chaque comportement d'Émilie par le degré de difficulté du problème à résoudre; par exemple, l'expression de l'émotion de la joie diffère en fonction de la difficulté de la tâche réalisée par l'étudiant (voir figure 1.2). En plus d'exprimer des émotions, Émilie est capable de détecter, d'analyser les émotions courantes de l'apprenant et de s'adapter selon les actions émotionnelles de ce dernier. La reconnaissance de l'état émotionnel de l'apprenant, assurée par Émilie-2, est modélisée par un ensemble de règles de production qui spécifient quelle émotion à déclencher dans une telle situation. Émilie-2 utilise également des questionnaires d'autoévaluation adressés à l'étudiant pour savoir sa propre estimation de son état émotionnel pendant la session du cours.

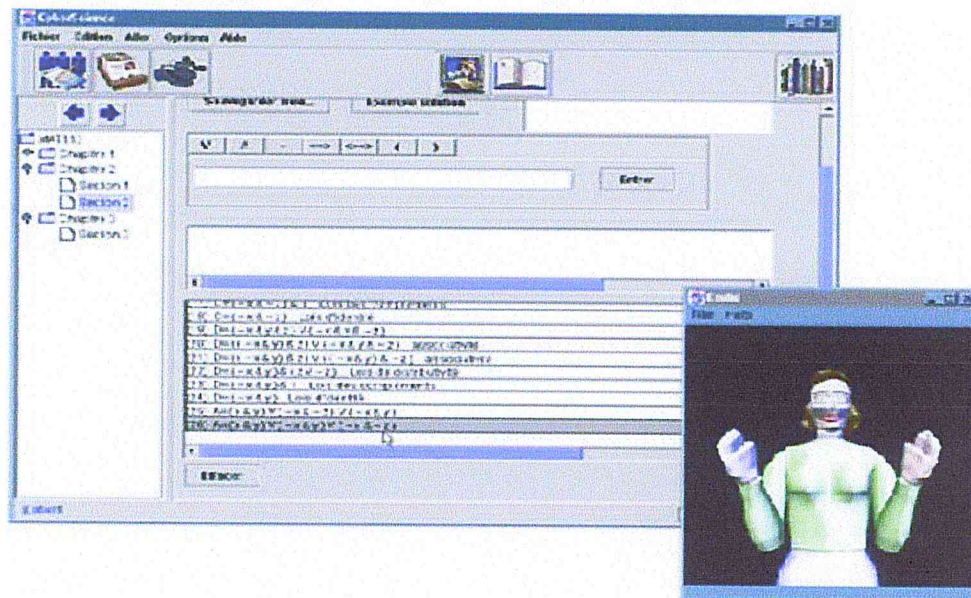


Figure 1.2 Émilie exprime sa joie lorsque l'utilisateur résout un exercice difficile (Faivre et al., 2002b)

1.5 Notre approche de prédiction

En observant l'être humain, on s'aperçoit qu'il utilise des capteurs pour connaître l'émotion d'un autre humain et il réagit selon cette émotion. Cette dernière peut être exprimée sous différentes formes: la voix, les expressions faciales, le comportement, etc. Pour considérer ces différents canaux émotionnels dans la reconnaissance automatique des émotions, plusieurs chercheurs ont pensé utiliser une caméra, un microphone ou des capteurs physiologiques.

Cependant, l'utilisation d'un seul médium pour la reconnaissance automatique des émotions ne donne pas de bons résultats en général. C'est pour cela que certains chercheurs ont proposé de combiner différents médias afin d'améliorer la reconnaissance automatique des émotions. Par exemple, Bianchi et Lisetti (2002) [b-27] ont présenté un modèle multimodal qui sert à identifier l'état émotionnel de l'utilisateur par l'intermédiaire de trois canaux visuels, kinesthésiques et auditifs. Il existe peu de travaux visant la reconnaissance automatique des émotions dans le contexte d'apprentissage à distance. Or, à ce jour, seuls les travaux empiriques de Conati et McLaren portent sur la reconnaissance automatique de l'état émotionnel de l'apprenant à partir des causes possibles qui ont pu déclencher cet état. Ces auteurs sont parvenus à établir un modèle probabiliste permettant d'identifier six émotions dans un jeu éducatif. Leur modèle permet de modéliser les causes ainsi que les effets des émotions en utilisant des mesures physiologiques. Deux problèmes sont, cependant, inhérents à ce genre de méthodes. D'une part, l'utilisation de technologies sophistiquées dans un contexte d'apprentissage peut gêner l'apprenant. D'autre part, cela demande des moyens financiers et techniques importants. De plus, le modèle présenté par Conati et McLaren ne prend en compte que trois facteurs ou causes reliés à la génération des émotions (les buts, la situation et la personnalité). [b-15]

Or, dans un contexte d'apprentissage à distance, il existe plusieurs autres facteurs à considérer, entre autres la personnalité, le sexe, l'état émotionnel courant de l'apprenant, puisque chaque individu réagit émotionnellement de façon différente lors d'un événement émotionnel. Partant de cette dernière assertion, notre problème revient à trouver une technique efficace pour prédire l'émotion de l'apprenant à l'aide d'un ensemble d'attributs individuels de l'apprenant et d'un événement émotionnel.

Pour l'atteinte notre objectif, nous avons pensé d'utiliser des techniques d'apprentissage automatique pour la prédiction de l'émotion de l'apprenant. Notre approche de prédiction repose sur les causes potentielles de déclenchement de cette émotion et sur ses facteurs. Nous proposons alors de résoudre ce problème en utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique supervisé et plus précisément ceux de classement. Nous avons procédé à une expérimentation pour collecter des données servant à entraîner des classificateurs.

1.5.1 Le choix des outils d'évaluation de la personnalité (le *Big Five* et l'IPIP-NEO)

Comme le but de notre travail est de prédire les émotions de l'apprenant dans un environnement d'apprentissage à distance (e-Learning), la théorie psychologique est un outil à mieux comprendre ce contexte. Notre étude ne peut se faire qu'en petite équipe d'apprenants, et le moyen idéal d'évaluer la personnalité est d'utiliser le questionnaire le plus économique et le plus facile à comprendre. Heureusement qu'il existe un questionnaire universel de la personnalité qui se développe à la base de l'*International Personality Item Pool* (IPIP). Il nous aide à réaliser notre travail de la façon la plus économique, il est gratuit et il a beaucoup de points communs avec la théorie de *Big Five*, Il s'appelle l'IPIP-NEO (ou OCEAN). Nous allons réaliser notre projet en utilisant la théorie de *Big Five* et le questionnaire IPIP NEO. Le test est en français et disponible sur le site <http://www.visamemo.fr/archives/1228> [w-01]

1.5.2 Evaluation de la personnalité avec "BIG FIVE" :

Le modèle de la personnalité en cinq grands traits décrit les dimensions humaines basiques regroupées dans des traits ou les caractéristiques de personnalité. Chaque individu peut se situer à des degrés variés dans chacune de ces cinq dimensions qui sont: Le *Névrosisme* (N), l'*Extraversion* (E), l'*Agréabilité* (A), le *caractère Consciencieux* (C), l'*Ouverture* (O). Chacune de ces cinq dimensions comportent six facettes (total de trente facettes).

Le tableau si dessous représente les cinq dimensions (traits) de la personnalité, et les facettes associées à chaque dimension.

Caractère	Description	Facettes
Agréabilité	Ce caractère décrit le point selon lequel l'individu fait confiance, sait pardonner, est prévenant, coopératif. Des études indiquent que l'agréabilité est positivement associée à la joie et également à des stratégies de comportement focalisées dans l'émotion de recherche sociale de soutien. Les personnes qui obtiennent des scores bas dans cette dimension ont tendance à être plus irritable, soupçonneux, impitoyable et inflexible.	<ul style="list-style-type: none"> - Confiance : Croyance en l'honnêteté et aux bonnes intentions des autres. - Droiture : Tendance à la sincérité et à la franchise. - Altruisme : Préoccupation active du bien-être des autres. - Compliance : Tendance à se soumettre aux autres lors de conflits interpersonnels. - Modestie : Tendance à l'humilité et à l'effacement. - Sensibilité : Attitudes de sympathie et de préoccupation pour les autres.
Ouverture	Ceci décrit le point selon lequel l'individu est original, curieux, artiste, imaginatif, inventif, idéaliste (contraire à celui qui est fermé à l'expérience). L'ouverture se rapporte à la tendance à être flexible. Les individus qui obtiennent des scores élevés dans cette dimension tendent à être des personnes d'esprit ouvert. De plus, des études indiquent également que l'ouverture est négativement associée au stress perçu, la peur et la honte. Par exemple, une personne fermée à l'expérience tend à être plus stressée qu'une personne ouverte à l'expérience. [b-33]	<ul style="list-style-type: none"> - Ouverture aux rêveries : Imagination vive et active, tendance à se créer un monde intérieur intéressant. - Ouverture à l'esthétique : Appréciation de l'art et de la beauté. - Ouverture aux sentiments : Réceptivité de leurs sentiments et de leurs émotions propres. - Ouverture aux actions : Volonté affichée d'essayer des activités différentes et nouvelles. - Ouverture aux idées : Curiosité intellectuelle. - Ouverture aux valeurs : Capacité à remettre en question ses propres valeurs, ainsi que celles des figures d'autorité. [w-02]

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Extraversion</p>	<p>Ceci décrit le point selon lequel l'individu est bavard, énergique, enthousiaste, aventureux (contraire à l'introversion où l'individu est plus réservé et a une préférence pour la solitude). Plusieurs études montrent que les individus extravertis éprouvent des émotions positives, tels que l'enthousiasme et le courage. Puis, l'extraversion est positivement associée à la joie et à la fierté et négativement corrélée avec le stress perçu et la peur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Chaleur : Intérêt et attitude amicale envers les autres. - Grégarité : Préférence pour la compagnie des autres. - Assertivité : Tendance à se montrer dominant, énergique et ambitieux socialement. - Activité : Rythme rapide, vigueur et énergie. - Recherche de sensations : Besoin impérieux d'animation et de stimulation. - Emotions positives : Tendance à éprouver des émotions positives, telles que la joie, le bonheur.
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Névrosisme</p>	<p>Ce caractère décrit le point selon lequel l'individu est sombre, inquiet, déprimé, nerveux, instable (contre avec émotion stable/relaxée). Des études montrent que le névrosisme est négativement corrélé avec les capacités de gérer le comportement et positivement corrélé avec les émotions négatives (l'anxiété, la peur, la culpabilité, le dégoût à si propre, et la honte) et le stress perçu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Anxiété : Tendance à éprouver de la timidité, des craintes et de l'inquiétude. - Colère-Hostilité : Tendance à ressentir de la colère et des émotions du même ordre que la frustration et l'amertume. - Dépression : Tendance à éprouver des sentiments de culpabilité, de tristesse, d'impuissance et de solitude. - Timidité sociale : Tendance à éprouver des émotions de honte et d'embarras. - Impulsivité : Incapacité à maîtriser ses désirs et ses besoins. - Vulnérabilité : Vulnérabilité au stress.
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Conscience</p>	<p>Ce caractère décrit le point selon lequel l'individu est fiable, persévérant, efficace, organisé (contraire au manque de direction/négligent). Des études montrent que le caractère consciencieux est négativement corrélé avec le stress perçu et la peur, et positivement corrélée avec les émotions positives, la compassion, la joie, l'espoir et la fierté.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Compétence : Croyance en sa propre efficacité. - Ordre : Organisation personnelle et soin. - Sens du devoir : Adhésion stricte à ses principes éthiques. - Recherche de réussite : Besoin d'accomplissement personnel dans le travail. - Autodiscipline : Capacité à entreprendre et à terminer des tâches malgré les distractions. - Délibération : Tendance à bien réfléchir avant d'agir.

Tableau 1.1 : La taxinomie des "Big Five" de la personnalité (traits et facettes).

1.5.3 Evaluation de l'émotion instantanée de l'apprenant (Test d'émotion) :

Après le test de personnalité décrit dans la section précédente, l'apprenant doit passer un autre test, mais cette fois-ci le test est pour évaluer l'état émotionnel de l'apprenant pendant l'apprentissage. Ce test a été développé par notre collègue qui est un psychologue, il identifie l'état émotionnel de l'apprenant.

L'annexe B présente plus d'information sur ce test (les états, les calculs etc.).

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons introduit dans un premier temps la notion d'émotion. Ensuite, nous avons présenté le rôle de l'émotion en intelligence artificielle, plus précisément en reconnaissance automatique de l'émotion et dans les systèmes intelligents.

Pour la reconnaissance automatique, nous avons passé en revue les différents modes (facial, vocal, physiologique, etc.) utilisés et les travaux qui s'y sont intéressés en mentionnant quelques algorithmes d'apprentissage machine utilisés pour la reconnaissance. D'un autre côté, nous avons présenté quelques recherches dans le domaine des systèmes intelligents qui avaient pour objectif de créer des systèmes computationnels permettant de simuler la génération de l'émotion.

Et finalement nous avons défini notre approche de prédiction et les outils utilisés pour réaliser notre travail.

Introduction

A la fin du siècle dernier, nous avons assisté à l'émergence de deux tendances conjointes : D'une part le rôle essentiel de la connaissance, dans ce que l'on appelle désormais « La société du savoir », et d'autre part, l'introduction massive des technologies de l'information et de la communication (TIC), dans la plus part des activités humaines. L'usage en formation de cette nouvelle génération d'équipement est au cœur des tendances actuelles. Trois types principaux d'usage, qui se regroupent partiellement, sont évoqués :

- L'utilisation des TIC dans les établissements et organismes de formation.
- leur utilisation dans l'enseignement à distance (EAD) qui est une méthode d'enseignement dans laquelle la relation directe enseignant/étudiant est remplacée par une relation médiatisée par un support et un ensemble de techniques.
- Le e-Learning qui est une forme moderne d'EAD.

Ce chapitre permet de mieux comprendre ce que le e-Learning, ce qu'il recouvre et les technologies associées à ce nouveau mode de transmission et d'acquisition du savoir.

2.1 Aperçu historique

Une longue histoire a précédé ce qu'on regroupe aujourd'hui sous la notion du « e-Learning ». Si l'on se rapporte à cette histoire, on aperçoit qu'il s'agit là de la dernière forme, bien évoluée de l'enseignement à distance (EAD). Selon Margot et Darnige [b-35], trois phases de développement du concept d'EAD sont observables que l'on se présentera dans ce qui va suivre.

2.1.1 Première génération

Elle est plus connue sous le nom d'enseignement par correspondance, et a vu le jour dès les années 50. Son essor est dû au développement de la poste et son but était de faciliter l'accès au savoir pour tous.

2.1.2 Deuxième génération

Elle se caractérise, à partir des années 80, par le développement de l'enseignant assisté par ordinateur (EAO), fondé sur l'approche behavioriste. Dans cette approche, l'apprentissage naît d'une modification du comportement, provoqué par des stimuli prévenant de l'environnement. Cet apprentissage peut être obtenu par l'utilisation de la récompense, appelée « renforcement positif ». [b-34] L'approche behavioriste de l'apprentissage n'a pas été un succès. Piaget, fondateur de l'approche constructiviste de l'apprentissage, souligne que la connaissance est construite par l'apprenant et non pas transmise telle quelle par l'enseignant

2.1.3 Troisième génération

Elle se fonde sur l'approche constructiviste ou encore constructionniste, et se caractérise par l'introduction d'une plus grande variété de technologies et d'une mixité entre enseignement à distance et enseignement présentiel, appelé aussi « blended learning ». L'apprentissage virtuel se développe grâce à la pénétration d'internet.

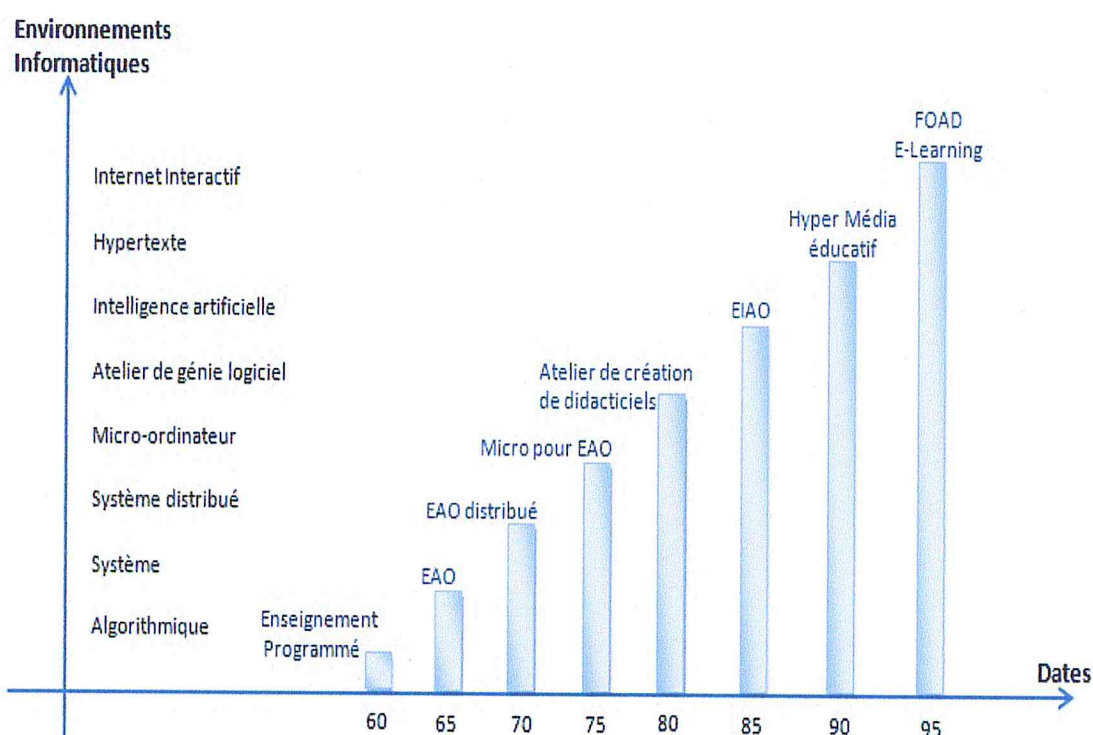


Figure 2.1 : l'évolution de l'EAO en fonction de l'informatique.

2.2 Définition du e-Learning

La formation en ligne ou encore le e-Learning, correspond à l'apprentissage par des moyens électroniques. Il est entre un des outils des technologies de l'information et de la communication (TIC) et des technologies de l'information et de la communication de l'éducation(TICE).

La définition de l'apprentissage en ligne (e-Learning) donnée par l'union européenne est : « L'e-Learning est l'utilisation des nouvelles technologies multimédias de l'internet pour améliorer la qualité de l'apprentissage en facilitant d'une part l'accès à des ressources et à des services, d'autre part les échanges et la collaboration à distance ».C'est une méthode de formation/d'éducation qui permet théoriquement de s'affranchir de la présence physique d'un enseignant à proximité. En revanche, le rôle du tuteur distant apparait avec des activités de facilitateur et de médiateur.

2.3 Principe du e-Learning

Le principe utilisé par le e-Learning est de remplacer les anciennes façons temps/place/contenu de l'apprentissage par des processus d'apprentissage, rapides/ouvertes/personnalisés, comme l'illustre le tableau 1.1 [b-37].

Dimensions	Apprentissage traditionnel	E-Learning
Centrage	Enseignant	Apprenant
Rôle de l'apprenant	Passif	Adaptatif
Personnalisation	Enseignement de masse avec un contenu, satisfaire des besoins collectifs.	Personnalisation avec un contenu, adapté au besoin de chacun.
Processus d'apprentissage	Statique fondé sue un contenu prédéfini.	Dynamique fondés sur les interactions entre les apprenants.
Flexibilité	Peu de liberté dans l'organisation du travail.	Autonomie importante de l'apprenant pour organiser son apprentissage.
Espace	Circonscriit : salle de classe.	Distribué, ouvert
Technologies utilisées	Tableau, écran, mural, etc.	Technologies de l'information et de la communication(TIC).

Tableau 2.1 : Comparaison des caractéristiques du e-Learning et de l'apprentissage traditionnel.

2.4 Comparaison du e-Learning et de la formation traditionnelle

	Avantages	Inconvénients
Présentiel	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback immédiat. - Repères visuels. - Facilité d'interaction avec les autres apprenants. - Favorise les personnes communiquant facilement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Défavorise les personnes timides ou analytiques. - Contrôlé par le professeur. - Cadré dans le temps.
e-Learning	<ul style="list-style-type: none"> - Tout le monde peut contribuer. - Contrôlé par l'apprenant. - Peu cadré dans le temps. - Enregistrement permanent des échanges. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manque de repères visuels. - Obstacles technologiques. - Favorise les personnes. - Communicant facilement par écrit.

Tableau 2.2 : Comparaison des avantages et inconvénients du e-Learning et de la formation traditionnelle [w-03].

2.5 E-Learning et e-formation

La e-formation consiste à utiliser les ressources de l'informatique et de l'Internet pour acquérir, à distance, des connaissances. Ce type d'apprentissage, constituant une des facettes du e-Learning, se différencie par l'utilisation de la technologie Web. Ces applications et ces contenus sont dispensés via un ordinateur relié à un intranet, à un extranet ou encore à Internet. Les contenus constituent une étape plus avancée que l'utilisation du CD-Rom ou les cours sont dispensés en salle.

Le e-Learning est un domaine révolutionnaire, un changement dans le champ de l'apprentissage. Les instructions qu'il offre en ligne peuvent être fournies n'importe quand et n'importe où par une gamme très vaste de solutions d'apprentissages électroniques telles que les groupes de discussions, les cours virtuels « en live », vidéo et audio, Web chat, simulations.

2.5.1 Quelles différences entre e-Learning et e-formation ?

La e-formation est liée à Internet. D'ailleurs, les anglo-saxons utilisent la notion de « web-based training ». Brandon Hall, spécialiste américain de la e-formation, définit la e-formation comme « un programme de formation qui est accessible via un navigateur* Internet, à travers Internet ou un intranet. En utilisant le Web, ou le Web d'un intranet pour la formation, on fait référence par définition à l'environnement visuel et interactif propre à Internet ». La notion d'e-formation s'insère dans le cadre des formations dites « à distance ». L'objectif étant le même : réduire le temps de présentiel, c'est-à-dire le moment où l'on regroupe les personnes à former avec le formateur dans un même lieu et à la même heure.

La distinction entre e-Learning (apprentissage) et e-formation (training) est nécessaire : elle suggère dans le premiers cas, que l'apprenant est au cœur du dispositif, alors que dans le second, c'est le formateur, l'enseignant, qui en est le moteur [b-37]. Plusieurs modèles d'e-formation coexistent en fonction de la place accordée à ce distanciel. Principalement, le marché propose 3 modèles d'e-formation.

Formation exclusivement en ligne sans tutorat	Formation exclusivement en ligne avec tutorat	Formation en ligne et en présentiel avec tutorat en ligne
<ul style="list-style-type: none"> * Proche du service fourni par un CD-Rom ou d'une vidéo de formation. * N'apporte pas beaucoup de valeur ajoutée. * Se trouve souvent sur les portails de formation. * Tend à devenir gratuite, certains portails faisant payer uniquement le tutorat en ligne. 	<ul style="list-style-type: none"> * Modèle de référence des portails de formation. * Destiné au grand public. * L'acheteur paye en ligne sa formation. * Un tuteur propose un programme de travail. 	<ul style="list-style-type: none"> * Modèle des universités, écoles et organisme de formation. * Mise en ligne du contenu de la formation, tests, tutorat et évaluations. * Réduction du temps de présentiel. * Permet d'individualiser la formation. * Permet de faire le point, de répondre à des interrogations ou d'approfondir le sujet.

Tableau 2.3 : les modèles de e-formation

2.5.2 Autres modes de formations [w-03]

✓ *Qu'est-ce que la formation ouverte ?*

La formation ouverte ou Open Learning, permet aux apprenants des entrées et des sorties permanentes. Elle correspond à un mode d'organisation pédagogique diversifié qui s'appuie sur des apprentissages à distance, en auto-formation. En formation ouverte, l'apprenant peut alterner des séquences individuelles et collectives. L'auto-formation est un processus par lequel l'individu détermine son itinéraire d'apprentissage (rythme, contenu, temps de travail) de façon autonome et en étant éventuellement en relation avec un tuteur ou un groupe structuré.

✓ *Qu'est-ce que l'enseignement à distance ou formation à distance (EAD/FAD) ?*

La formation à distance est un système de formation qui permet de se former sans se déplacer sur le lieu de formation et sans la présence physique d'un formateur. La transmission des connaissances et les activités d'apprentissage se situent en dehors de la relation directe en face à face, dite « en présentiel » entre l'enseignant et l'apprenant. La formation à distance recouvre plusieurs modalités : **cours par correspondance et e-Learning**. Elle est incluse dans le concept plus général de Formation Ouverte et à Distance (FOAD).

✓ *Qu'est-ce que la formation ouverte et à distance (FOAD) ?*

Une personne qui s'inscrit à un dispositif de formation ouverte et à distance peut, à partir de sa maison ou de son poste de travail, avec une connexion Internet, utiliser un navigateur pour accéder à la plate-forme du cours. Une fois enregistrée (identifiant et mot de passe) elle peut suivre la formation en consultant les documents pédagogiques, participer aux séances de cours en mode synchrone (chat) ou en asynchrone (forums), envoyer des questions au tuteur du module.

Une formation ouverte et à distance :

- Est un dispositif organisé, finalisé, reconnu comme tel par les acteurs.
- Qui prend en compte la singularité des personnes dans leurs dimensions individuelle et collective.
- Repose sur des situations d'apprentissage complémentaires et plurielles en termes de temps, de lieux, de médiations pédagogiques humaines et technologiques et de ressources.
- Se positionne avec les NTIC.

✓ *Qu'est-ce que la Blended formation ?*

Blended formation ou formation mixte, correspond à un système de formation hybride qui combine des modalités pédagogiques diversifiées, alternant formation à distance et formation en présentiel.

2.5.3 Quelques comparaisons

Formule	Avantages	Inconvénients
FAD à large diffusion	Faibles coûts unitaires. Qualités des supports.	Faible personnalisation. Faible taux de réussite. Préparation et investissement initial.
Formation individualisée	Personnalisation des parcours Accompagnement local.	Contraintes de mise en œuvre. Difficultés de déploiement. Préceptorat coûteux. Préparation et investissement initial.
Classes virtuelles	Préparation raisonnable	Faible personnalisation. Faible économie d'échelle. Coûts de communication. Risques liés au synchrone.
E-Learning formation distribuée en réseau	Personnalisation. Déploiement et économie. Suivi et accompagnement dosé.	Nouveauté et risque. Nécessité d'adapter la pédagogie, l'organisation, le positionnement sur le marché.

Tableau 2.4 – Comparaison de quelques e-formations

2.6 Les technologies de e –Learning

Le e-Learning désigne des dispositifs fonctionnant via les nouvelles technologies de l'information et de la communication.

2.6.1 Le multimédia

Le multimédia est l'exploitation simultanée de plusieurs médias, son, image, texte sur un même support [b-38], améliorant l'interactivité de l'apprenant (capacité à créer une situation d'échange avec un utilisateur). Le multimédia offre deux types de services, selon que les informations sont consultées en local (hors ligne) ou à distance (en ligne). Dans le premier cas on trouve les applications du CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory) et dans le second celles d'internet.

2.6.2. L'internet

La world wide web est l'application internet la plus connue. Ce qui a assuré le succès du web a été la mise en disposition d'un public profane, d'une interface graphique de présentation simple et conviviale, et d'un accès à des documents de natures différentes (textes, images fixes ou animées, sons ...), relatif à des sujets connexes. Le réseau internet offre un succès à plusieurs outils de communication et de collaboration, qui permettent une interactivité synchrone et asynchrone, introduisant des échanges rapides et des activités collectives dans un environnement d'apprentissage et d'enseignement à distance.

Supports	Spécifications techniques	Fonctions pédagogique	
Internet	Synchrone		
	Visioconférence	Ordinateur, modem, webcam, Raccordement au réseau téléphonique, (généralement une ligne haut débit)	Communication bilatérale ou collective en temps réel : vérification de la bonne compréhension du cours, réflexion collective.
	Chat	Ordinateur, modem, Raccordement au réseau téléphonique.	Communication collective en temps réel : vérification de la bonne compréhension du cours, réflexion collective.
	Asynchrone		
	E-mail	Ordinateur, modem, Raccordement au réseau téléphonique.	Communication collective différée : consignes, planification, transmission de documents, aide ponctuelle...
Forum	Ordinateur, modem, Raccordement au réseau téléphonique.	Communication collective différée : développé capitaliser des informations par thème, confrontation d'idées.	

Tableau 2.5 : les technologies de e-Learning : support et application pédagogique.

2.7 Outils et fonctions du e-Learning

Internet permet un accès à l'ensemble des ressources humaines (communication), documentaires (documents) et administration (outils) nécessaires à la réalisation de la formation. La standardisation démultiplie considérablement les possibilités de diffusion.

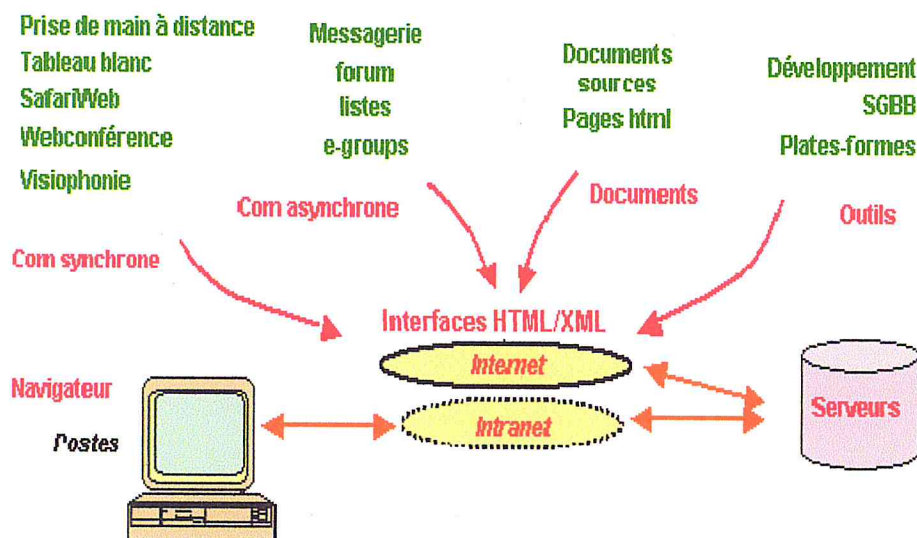


Figure 2.2 – Organisation des ressources : outils et supports

Ces outils sont utilisés pour mener à bien les fonctions indispensables au e-Learning :

- Production et intégration des ressources pédagogiques.
- Diffusion et accès aux ressources.
- Présentation de l'offre et des programmes de formation.
- Positionnement, construction des parcours de formation individualisée.
- Gestion des parcours.
- Animation des personnes et des groupes.
- Administration financière, technique.

2.8 Les système de gestion des cours (LMS)

Un LMS (*Learning Management System*) est un système logiciel développé pour la gestion, l'administration, la documentation, le suivi et le reporting de programmes de formation. Le système de gestion des cours (LMS) permet d'optimiser, sur un réseau Internet ou Intranet, la gestion de l'ensemble des activités de formation, depuis l'information sur l'offre, l'inscription des participants, la distribution des ressources, l'organisation de parcours individualisés, le suivi par le tuteur et du tutorat (gestion intégrée des interactions apprenants-formateur), l'animation de communautés d'apprentissage.

Selon leur conception, elles favorisent l'entrée par les contenus ou les compétences, le travail collaboratif ou individuel, l'acquisition de compétences ou l'organisation de connaissances (les grains...). [w-03]

2.8.1 Les acteurs d'une plateforme

Il est nécessaire de définir le rôle des acteurs qui interviennent dans l'utilisation de la plate-forme [b-39].

- ✓ **L'administrateur** : personne qui s'occupe de la maintenance logicielle du coté serveur. L'administrateur est responsable de la gestion des comptes pour les professeurs qui ont l'intervention de crée ou de supprimer un cours.
- ✓ **L'apprenant** : étudiant ou personnel en formation qui utilise la plate-forme pour acquérir des connaissances, s'auto évaluer, soumettre des rapports, des projets, participer aux forums de discussion, échanger des données.
- ✓ **Le créateur du cours** : personnel enseignant qui développe un cours en utilisant les outils de la plate-forme, selon ses objectives pédagogiques, et qui apporte des changements en fonction de réactions des apprenants ou des tuteurs.
- ✓ **Le tuteur** : son rôle est de superviser le déroulement du cours, d'évaluer les apprenants, de communiquer et d'interagir avec eux. la plate-forme peut gérer plusieurs tuteurs avec un groupe d'apprenants par tuteur.

2.8.2 Les modes de formations dans une plateforme

Avec les plateformes de e-Learning, on peut distinguer plusieurs modes de formation.

- ✓ **Formation asynchrone** : c'est une méthode de formation en temps différé qui permet à l'apprenant d'accéder à la formation à sa guise et autant de fois qu'il le désire (contenus sous forme de textes, animation multimédias...). Le dialogue entre les formateurs et les apprenants peut se faire via chat, e-mail, messagerie instantanée et forums de discussion.
- ✓ **Formation synchrone** : c'est une méthode de formation en temps réel basée sur la parole et l'écoute. L'apprenant est en contact avec son formateur et les autres membres de sa classe virtuelle, par partage d'application ou Visio conférence. Les élèves ou étudiants connectés posent leurs questions et reçoivent la réponse en temps réel, quelque soit la distance, à condition bien sur que la bande passante soit à la hauteur.
- ✓ **Formation mixte (Blended Learning)** : c'est une méthode de formation qui combine les éléments asynchrone et synchrone. L'apprenant va ainsi alterner entre des sessions à distance en ligne et des sessions en face-à-face avec le ou les formateurs. Ce mode de formation peut être utilisé pour homogénéiser les savoirs avant une présentation, une conférence ou une formation.

2.8.3 Etudes comparatives entre interfaces des plateformes du e-Learning

Une plateforme de e-Learning est un outil de diffusion et de gestion des connaissances, associant des contenus de cours à des moyens de communication, des outils d'entraînement et d'évaluation. Elle fournit aux trois principaux utilisateurs, formateur, apprenant, administrateur, un dispositif qui a pour premières finalités la mise à disposition, la consultation à distance de contenus pédagogiques, l'individualisation de l'apprentissage et le télé-tutorat.

Voici un schéma qui représente schématiquement les différentes fonctions des plateformes.

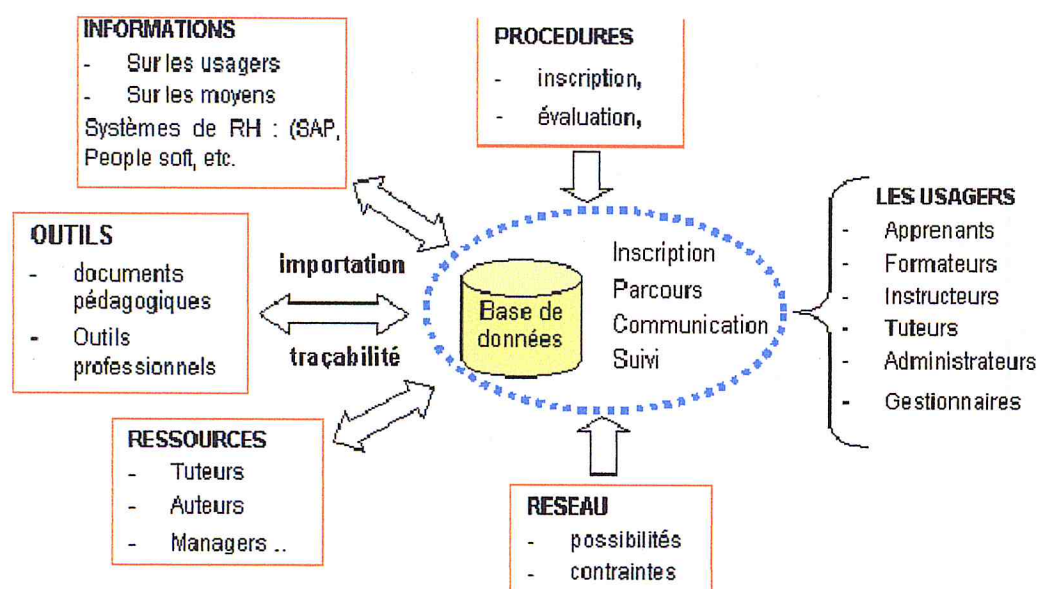


Figure 2.3 – Les différentes fonctions des plateformes.

2.8.3.1 Les principaux critères que doivent vérifier les plateformes [w-03]

- ✓ Le coût total de la mise en place de la plate-forme (gratuite ou non). Dans le cas d'une plate-forme existante payante, vérifier les prestations fournies.
- ✓ Les besoins de maintenance de la plate-forme d'un point de vue strictement informatique, tout ce qui devra être géré par les administrateurs (voir également le coût en personnel de maintenance).
- ✓ La sécurité de la plate-forme d'un point de vue purement informatique (filtrer les IPs qui auront accès aux cours) et au niveau des cours (login // mot de passe).
- ✓ Le nombre d'utilisateurs maximum que pourra supporter la plate-forme.
- ✓ La possibilité de mettre en place des QCM (Questions à Choix Multiples) sur la plate-forme, s'il est possible d'insérer une image, si le système de questions est interactif (avec animations), s'il y a possibilité de faire un tirage aléatoire des questions.
- ✓ Un forum de discussion asynchrone (dont l'accès sera étroitement lié à la sécurité interne de la plateforme) et un système de chat synchrone.

- ✓ La technologie utilisée, du point de vue du langage pour pouvoir éventuellement faire évoluer le système et sa capacité d'accueil (XML, MySQL...).
- ✓ Un système de gestion de mails, pour qu'un professeur puisse éventuellement envoyer des mails à l'une de ses classes, également lui permettre de gérer des groupes.
- ✓ La façon de poster un cours (à partir de documents Powerpoint, enregistrer au format HTML et transférer sur un serveur par exemple).
- ✓ Les moyens requis pour consulter la plate-forme (browser, OS).
- ✓ La possibilité de diffuser les cours par de la vidéo soit en temps réel, soit en différé.

2.8.3.2 les plateformes gratuites

a) ACOLAD [w-04]

L'attrait principal est qu'il possède une interface graphique fondée sur une métaphore spatiale qui met en scène les lieux habituels d'une formation. Cette interface comprend un amphithéâtre, une salle des professeurs, des bureaux personnels, un salon d'accueil de séminaire virtuel... Il y a la possibilité de chatter en direct entre professeurs et étudiants, forums, agendas, organisations de séminaires... ACOLAD est une plate-forme basée sur l'apprentissage en groupe. Concernant la sécurité, chaque utilisateur possède un profil identifié par login // mot de passe. Le professeur doit gérer les étudiants, les séminaires, la mise à disposition des cours.

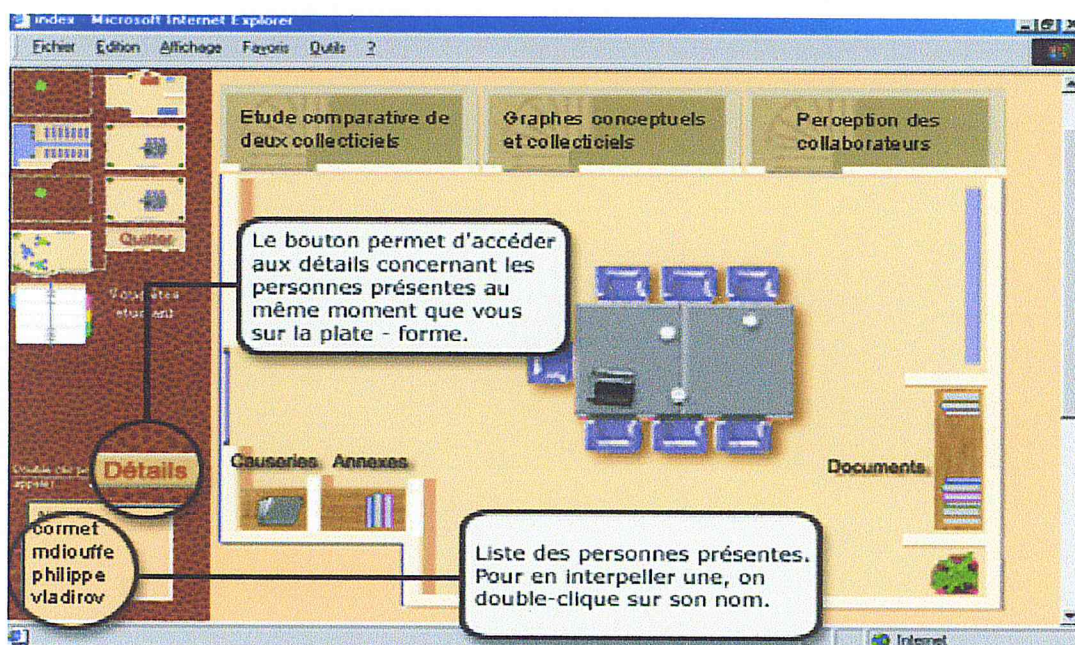


Figure 2.4 : Extrait d'interface de la plateforme ACCOLAD.

Avantages

- ✓ On se retrouve dans des lieux familiers grâce à l'interface résultant ainsi des actions intuitives.
- ✓ Bon nombre d'outils de communications permettent un apprentissage en communauté.

Inconvénients

- ✓ comporte beaucoup des fenêtres trop petites.
- ✓ l'accès est moins aisé que les autres plateformes.
- ✓ Beaucoup de blocage de fenêtres car l'interface est trop chargée.

b) CLAROLINE [w-05]

Ce système a été traduit dans une quinzaine de langues. Cette plate-forme a été créée directement selon les besoins des professeurs et étudiants. Ce logiciel est plutôt axé sur la complémentarité "cours sur Internet"- "cours physiques", il joue le rôle de support.



Figure 2.5 : Extrait d'interface de la plateforme CLAROLINE

Avantages

- ✓ Utilisation simple et intuitive de la plate-forme.
- ✓ Beaucoup de facilités pour créer un cours rapidement.
- ✓ l'interface est conviviale à différents contextes de formation.

Inconvénient

- ✓ Interface ergonomique à améliorer, la navigation est laborieuse car il y'a trop d'écrans pour arrivé à un point donné [w-06].

c) MOODLE [w-07]

Ce logiciel open source très complet utilise les fonctionnalités de base d'une plate-forme de cours en ligne, il constitue un produit simple mais efficace. L'administrateur de la plate-forme peut s'occuper de tout :

- ✓ création des comptes utilisateurs.
- ✓ mise en ligne des cours et affectation des professeurs.
- ✓ modération des forums, et l'analyse des logs contenant l'intégralité des actions effectuées au sein de la plate-forme...

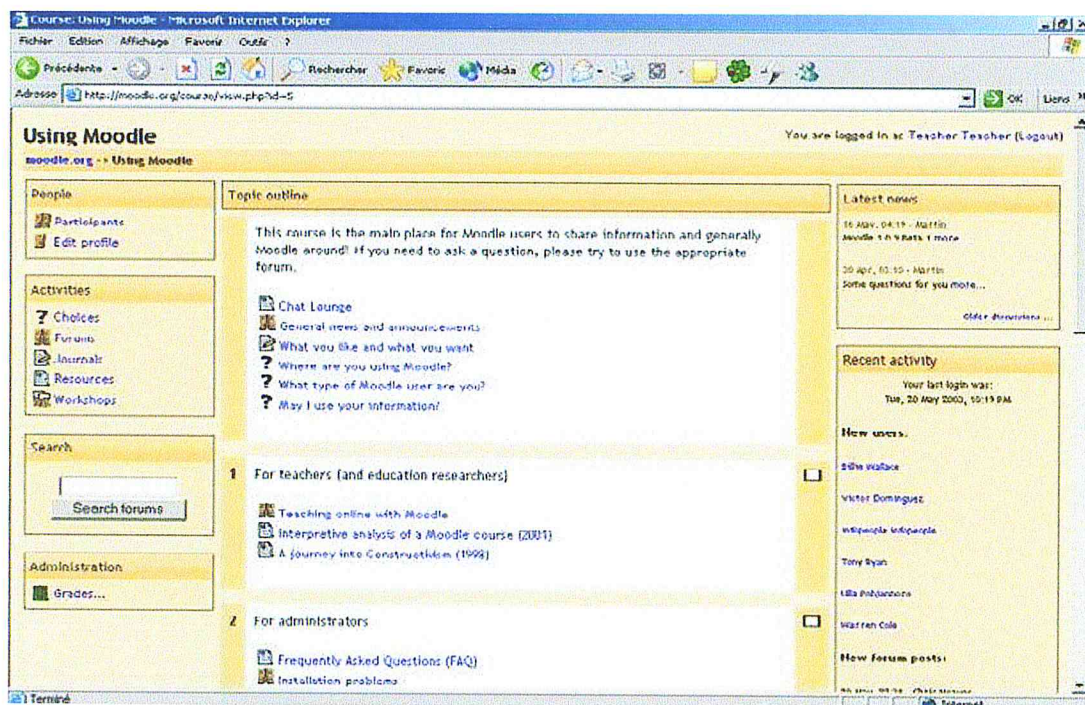


Figure 2.6 : Extrait d'interface de la plateforme MOODLE

Avantages

- ✓ Interface simple et claire.
- ✓ Saisie de cours à partir d'un éditeur de type Word intégré à la plate-forme.

Inconvénients

- ✓ Ergonomie moyenne.
- ✓ Parfois trop d'informations sur une page.
- ✓ Passage vue enseignant/vue apprenant peut ergonomique.

2.8.3.3 Les plateformes payantes

a) LEARNING SPACE [w-08]

Selon IBM : « LearningSpace est une plate-forme de e-Learning complète et flexible. Son environnement internet offre un support unique des trois modes de diffusion de la formation à distance : apprentissage autodirigé, classes virtuelles et forums asynchrones. Cette plate-forme dispose de fonctions puissantes de suivi et de statistiques sur la progression des apprenants. L'inscription aux cours peut être automatique. Les fonctions collaboratives disponibles dans la classe virtuelle permettent aux apprenants d'interagir directement avec leur tuteur.

LearningSpace est ouvert à tout type de contenu de formation standard ou sur mesure grâce à sa conformité aux normes AICC et SCORM (Certification d'un standard opérationnel de normalisation de contenus).

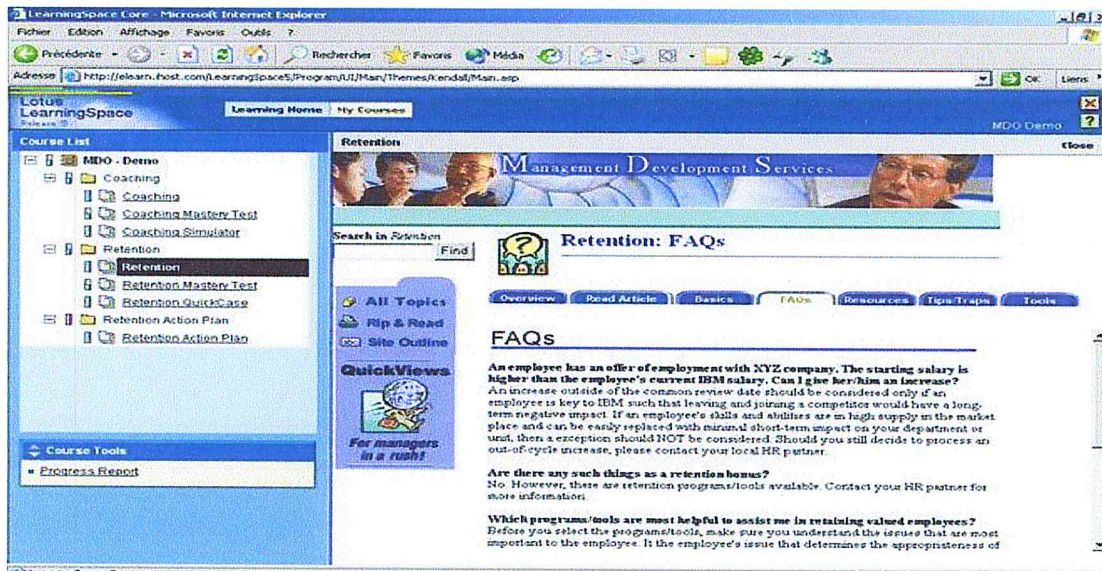


Figure 2.7 : Extrait d'interface de la plateforme LEARNING SPACE.

Avantages

- ✓ Produit certifié AICC / SCORM.
- ✓ Peut être associé au produit Lotus Domino pour permettre l'intégration de système au sein d'un réseau.

b) VIGIPORTAL [w-09]

Cette plate-forme récente a été développée avec les derniers outils de programmation Web, ce qui lui confère une interface convivial et d'une flexibilité à toute épreuve. Chaque utilisateur se connecte à partir de login / mot de passe et possède un profil personnalisé, agrémenté de nombre de fonctionnalités : partage d'informations, système d'alerte, messagerie, QCM, chat, forum, agenda, IMS (Instant Messenger), répertoire de documents personnels, personnalisation d'interface, choix de langue du portail, etc.

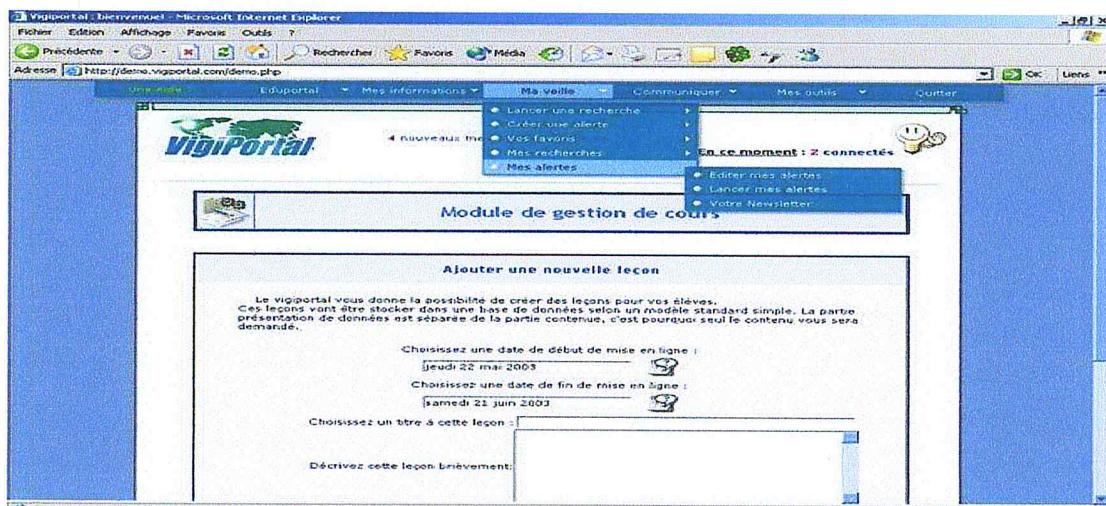


Figure 2.8 : Extrait d'interface de la plateforme VIGIPORTAL.

Avantages

- ✓ Chaque étudiant peut disposer de son propre portail personnalisé à partir duquel, il peut accéder aux cours partagés par ses professeurs, des QCM, s'enregistrer à ses groupes de TD, accéder à un calendrier partagé,
- ✓ Possibilité de créer des groupes et des comptes utilisateurs avec des droits différenciés.
- ✓ Tous les outils actuels en termes de communication sont disponibles : instant messenger, chat, forum, messagerie interne.

Inconvénient

- ✓ La structure des menus est très compliquée.

c) WEBCT [w-10]

L'un des pionniers du e-Learning sur l'Internet. Il existe sous deux dénominations différentes : WebCT Campus Edition qui permet de placer des documents pédagogiques sur le Web, WebCT Vista qui permet de mettre en place au sein de l'institution un système d'enseignement.

WebCT est une plate-forme qui permet :

- ✓ Distribuer des devoirs en ligne aux apprenants,
- ✓ D'organiser des plannings de cours,
- ✓ de mettre à disposition des cours en ligne,
- ✓ de réaliser des tests d'évaluation,
- ✓ d'animer des forums de discussion...
- ✓ D'une pédagogie individualisée au niveau du suivi.

Toutes ces possibilités peuvent être enrichies par des outils multimédias (vidéos, sons, images).

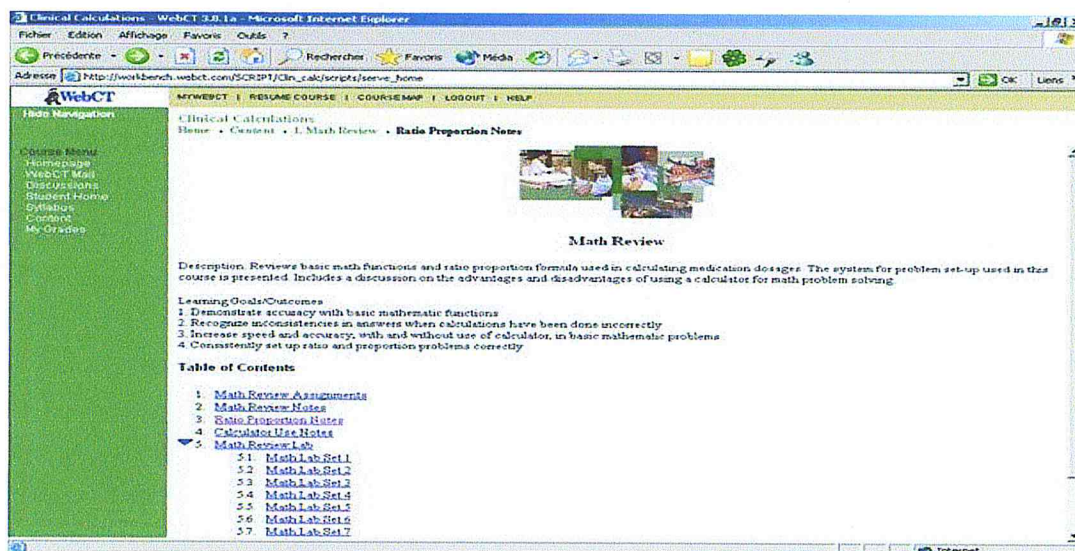


Figure 2.9 : Extrait d'interface de la plateforme WEBCT

Au plan organisationnel, on observe également :

- Une standardisation des supports d'auto-formation et une approche qualité
- Une ouverture des sources d'approvisionnement des offres de formation .

Conclusion

Ce chapitre, comme mentionné au début, visait à approfondir nos connaissances sur le e-Learning, étant un dispositif de formation, les principaux objectifs peuvent être définis comme l'autonomie d'apprentissage, l'individualisation des parcours de formations et le développement des relations pédagogiques en ligne.

Introduction

Face aux nombreux besoins : industriels, médicaux, marketing et les limites de l'approche humaine, on a un besoin vital de techniques pour analyser les données et extraire des informations /connaissances automatiquement c'est-à-dire d'un outil d'aide à la décision pour interpréter les données.

Le chapitre présente les principes fondamentaux de l'apprentissage machine. Nous nous concentrons sur l'apprentissage supervisé. Nous discutons en détail *l'apprentissage par arbre de décision*, plus précisément l'algorithme C4.5 (Quinlan).

3.1 Qu'est-ce que l'apprentissage machine ?

En sciences cognitives, l'apprentissage (humain) est considéré comme étant le processus visant l'amélioration des performances au fur et à mesure de l'exercice d'une activité. Pour apprendre, il faut s'exercer, s'entraîner, acquérir une expérience afin d'être performant dans une activité donnée. L'amélioration de la performance passe aussi par la capacité de l'humain à inférer des enseignements et des règles suite à son vécu. Il peut alors réaliser de nouvelles tâches d'une manière plus efficace. [b-04]

L'apprentissage machine est né de la volonté des chercheurs en intelligence artificielle de doter la machine avec la capacité d'apprendre et d'améliorer automatiquement sa performance dans l'exécution d'une tâche donnée. Les algorithmes d'apprentissage machine assurent ce processus. Nous recensons les arbres de décision, les réseaux de neurones, les k -moyennes, parmi d'autres. Cette automatisation de la performance vient en opposition à l'idée d'une machine qui exécute des programmes explicitement définis par l'humain. Certes, les chercheurs ne sont pas encore arrivés à concevoir des algorithmes permettant aux machines d'avoir une faculté d'apprentissage comparable à celle de l'homme. Cela est dû à la complexité du fonctionnement des structures responsables de l'exécution d'une telle tâche chez l'être humain.

Néanmoins, ces algorithmes suscitent de l'intérêt dans plusieurs disciplines et sont appliqués dans des domaines très variés. Ils sont généralement appliqués à de grandes bases de données contenant plusieurs cas ou exemples du phénomène à étudier. Leur but consiste à identifier des patrons récurrents et des régularités implicites. Ils sont utilisés, entre autres, pour détecter des cas de fraude par cartes de crédit, des cas d'intrusions informatiques, ou pour trouver les meilleures catégories de consommateurs à cibler pour des campagnes de publicité. Ces algorithmes sont également appliqués dans le cadre des interfaces homme-machine pour apprendre à la machine d'une manière autonome et dynamique à s'adapter aux désirs et préférences des utilisateurs. Ils permettent aussi de reconnaître automatiquement des formes, des visages, des paroles, l'écriture manuscrite, l'émotion, etc. Les performances des algorithmes varient selon le domaine d'application et le type d'apprentissage à effectuer. À performances d'apprentissage égales, on préfère l'algorithme le plus simple à implémenter, le plus facile à interpréter, le moins coûteux en termes de complexité spatiale et temporelle, parmi d'autres critères.

L'apprentissage automatique est divisé principalement en trois types :

- ❖ l'apprentissage supervisé,
- ❖ l'apprentissage non supervisé,
- ❖ l'apprentissage par renforcement.

• *En apprentissage supervisé*, on dispose d'observations qui prennent la forme de couples d'entrées sorties. L'algorithme consiste alors à chercher une fonction reliant les sorties aux entrées. Lorsque la sortie prend des valeurs discrètes, la tâche de la fonction est dite de *classification*. Lorsque les valeurs sont continues, la tâche est dite de *régression*. L'algorithme des arbres de décision est un exemple d'*apprentissage supervisé*.

• *L'apprentissage non-supervisé*, par opposition au supervisé, s'applique à des observations n'ayant pas de sorties. Sa tâche consiste à décrire l'association entre les entrées et l'organisation des observations. Il existe trois familles dans l'*apprentissage non-supervisé*:

- ✚ **La catégorisation (clustering)** consiste à diviser un ensemble d'observations disponibles en des groupes similaires. L'algorithme des k-moyennes en est un exemple.
- ✚ **La réduction de dimensionnalité** consiste à projeter les observations d'un espace multidimensionnel sur une autre dimension plus réduite. Le cas de l'analyse en composantes principales est l'un des plus connus.
- ✚ **L'estimation de densité de probabilité** permet de modéliser la vraie distribution des observations. Le modèle de mélange de densités gaussiennes en est un exemple.

• Par opposition, *l'apprentissage par renforcement* (Sutton & Barto, 1998) [b-41] consiste en l'entraînement dynamique d'un agent intelligent qui maximise la valeur espérée de son utilité dans un environnement incertain. Pour ce faire, l'agent exécute différentes actions qui lui permettent, au moyen d'un processus d'essais erreurs, d'adapter son comportement afin d'optimiser sa fonction objectif. L'algorithme Q-Learning en est un exemple.

Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur les algorithmes de l'apprentissage *supervisé* utilisés pour résoudre les problèmes de classification et de prédiction. Notre travail porte sur la prédiction de l'émotion d'un apprenant (sortie) étant donné son profil, sa personnalité et l'état émotionnel instantané (entrées). Les algorithmes supervisés sont donc bien adaptés pour répondre à notre besoin.

3.2 L'apprentissage supervisé

3.2.1 Présentation

Si les classes sont prédéterminées et les exemples connus, le système apprend à classer selon un modèle de classement. Un expert doit préalablement étiqueter des exemples. Le processus se passe en deux phases. Lors de la première phase dite d'apprentissage, il s'agit de déterminer un modèle des données étiquetées.

La seconde phase (en ligne, dite de *test*) consiste à prédire l'étiquette d'une nouvelle donnée, connaissant le modèle préalablement appris. Parfois il est préférable d'associer une donnée non pas à une classe unique, mais une probabilité d'appartenance à chacune des classes prédéterminées (on parle alors d'apprentissage supervisé probabiliste). A partir d'un ensemble d'observation $\{x_1, \dots, x_n\} \in X$ et de mesures $\{y_i\} \in Y$, on cherche à estimer les dépendances entre les ensembles X et Y . Parmi ses algorithmes : la méthode du plus proche voisin, réseaux de neurones, arbres de décision, etc. [w-11]

3.2.2 Algorithmes utilisés

Il existe plusieurs algorithmes pour l'apprentissage supervisé qui diffèrent selon la forme du modèle appris, lequel caractérise la relation entre les variables d'*entrées* et les variables *cibles*. En guise d'introduction à la classification, nous présentons l'algorithme des arbres de décision. Cet algorithme produit un modèle facile à interpréter sous forme de règles utilisées dans notre travail.

(A) Les arbres de décision

Un arbre de décision est un outil d'aide à la décision qui représente la situation plus ou moins complexe à laquelle on doit faire face sous la forme graphique d'un arbre de façon à faire apparaître l'extrémité de chaque branche les différents résultats possibles en fonction des décisions prises à chaque étape. Les algorithmes peuvent traiter les valeurs manquantes (descriptions contenant des champs non renseignés) pour l'apprentissage, mais aussi pour la classification, en plus, un arbre de décision est facile à interpréter et est la représentation graphique d'un ensemble de règles. Si la taille de l'arbre est importante, il est difficile d'appréhender l'arbre dans sa globalité. [b-36]

Cependant, les outils actuels permettent une navigation aisée dans l'arbre (parcourir une branche, développer un nœud, élaguer une branche) et, le plus important, est certainement de pouvoir expliquer comment est classé un exemple par l'arbre, ce qui peut être fait en montrant le chemin de la racine à la feuille pour l'exemple courant et l'algorithme peut prendre en compte tous les types d'attributs et les valeurs manquantes. Il est robuste au bruit. Par contre, les performances tendent à se dégrader lorsque le nombre de classes devient trop important et l'algorithme n'est pas incrémental, c'est-à-dire, que si les données évoluent avec le temps, il est nécessaire de relancer une phase d'apprentissage sur l'échantillon complet (anciens exemples et nouveaux exemples).

▣ Critiques de la méthode

⇒ Avantages

- Adaptabilité aux attributs de valeurs manquantes : les algorithmes peuvent traiter les valeurs manquantes (descriptions contenant des champs non renseignés) pour l'apprentissage, mais aussi pour la classification.

- Bonne lisibilité du résultat : un arbre de décision est facile à interpréter et est la représentation graphique d'un ensemble de règles. Si la taille de l'arbre est importante, il est difficile d'appréhender l'arbre dans sa globalité. Cependant, les outils actuels permettent une navigation aisée dans l'arbre (parcourir une branche, développer un nœud, élaguer une branche) et, le plus important, est certainement de pouvoir expliquer comment est classé un exemple par l'arbre, ce qui peut être fait en montrant le chemin de la racine à la feuille pour l'exemple courant.
- Traitement de tout type de données : l'algorithme peut prendre en compte tous les types d'attributs et les valeurs manquantes. Il est robuste au bruit.
- Sélectionne des variables pertinentes : l'arbre contient les attributs utiles pour la classification. L'algorithme peut donc être utilisé comme prétraitement qui permet de sélectionner l'ensemble des variables pertinentes pour ensuite appliquer une autre méthode.
- Donne une classification efficace : l'attribution d'une classe à un exemple à l'aide d'un arbre de décision est un processus très efficace (parcours d'un chemin dans un arbre).
- Disponibilité des outils : les algorithmes de génération d'arbres de décision sont disponibles dans tous les environnements de fouille de données.
- Méthode extensible et modifiable : la méthode peut être adaptée pour résoudre des tâches d'estimation et de prédiction. Des améliorations des performances des algorithmes de base sont possibles grâce aux techniques qui génèrent un ensemble d'arbres votant pour attribuer la classe. [b-42]

⇒ Inconvénients

- Méthode sensible au nombre de classes : les performances tendent à se dégrader lorsque le nombre de classes devient trop important.
- Manque d'évolutivité dans le temps : l'algorithme n'est pas incrémental, c'est-à-dire, que si les données évoluent avec le temps, il est nécessaire de relancer une phase d'apprentissage sur l'échantillon complet (anciens exemples et nouveaux exemples).

(B) Les réseaux de neurones artificiels

Les réseaux de neurones sont des outils très utilisés pour la classification, l'estimation, la prédiction et la segmentation. Ils sont issus de modèles biologiques, sont constitués d'unités élémentaires (les neurones) organisées selon une architecture. Un nœud reçoit des valeurs en entrée et renvoie 0 à n valeurs en sortie. Toutes ces valeurs sont normalisées pour être comprises entre 0 et 1 (ou parfois entre -1 et 1), selon les bornes de la fonction de transfert.

Une fonction de combinaison calcule une première valeur à partir des nœuds connectés en entrée et poids des connexions. Dans les réseaux les plus courants, les perceptrons, il s'agit de la somme pondérée $\sum N_i \cdot P_i$ des valeurs des nœuds en entrée. Afin de déterminer une valeur en sortie, une seconde fonction, appelée fonction de transfert (ou d'activation), est appliquée à cette valeur. Les nœuds de la couche d'entrée sont triviaux, dans la mesure où ils ne combinent rien, et ne font que transmettre la valeur de la variable qui leur correspond.

Les réseaux prédictifs sont dits "à apprentissage supervisé" et les réseaux descriptifs sont dits "à apprentissage non *supervisé*". [b-42]

▣ Critiques de la méthode

⇒ Avantages

- Lisibilité du résultat : Le résultat de l'apprentissage est un réseau constitué de cellules organisées selon une architecture, définies par une fonction d'activation et un très grand nombre de poids à valeurs réelles.
- Les données réelles : les réseaux traitent facilement les données réelles "préalablement normalisées" et les algorithmes sont robustes au bruit. Ce sont, par conséquent, des outils bien adaptés pour le traitement de données complexes éventuellement bruitées comme la reconnaissance de formes (son, images sur une rétine, etc.).
- Classification efficace : le réseau étant construit, le calcul d'une sortie à partir d'un vecteur d'entrée est un calcul très rapide.
- En combinaison avec d'autres méthodes : pour des problèmes contenant un grand nombre d'attributs pour les entrées, il peut être très difficile de construire un réseau de neurones. On peut, dans ce cas, utiliser les arbres de décision pour sélectionner les variables pertinentes, puis générer un réseau de neurones en se restreignant à ces entrées.

⇒ Inconvénients

- Temps d'apprentissage : l'échantillon nécessaire à l'apprentissage doit être suffisamment grand et représentatif des sorties attendues. Il faut passer un grand nombre de fois tous les exemples de l'échantillon d'apprentissage avant de converger et donc le temps d'apprentissage peut être long.
- Evolutivité dans le temps : comme pour les arbres de décision, l'apprentissage n'est pas incrémental et, par conséquent, si les données évoluent avec le temps, il est nécessaire de relancer une phase d'apprentissage pour s'adapter à cette évolution.

(C) Les k plus proches voisins pondérés ([b-42], [w-12])

La méthode des K plus proches voisins (noté parfois K -PPV ou K -NN) est une méthode dédiée à la classification qui peut être étendue à des tâches d'estimation. La méthode PPV est une méthode de raisonnement à partir de cas. Elle part de l'idée de prendre des décisions en recherchant un ou des cas similaires déjà résolus en mémoire.

Contrairement aux autres méthodes de classification comme les arbres de décision, les réseaux de neurones, il n'y a pas d'étape d'apprentissage consistant en la construction d'un modèle à partir d'un échantillon d'apprentissage. C'est l'échantillon

d'apprentissage, associé à une fonction de distance et d'une fonction de choix de la classe en fonction des classes des voisins les plus proches, qui constitue le modèle.

▣ Critiques de la méthode

⇒ Avantages

- Absence d'apprentissage : c'est l'échantillon qui constitue le modèle. L'introduction de nouvelles données permet d'améliorer la qualité de la méthode sans nécessiter la reconstruction d'un modèle. C'est une différence majeure avec des méthodes telles que les arbres de décision et les réseaux de neurones.
- Clarté des résultats : bien que la méthode ne produise pas de règle explicite, la classe attribuée à un exemple peut être expliquée en exhibant les plus proches voisins qui ont amené à ce choix.
- Données hétérogènes : la méthode peut s'appliquer dès qu'il est possible de définir une distance sur les champs. Or, il est possible de définir des distances sur des champs complexes, tels que des informations géographiques, des textes, des images ou du son. C'est parfois un critère de choix de la méthode PPV car les autres méthodes traitent difficilement les données complexes. On peut noter, également, que la méthode est robuste face au bruit.
- Grand nombre d'attributs : la méthode permet de traiter des problèmes avec un grand nombre d'attributs. Cependant, plus le nombre d'attributs est important, plus le nombre d'exemples ne doit être grand.

⇒ Inconvénients

- Sélection des attributs pertinents : pour que la notion de proximité soit pertinente, il faut que les exemples couvrent bien l'espace et soient suffisamment proches les uns des autres. Si le nombre d'attributs pertinents est faible relativement au nombre total d'attributs, la méthode donnera de mauvais résultats car la proximité sur les attributs pertinents sera noyée par les distances sur les attributs non pertinents. Il est donc parfois utile de sélectionner tout d'abord les attributs pertinents.
- Le temps de classification : si la méthode ne nécessite pas d'apprentissage, tous les calculs doivent être effectués lors de la classification. Ceci est la contrepartie à payer par rapport aux méthodes qui nécessitent un apprentissage (éventuellement long) mais qui sont rapides en classification (le modèle est créé, il suffit de l'appliquer à l'exemple à classer). Certaines méthodes permettent de diminuer la taille de l'échantillon en ne conservant que les exemples pertinents pour la méthode *PPV*, mais il faut, de toute façon, un nombre d'exemple suffisamment grand relativement au nombre d'attributs.
- Définir les distance et nombre de voisins : les performances de la méthode dépendent du choix de la distance, du nombre de voisins et du mode de combinaison des réponses des voisins. En règle générale, les distances simples fonctionnent bien. Si les distances simples ne fonctionnent pour aucune valeur de k , il faut envisager le changement de distance, ou le changement de méthode.

3.3 Arbres de décision

3.3.1 Définition

C'est une structure de données utilisée comme modèle pour la classification, c'est l'une des formes les plus simples d'apprentissage qui connaissent le plus de succès. Aussi c'est une méthode récursive basée sur diviser-pour-régner pour créer des sous-groupes (plus) purs (un sous-groupe est pur lorsque tous les éléments du sous-groupe appartiennent à la même classe). [w-13]

On peut dire alors que l'arbre de décision est une représentation graphique d'une procédure de décision, qui permet de modéliser simplement, graphiquement, rapidement un phénomène mesuré plus ou moins complexe, et enfin Construire le plus petit arbre de décision possible.

3.3.2 Représentation

- ✓ Chaque nœud = Test sur un attribut.
- ✓ Une branche correspond à une valeur possible d'un attribut.
- ✓ Les feuilles désignent la classe de l'objet à classer, c'est-à-dire à une décision.
- ✓ Problèmes: Choix de l'attribut, terminaison.

3.3.3 Exemples

❖ Exemple 1

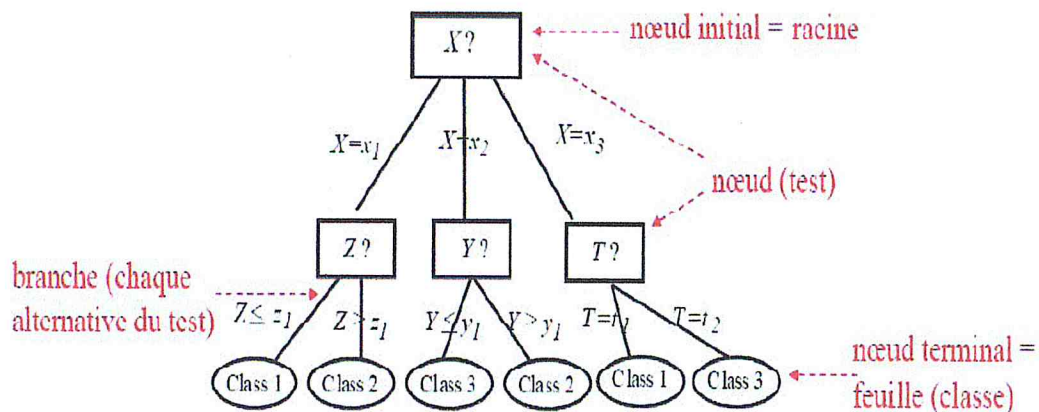


Figure 3.1 : les différentes composantes d'un arbre de décision

Le *nœud racine* représente toute la population, les *autres nœuds* représentent le sous-ensemble de la population, chaque nœud est divisé en plusieurs nœuds fils, selon la valeur d'un attribut. Chaque *feuille* représente un nœud indivisible.

❖ Exemple 2

Nous citons un exemple réaliste d'un système de reconnaissance d'émotions lorsqu'une personne embarque dans une voiture. Supposons que le système dispose d'une description de la personnalité du conducteur, obtenue suite à un questionnaire de personnalité administré à priori. Supposons que le système puisse reconnaître la désirabilité de la situation selon les gestes du conducteur, le ton de sa voix, ou encore les traits de son visage, perçus à l'aide d'une caméra et d'un microphone intégrés. Supposons également que le système sache reconnaître si une situation est attendue ou non suite aux réactions du conducteur (un freinage brusque, une parole prononcée dénotant un état de surprise). À partir de ces informations, si le système reconnaît le deuxième chemin de notre arbre débouchant sur une émotion négative, on s'attend à ce qu'il réagisse pour calmer ou reconforter le conducteur à temps, avant que la situation ne s'aggrave et n'entraîne un accident.

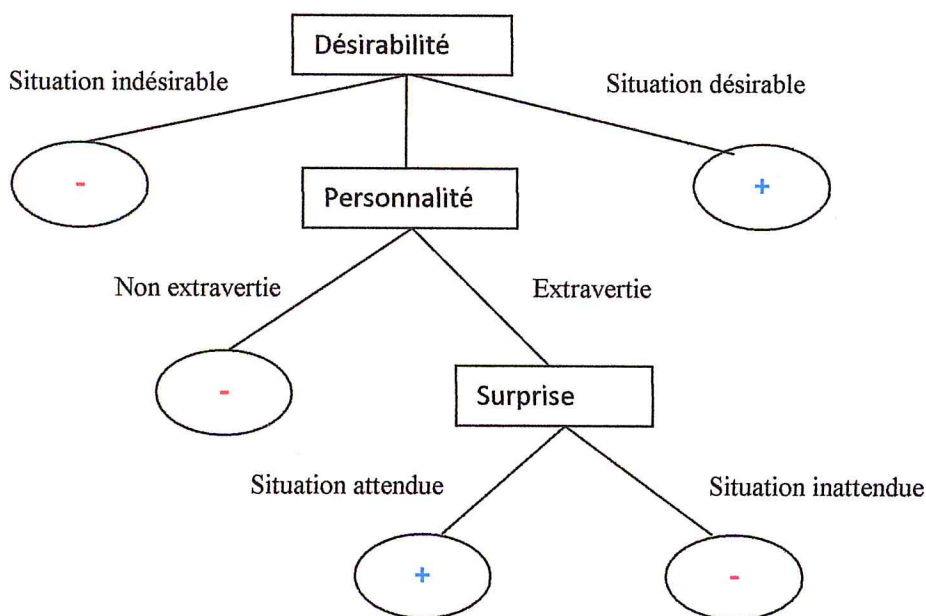


Figure 3.2 : arbres de décision d'un système de reconnaissance d'émotions d'une personne qui embarque dans une voiture.

L'arbre est interprété comme un ensemble de règles ou chemins, allant de la racine aux feuilles. Par exemple, le premier chemin de l'arbre à partir de la droite indique que si la situation vécue par une personne est désirable alors l'émotion est à dominance positive. La règle relative au deuxième chemin est comme suit :

Si désirabilité = inconnue **et** personnalité = extravertie **et** surprise = inattendue
Alors émotion = négative

Les autres chemins s'interprètent d'une manière similaire.

3.3.4 Algorithmes utilisés

Nous étudions les algorithmes de génération d'arbres de décision à partir de données. Les deux algorithmes les plus connus et les plus utilisés sont CART et C4.5 la version la plus récente après ID3. Ces algorithmes sont très utilisés car performants et car ils génèrent des procédures de classification exprimables sous forme de règles.

3.3.4.1 Algorithme de CART

3.3.4.1 .1 Présentation de CART :

L'algorithme CART (*Classification and Regression Trees*) développée par (Breiman et J.H Friedman R.A Olshen et C.J Stone en (1984)), sert à construire un arbre de décision en classifiant un ensemble d'enregistrements. Cet arbre fournit un modèle pour classer de nouveaux échantillons. Cet arbre généré par CART est binaire (un nœud ne peut avoir que 2 fils) et le critère de segmentation est l'indice de Gini.

3.3.4.1 .2 Principes de CART

- Considérons un ensemble de variables catégorielles X_1, \dots, X_p . Le partitionnement récursif divise l'espace des p variables en n rectangles qui ne se chevauchent pas.

- La division est accomplie récursivement. Par exemple soit la variable X_i et une valeur S_i de cette variable. On trouve que le partitionnement où $X_i < S_i$ et $X_i > S_i$ sépare bien les données en deux ensembles disjoints. Ensuite une des deux parties est à son tour divisée par une valeur de X_i ou par la valeur d'une autre variable. On aboutit à 3 rectangles et ainsi de suite.

- L'idée est de créer n rectangles de telle sorte que l'ensemble de données contenu dans un rectangle soit homogène.

On rappelle qu'un arbre binaire est un ensemble de nœuds ; de chaque nœud partent 0, 1 ou 2 branches, vers le bas ; on appelle feuille un nœud dont ne part aucune branche. Considérons par exemple l'arbre ci-après, qui a un seul nœud, et deux branches menant à deux feuilles.

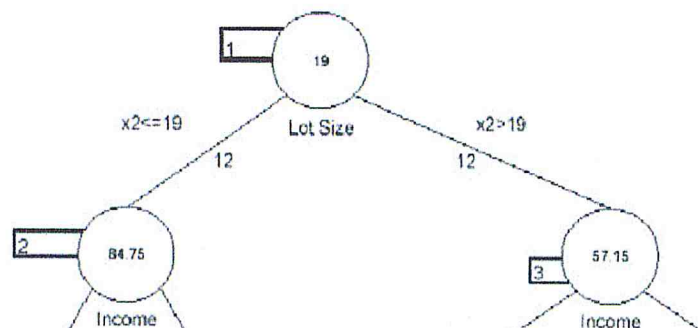


Figure 3.3 : exemple d'un arbre binaire

On lit un tel arbre de la façon suivante : si $X \leq 19$ alors on emprunte la branche de gauche, qui mène à une feuille ; à cette feuille est attribuée la valeur 84.75, on obtient donc $Y = 84.75$. Si au contraire $X > 19$ alors on emprunte la branche de droite ; on lit : $Y = 57.15$. L'arbre établit donc un lien fonctionnel entre Y et X , que l'on pourrait d'ailleurs expliciter au moyen de fonctions indicatrices.

3.3.4.1 .3 Les phases de construction d'un arbre par CART

Nous supposons prédéfini un ensemble de tests binaires. Pour définir l'algorithme, nous allons définir les trois opérateurs utilisés par la méthode CART pour calculer un bon arbre de décision (phase d'expansion), puis nous verrons la phase d'élagage. Nous nous plaçons dans le cas d'un échantillon S assez grand qui peut être découpé en un ensemble d'apprentissage A et un ensemble Test T .

I. Phase d'expansion :

Construction de l'arbre de décision en divisant récursivement l'ensemble d'apprentissage A . On utilise la fonction de Gini (ou indice d'impureté de Gini) défini par:

$$I = 1 - \sum_i f_i^2$$

Formule 3.1 : fonction de Gini

N = nombre de classes à prédire

F_i = fréquence de la classe i dans le nœud

Exemple :

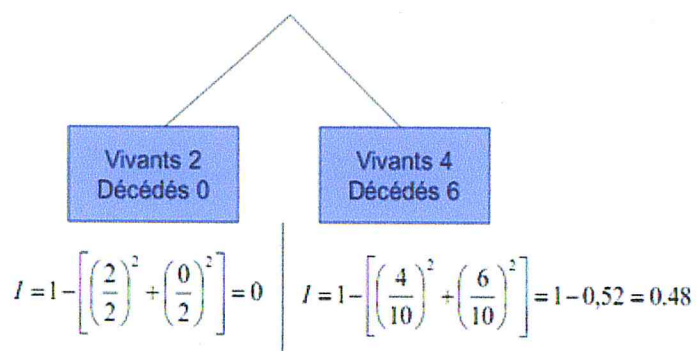


Figure 3.4 : calcul de la fonction Gini

1) Décider si un nœud est terminal

Plus l'indice de Gini est bas, plus le nœud est pur.

2) Sélectionner un test à associer à un nœud

Soit p une position et soit T un test. Si ce test devient l'étiquette du nœud à la position p , alors on appelle P_{gauche} (respectivement P_{droite}) la proportion d'éléments de l'ensemble des exemples associés à p qui vont sur le nœud en position p_1 (respectivement p_2). La réduction d'impureté définie par le test T est alors :
En position p (non maximale), on choisit le test qui maximise la quantité $\Delta i(p, T)$.

3) Affecter une classe à une feuille. On attribue la classe majoritaire

Soit t l'arbre obtenu en sortie de la phase d'expansion.

II. Phase d'élagage:

L'estimation de l'erreur réelle est l'erreur apparente sur l'ensemble Test T . Un élagué de t est obtenu en remplaçant un sous-arbre de t par une feuille. Une première solution serait d'estimer l'erreur réelle pour tous les élagués de t . Cette méthode est trop coûteuse en temps de calcul. On va donc utiliser une heuristique permettant de limiter le nombre d'élagués de t sur lesquels on va estimer l'erreur réelle.

1) Construction de la suite des arbres

On construit une suite $t_0 = t_1 \dots t_n$ telle que t_0 soit l'arbre obtenu à la fin de la phase d'expansion, pour tout i , t_{i+1} est un élagué de t_i et le dernier arbre de la suite t_p est réduit à une feuille. Il nous faut définir le procédé de construction de t_{i+1} à partir de t_i . Pour toute position p de t_i , on note u_p le sous-arbre de t_p en position p . On calcule la quantité .

$$g(p) = \frac{\Delta_{app}(p)}{|u_p| - 1}$$

Formule 3.2 : calcul de la quantité.

Où $\Delta_{app}(p)$ est la variation d'erreur apparente mesurée sur l'ensemble d'apprentissage A lorsqu'on élague t en position p et $|u_p|$ est la taille de u_p . On peut remarquer que

$$\Delta_{app}(p) = \frac{MC(p) - MC(u_p)}{N(p)}$$

Formule 3.3 : la variation d'erreur apparente.

où $N(p)$ est le cardinal de l'ensemble des exemples de A associé à la position p de t_i , $MC(p)$ est le nombre d'éléments de A mal classés à la position p lorsqu'on élague t_i en position p et $MC(u_p)$ est le nombre d'éléments de A associés à la position p de t_i mal classés par u_p . On considère alors la position p pour laquelle $g(p)$ est minimale et t_i est l'élagué de t_i en position p.

2) choix final:

On calcule pour chaque arbre t_i de la suite construite au point précédent l'erreur apparente sur l'ensemble Test T. Cette valeur est prise comme estimation de l'erreur réelle. On retourne donc l'arbre qui minimise l'erreur apparente sur T.

3.3.4.1 .4 Avantages et inconvénients

⇒ **Avantage:**

- ✓ Résultats explicites.
- ✓ Règles de décisions simples.
- ✓ Modèle facilement programmable pour affecter de nouveaux individus.
- ✓ Peu de perturbation des individus extrêmes Isolés dans des petites feuilles.
- ✓ Peu sensible au bruit des variables non discriminantes.
- ✓ CART permet l'utilisation de variables de tous types Continues, discrètes, catégoriques.
- ✓ Traitement d'un grand nombre de variables explicatives.

⇒ **Inconvénients:**

- ✓ Arbre non optimaux.
- ✓ Utilisation de règles heuristiques.
- ✓ Utilisation des variables non simultanée mais séquentielle « Effet papillon »
» On change une variable dans l'arbre, tout l'arbre change.
- ✓ Nécessité d'un grand nombre d'individus.

3.3.4.2 Algorithme d'ID3:**3.3.4.2 .1 Présentation d'ID3 :**

Cette algorithme a été créée par J. Ross Quinlan(1986) [b-43] .Il est utilisée pour construire un arbre de décision, étant donnée un ensemble d'attributs non cibles C_1, C_2, \dots, C_n , l'attribut cible C , et un ensemble S d'enregistrements d'apprentissage.

3.3.4.2 .2 Principe de l'ID3 :

ID3 construit un arbre de décision de façon récursive en choisissant l'attribut qui maxime le gain d'information selon l'entropie de Shannon. Cet algorithme fonctionne exclusivement avec des attributs catégoriques et un nœud est créé pour chaque valeur des attributs sélectionnés. ID3 est un algorithme basique facile à implémenter dont la première fonction est de remplacer les experts dans la construction d'un arbre de décision.

✚ Entropie de Shannon :

$$E(S) = - \sum_{j=1}^{|S|} p(j) \log_2 p(j)$$

Formule 3.4 : Entropie de Shannon

Où $p(j)$ est la probabilité d'avoir un élément de caractéristique j dans l'ensemble S .

✚ Le gain d'information

$$Gain(S,A) = E(S) - \sum_v \left(\frac{|S_v|}{|S|} * E(S_v) \right)$$

Formule 3.5 : le gain d'information

Avec :

- ✓ S est un ensemble d'entraînement.
- ✓ A est l'attribut cible.
- ✓ S_v le sous-ensemble des éléments dont la valeur de l'attribut A est v .
- ✓ $|S_v|$ = nombre d'éléments de S_v .
- ✓ $|S|$ = nombre d'éléments de S .

3.3.4.2.3 Exemples :

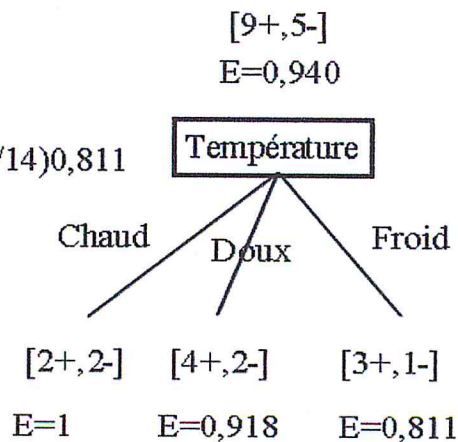
Citons l'exemple suivant :

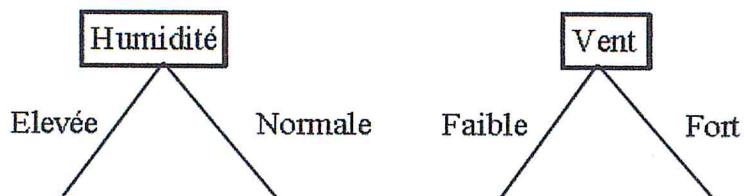
Jour	Ciel	Température	Humidité	Vent	Jouer
J1	Soleil	Chaud	Elevée	Faible	Non
J2	Soleil	Chaud	Elevée	Fort	Non
J3	Couvert	Chaud	Elevée	Faible	Oui
J4	Pluie	Doux	Elevée	Faible	Oui
J5	Pluie	Froid	Normale	Faible	Oui
J6	Pluie	Froid	Normale	Fort	Non
J7	Couvert	Froid	Normale	Fort	Oui
J8	Soleil	Doux	Elevée	Faible	Non
J9	Soleil	Froid	Normale	Faible	Oui
J10	Pluie	Doux	Normale	Faible	Oui
J11	Soleil	Doux	Normale	Fort	Oui
J12	Couvert	Doux	Elevée	Fort	Oui
J13	Couvert	Chaud	Normale	Faible	Oui
J14	Pluie	Doux	Elevée	Fort	Non

Tableau 3.1 : Tableau d'un ensemble de données (discrètes) collectées.

Voici les étapes d'apprentissage par l'algorithme c4.5 :

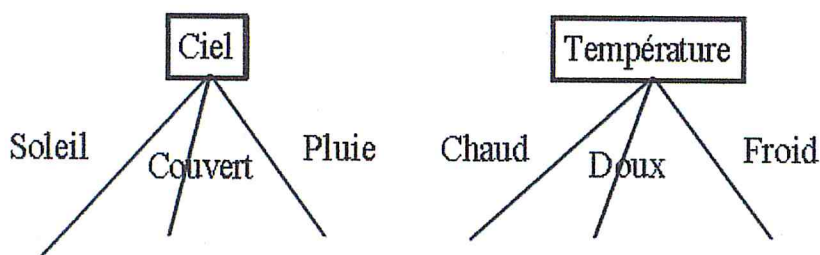
$$\begin{aligned} \text{Gain}(S, \text{Température}) &= 0,940 - (4/14)1 - (6/14)0,918 - (4/14)0,811 \\ &= 0,029 \end{aligned}$$





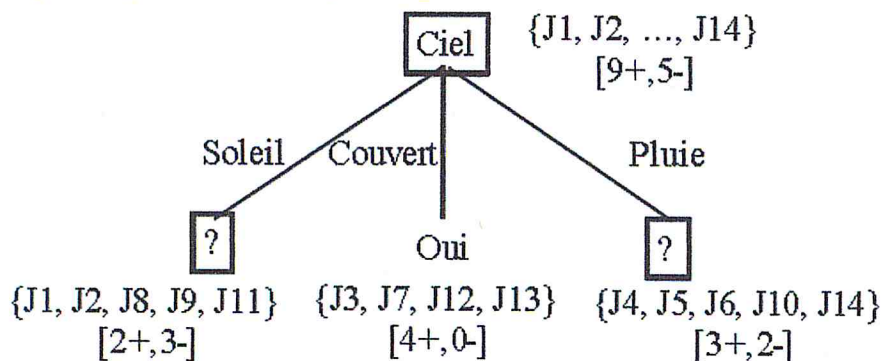
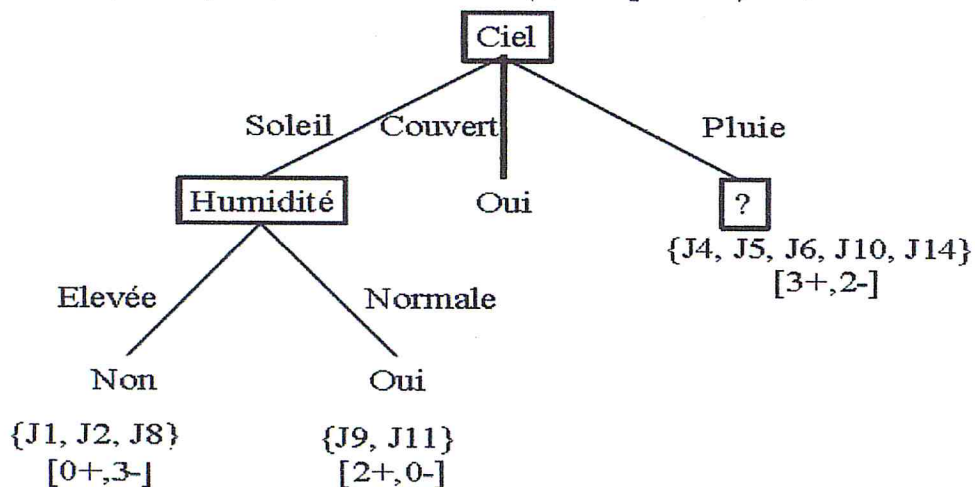
Gain(S, Humidité) = 0,151

Gain(S, Vent) = 0,048



Gain(S, Ciel) = 0,246

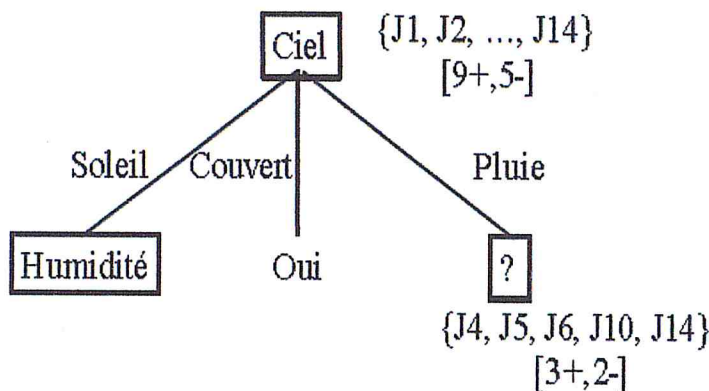
Gain(S, Température) = 0,029



Gain(S_{Soleil}, Humidité) = 0,970 - (3/5) 0 - (2/5) 0 = 0,970

Gain(S_{Soleil}, Température) = 0,970 - (2/5) 0 - (2/5) 1 - (1/5) 0 = 0,570

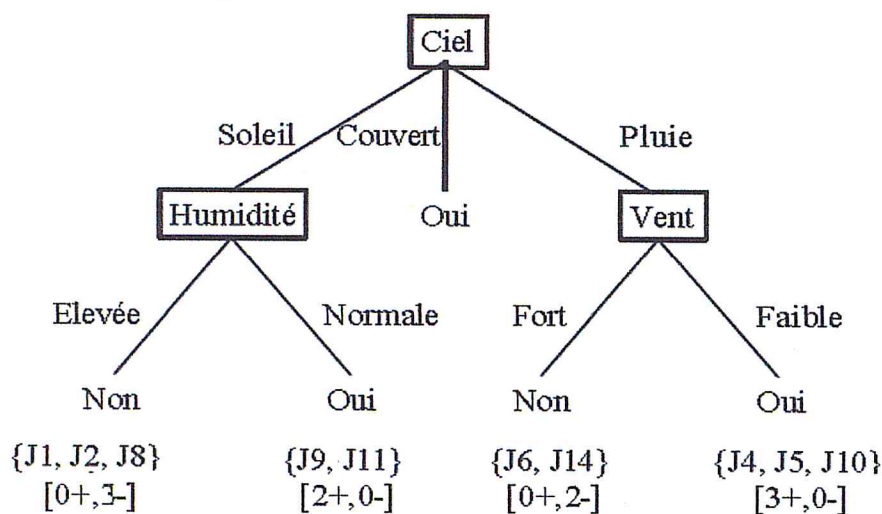
Gain(S_{Soleil}, Vent) = 0,970 - (2/5) 1 - (3/5) 0,918 = 0,019



$$\text{Gain}(S_{\text{Pluie}}, \text{Humidité}) = 0,970 - (2/5) 1 - (3/5) 0,918 = 0,019$$

$$\text{Gain}(S_{\text{Pluie}}, \text{Température}) = 0,970 - (0/5) 0 - (3/5) 0,918 - (2/5) 1 = 0,019$$

$$\text{Gain}(S_{\text{Pluie}}, \text{Vent}) = 0,970 - (2/5) 0 - (3/5) 0 = 0,970$$



3.3.4.2.4 Les limites de l'algorithme ID3

- ✓ La quantité de calcul est assez importante.
- ✓ Cet algorithme n'applique pas une recherche exhaustive
- ✓ La présence du OU va provoquer de la redondance dans les tests des différents sous arbres. Le XOR est encore plus problématique.

⇒ Si l'on résume l'algorithme ID3 ne peut pas traiter les enregistrements incomplets, les attributs sont discrétisés, ce qui n'est pas toujours une solution acceptable.

Enfin l'arbre produit peut comporter des sous arbres dans lesquels on ne va presque jamais. Voyons comment l'algorithme C4.5 permet de répondre à ces limitations de l'algorithme ID3.

3.3.4.3 Algorithme de C4.5 :

3.3.4.3.1 Principe de C4.5 :

Cet algorithme a été proposé en 1993, par Ross Quinlan, pour pallier les limites de l'algorithme ID3 vu précédemment. Nous n'allons pas tout redévelopper pour décrire C4.5 car il repose complètement sur l'algorithme ID3 que nous avons déjà décrit. Nous nous focaliserons donc d'avantage ici sur les limites de l'algorithme ID3 et les améliorations apportées par C4.5.

3.3.4.3.2 Les phases d'algorithme C4.5

Nous supposons prédéfini un ensemble de tests n-aires. Pour définir l'algorithme, nous allons définir les trois opérateurs utilisés par l'algorithme C4.5 pour calculer un bon arbre de décision (phase d'expansion), puis nous verrons la phase d'élagage. On suppose disposer d'un ensemble d'apprentissage A.

I. Phase d'expansion: Construction de l'arbre de décision en divisant récursivement l'ensemble d'apprentissage A. On utilise la fonction entropie.

1) **Décider si un nœud est terminal :** Un nœud p est terminal si

$$i(p) \leq i_0$$

Formule 3.6 : condition d'un nœud terminale.

Ou

$$N(p) \leq n_0$$

Formule 3.7 : autre condition d'un nœud terminale.

Où i_0 et n_0 sont des paramètres à fixer.

2) **Sélectionner un test à associer à un nœud :** Soit p une position et soit T un test n-aire. Si ce test devient l'étiquette du nœud à la position p, alors on appelle P_i la proportion d'éléments de l'ensemble des exemples associés à p qui vont sur le nœud en position p- ième fils du nœud en position p). Le gain associé au choix du test T en position p est alors :

$$\text{gain}(p, T) = i(p) - \sum_{i=1}^n (P_i \times i(pi)).$$

Formule 3.8 : Le gain associé au choix du test T

Où i est la fonction entropie. En position p (non maximale), on choisit le test qui maximise la quantité $\text{gain}(p, T)$.

- 3) **Affecter une classe à une feuille** : On attribue la classe majoritaire. Soit t l'arbre obtenu en sortie de la phase d'expansion.

II. Phase d'élagage de C4.5:

Utilise l'ensemble d'apprentissage pour élaguer l'arbre obtenu. Le critère d'élagage est basé sur une heuristique permettant d'estimer l'erreur réelle sur un sous-arbre donné. Bien qu'il semble peu pertinent d'estimer l'erreur réelle sur l'ensemble d'apprentissage, il semble que la méthode donne des résultats corrects.

3.3.4.3.3 Exemple:

Nous allons changer un peu l'exemple précédant en remplaçant les attributs dans les classes température et humidité par des valeurs, dans la classe vent faible par faux et fort par vrai.

ciel	TEMPERATURE	HUMIDITE	VENT	JOUER
soleil	85	85	faux	NE PAS JOUER
soleil	80	90	vrai	NE PAS JOUER
couvert	83	78	faux	JOUER
pluie	70	96	faux	JOUER
pluie	68	80	faux	JOUER
pluie	65	70	vrai	NE PAS JOUER
couvert	64	65	vrai	JOUER
soleil	72	95	faux	NE PAS JOUER
soleil	69	70	faux	JOUER
pluie	75	80	faux	JOUER
soleil	75	70	vrai	JOUER
couvert	72	90	vrai	JOUER
couvert	81	75	faux	JOUER
pluie	71	80	vrai	NE PAS JOUER

Tableau 3.2 : Tableau d'un ensemble de données (discrètes et continues) collectées.

En utilisant un arbre de décision, il est possible de classer les enregistrements qui ont des valeurs inconnus en estimant la probabilité des différents résultats possibles. Dans notre exemple du golf, si on nous donne un nouvel enregistrement pour lequel la Visibilité est soleil et l'humidité est inconnu, nous procéderons alors comme suit :

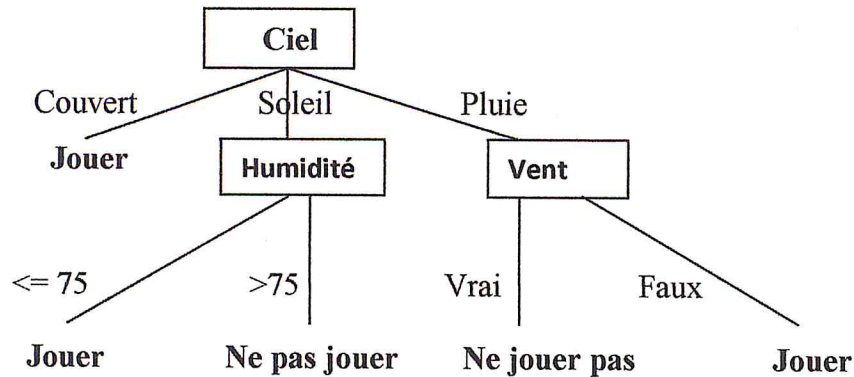


Figure 3.7 : Arbres de décision

Nous allons du nœud racine Visibilité vers le nœud humidité en suivant l'arc soleil. Comme on ne connaît pas la valeur de l'Humidité on observe que si l'humidité est inférieure à 75 il y a 2 enregistrements où l'on joue, et si l'humidité est au dessus de 75 il y a 3 enregistrements dont l'un où l'on ne joue pas. On peut donc donner comme réponse pour l'enregistrement les probabilités suivantes (0.4, 0.6) de jouer ou de ne pas jouer.

✚ Les attributs à valeur sur intervalle continu

Dans notre exemple de golf, pour l'humidité, si T est l'ensemble d'apprentissage, on détermine l'information de chaque partition et on trouve la meilleure partition à 75. Donc l'intervalle pour cet attribut devient ≥ 75 , < 75 . On notera quand même que cette méthode nécessite un nombre conséquent d'opérations.

✚ La notion de Gain Ratio

Dans le cas de notre exemple :

$$\text{SplitInfo}(\text{ciel}, T) = -5/14 * \log(5/14) - 4/14 * \log(4/14) - 5/14 * \log(5/14) = 1.577.$$

$$\text{GainRatio}(\text{ciel}) = 0.246/1.577 = 0.156.$$

$$\text{SplitInfo}(\text{Vent}, T) = -6/14 * \log(6/14) - 8/14 * \log(8/14) = 6/14 * 0.1.222 + 8/14 * 0.807 = 0.985.$$

$$\text{GainRatio}(\text{Vent}) = 0.048/0.985 = 0.049.$$

✚ L'élagage de l'arbre de décision

L'élagage de l'arbre de décision s'effectue en remplaçant un sous arbre entier par une feuille. Cette substitution a lieu si une règle de décision établit que le taux d'erreur attendu dans le sous arbre est supérieur que celui d'une simple feuille.

3.4 Choix des algorithmes utilisés

Notre objectif est de développer un système de e-Learning capable de prédire l'émotion d'un apprenant suivant l'information sur une situation qu'il rencontre, ainsi qu'une description de sa personnalité et de quelques caractéristiques personnelles. Nous pensons qu'une méthode supervisée est mieux adaptée dans notre cas. Ainsi, notre choix s'est posé sur les algorithmes supervisés plus précisément les algorithmes des arbres de décision. Le choix de ces algorithmes est motivé et dicté principalement par l'aspect de prédiction instantanée de mise à jour rapide d'un modèle. Cet aspect est d'une importance capitale pour les applications de reconnaissance d'émotions dans lesquels notre machine pourrait être intégrée. Généralement, dans ces systèmes d'interaction homme-machine, l'interprétation rapide des informations et la reconnaissance rapide des émotions est nécessaire. Cela permet par exemple de garder l'attention d'un étudiant avant qu'il ne s'ennuie. Cet aspect nécessite donc un apprentissage continu et rapide au fur et à mesure qu'un nouvel exemple, relatif à un utilisateur et sa situation, est perçu.

Le choix de l'algorithme des arbres de décision est justifié par le fait qu'ils fournissent des méthodes effectives qui obtiennent de bons résultats dans la pratique. Les arbres de décision possèdent l'avantage d'être compréhensible par tout utilisateur (si la taille de l'arbre produit est raisonnable) et d'avoir une traduction immédiate en terme. Ces méthodes sont basées sur de nombreuses heuristiques (décider si un nœud est terminal, choix du test, choix de la classe par défaut, technique d'élagage). Pour ces algorithmes, il est possible de régler les choix de paramètre et il faut faire le bon choix des paramètres (ce qui n'est pas toujours facile). La taille des échantillons influera sur les critères d'élagage à choisir (sur l'ensemble d'apprentissage, sur un ensemble test). Nous avons choisi *L'algorithmes C4.5 (Quinlan 1993)*. Ce dernier est une amélioration d'ID3 qui permet de travailler à la fois avec des données discrètes et des données continues. Il permet également de travailler avec des valeurs d'attribut absentes (valeurs manquantes). Un dernier élément de performance de C4.5 réside dans l'élagage de l'arbre construit afin de supprimer les règles inutiles et de rendre l'arbre plus compact.

Conclusion

Dans de ce chapitre, nous avons tenté d'expliquer la notion d'apprentissage machine, particulièrement celle de l'apprentissage supervisé. Ensuite, nous avons présenté l'algorithme utilisé, les arbres de décision (C4.5), et argumenté leur choix. Cet algorithme constitue le corps de notre machine dont l'objectif est de reconnaître l'émotion relative à une situation qui lui est décrite. Comment cette situation est-elle décrite ? Comment pouvons-nous collecter ces situations et construire une base consistante que la machine utilisera ? Les chapitres qui suivent présentent les réponses à ces questions et la démarche empirique nécessaire à la mise en place de l'application.

Introduction

L'objectif de notre travail est de développer un système de e-Learning qui pourra prédire les émotions des apprenants. Pour atteindre cet objectif il y'a lieu de modéliser le système avant de le réaliser dans le but de pouvoir le développer.

A cet effet, Nous avons adapté la démarche suivante :

1. Nous avons opté pour l'approche objet en raison de plusieurs avantages :
 - La stabilité de la modélisation par rapport aux entités du monde réel,
 - La construction itérative facilitée par le couplage facile entre composants,
 - La possibilité de réutiliser des éléments d'un développement à un autre,
 - La simplicité du modèle qui fait appel à seulement cinq concepts fondateurs (les objets, les messages, les classes, la généralisation et le polymorphisme) pour exprimer d'une manière uniforme l'analyse, la conception et la réalisation d'une application informatique.

2. Nous avons choisi le Langage de modélisation UML ;

Ce dernier est né de la fusion des trois méthodes OMT, BOOCH et OOSE qui s'imposait dans le domaine de modélisation objet au milieu des années 1990, ses points forts sont les suivants :

- **UML est un Langage formel et normalisé**, il permet un gain de précision, de stabilité et encourage l'utilisation d'outils.
- **UML est un support de communication performant**, il cadre l'analyse et facilite la compréhension des représentations abstraites complexes, de plus son caractère polyvalent et sa souplesse en font un Langage universel.

On va utiliser dans notre modélisation trois diagrammes d'UML :

- Diagramme de cas d'utilisation ;
- Diagramme de séquence ;
- Diagramme de classe.

3. Nous avons utilisé Le processus de développement de cycle de vie en cascade.

Le cycle de vie en cascade, décrit par Royce dès 1970 à été largement employé depuis, pour la description générale des activités liées au développement du logiciels.

Dans ce modèle le principe est très simple : chaque phase se termine à une date précise par la production de certains documents ou logiciels. Les résultats sont définis sur la base des interactions entre étapes, ils sont soumis à une revue approfondie et on ne passe à la phase suivante que s'ils sont jugés satisfaisants. [b-44]

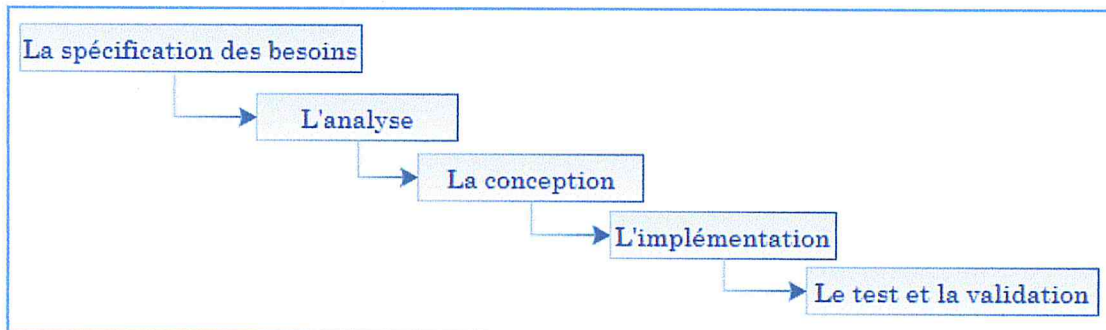


Figure 4.1: Modèle en cascade (Mou, 2006).

4.1 La spécification des besoins

Cette étape permet la description des fonctionnalités attendues du système.

4.1.1 Identification des acteurs de notre système :

- ✓ Ceux sont les *utilisateurs du système* ;
- ✓ Ils ont une bonne connaissance des fonctionnalités du système. Ils constituent les éléments extérieurs du système.

Les acteurs qui interagissent avec notre système sont :

- ✓ L'administrateur.
- ✓ L'enseignant.
- ✓ L'apprenant.

4.1.2 Les cas d'utilisation de notre système :

Un cas d'utilisation permet de décrire un service attendu du système par un acteur. il représente un ensemble de séquences possibles d'actions réalisées par le système et produisant un résultat observable et mesurable afin de satisfaire les objectifs d'un utilisateur particulier du système. Les cas d'utilisation sont un moyen pour identifier et modéliser les besoins des utilisateurs.

Les cas d'utilisation recensés pour notre système sont :

⇒ **Pour l'administrateur :**

- ✓ Installation du système.
- ✓ Créer compte et MAJ.
- ✓ Gestion des facultés.
- ✓ Gestion des départements.

- ✓ Gestion des branches.
- ✓ Gestion des enseignants.
- ✓ Gestion des apprenants.
- ✓ Consultation.

⇒ **Pour l'enseignant :**

- ✓ Créer compte et MAJ.
- ✓ Gestion des cours.
- ✓ Gestion des outils du cours
- ✓ Consultation.

⇒ **Pour l'apprenant :**

- ✓ Créer compte et MAJ.
- ✓ Inscription à un cours.
- ✓ Consulter les outils du cours.
- ✓ Evaluation du comportement.
- ✓ Discussion.

4.1.3 Diagrammes de cas d'utilisation

Le diagramme de cas d'utilisation représente la structure des grandes fonctionnalités nécessaires aux utilisateurs du système. Nous présentons dans cette partie les différents cas d'utilisation et classes récentes pour notre système.

✚ **Cas d'utilisation global** Ce diagramme représente les différentes tâches que l'utilisateur du système peut effectuer.

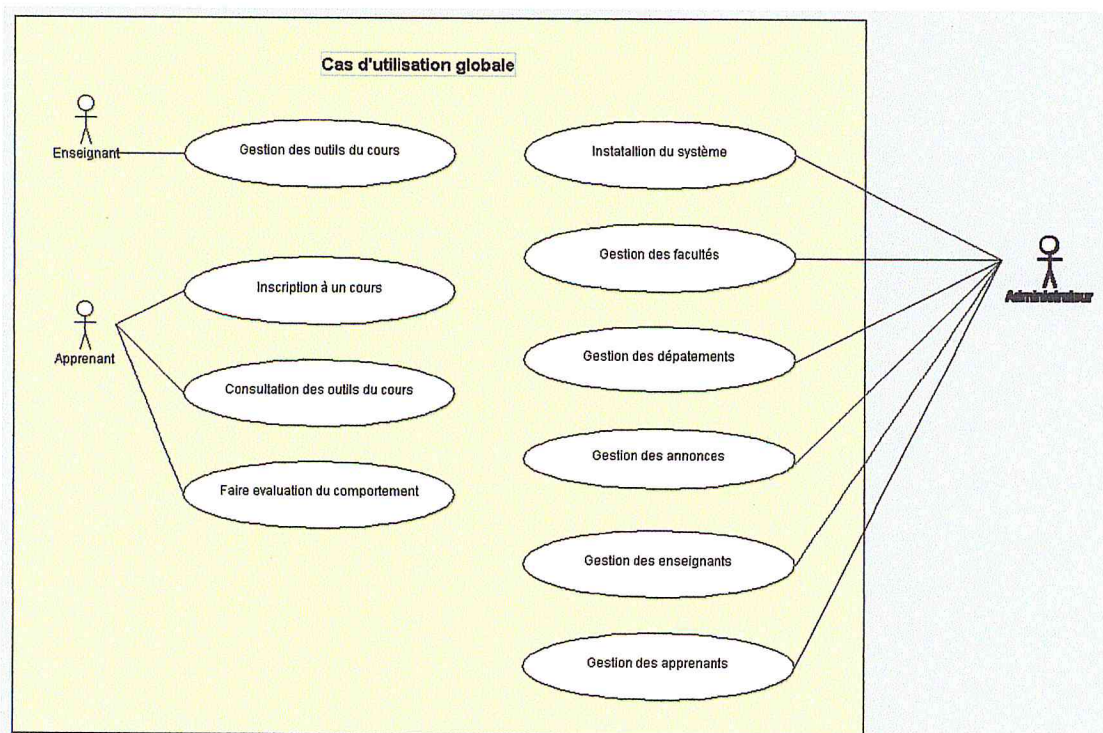


Figure 4.2 : Cas d'utilisation global.

✚ Cas d'utilisation : « Gestion des facultés »

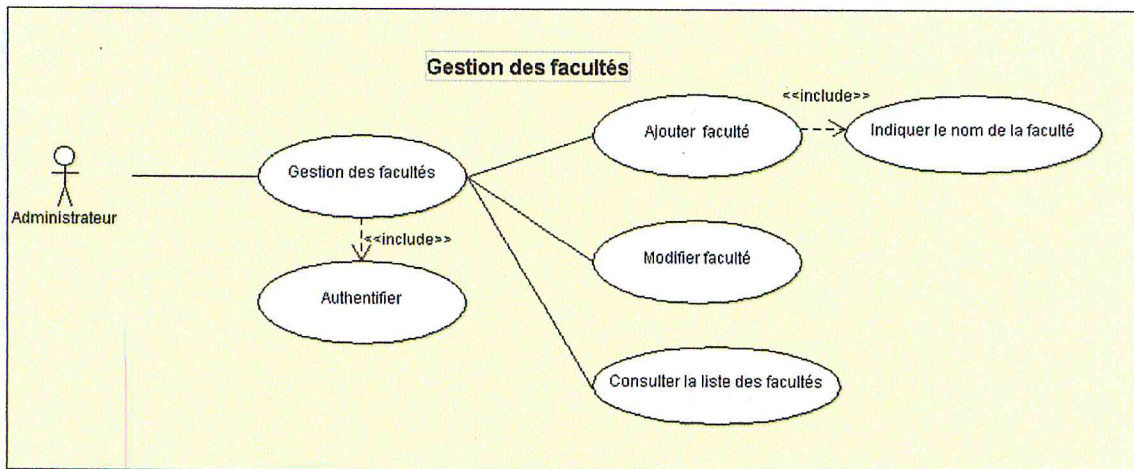


Figure 4.5 : Cas d'utilisation « Gestion des facultés »

✚ Cas d'utilisation : « Gestion des départements »

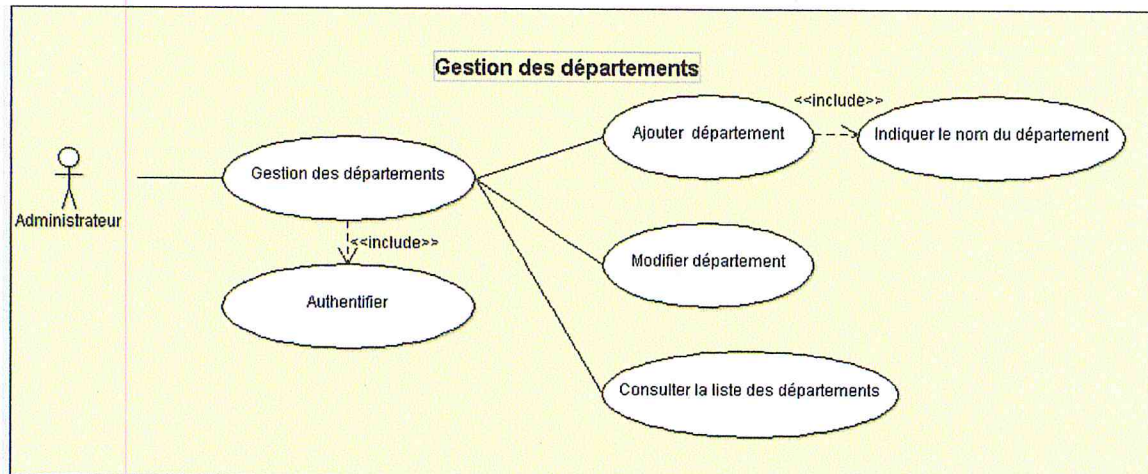


Figure 4.6 : Cas d'utilisation « Gestion des départements »

✚ Cas d'utilisation : « Gestion des branches »

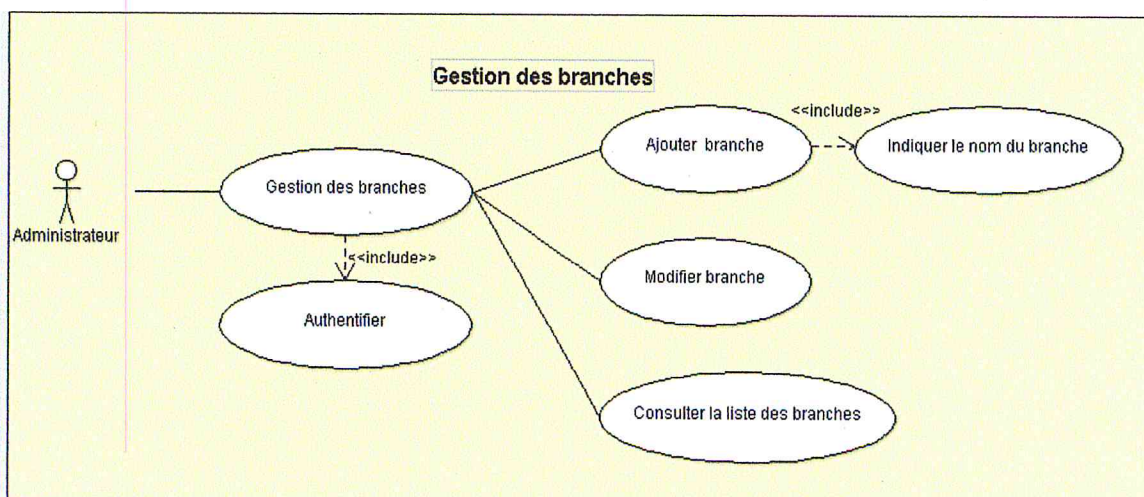


Figure 4.7 : Cas d'utilisation « Gestion des branches ».

✚ Cas d'utilisation : « Gestion des enseignants »

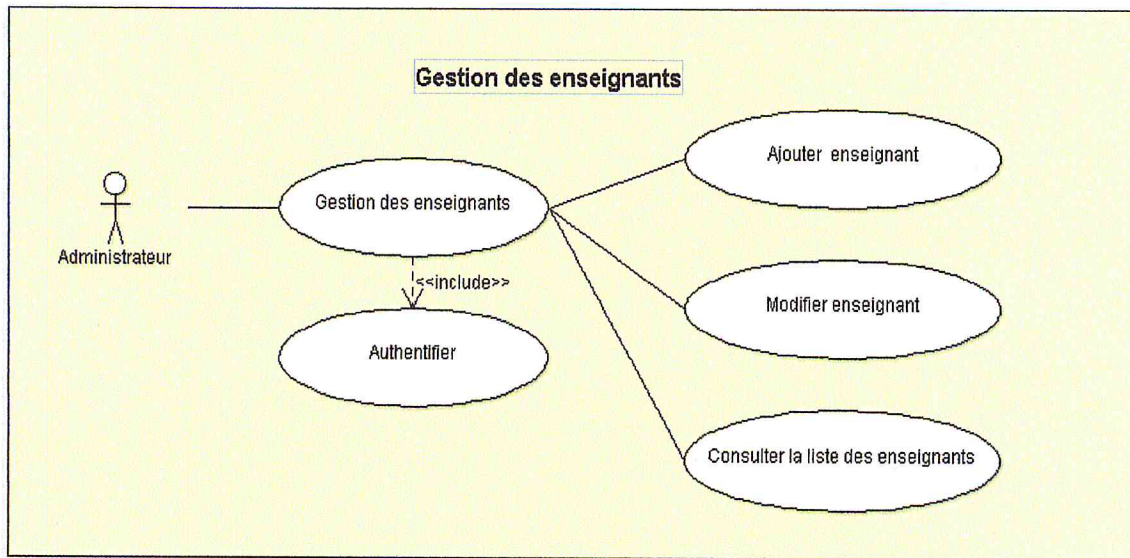


Figure 4.8 : Cas d'utilisation « Gestion des enseignants »

✚ Cas d'utilisation : « Gestion des apprenants »

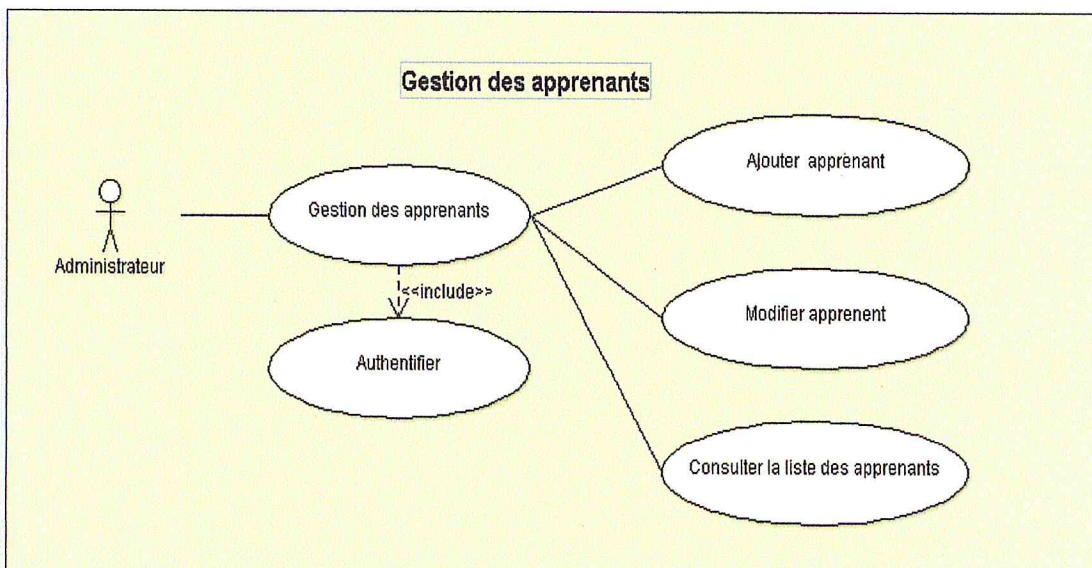


Figure 4.9 : Cas d'utilisation « Gestion des apprenants ».

✚ Cas d'utilisation : « Gestion des outils du cours »

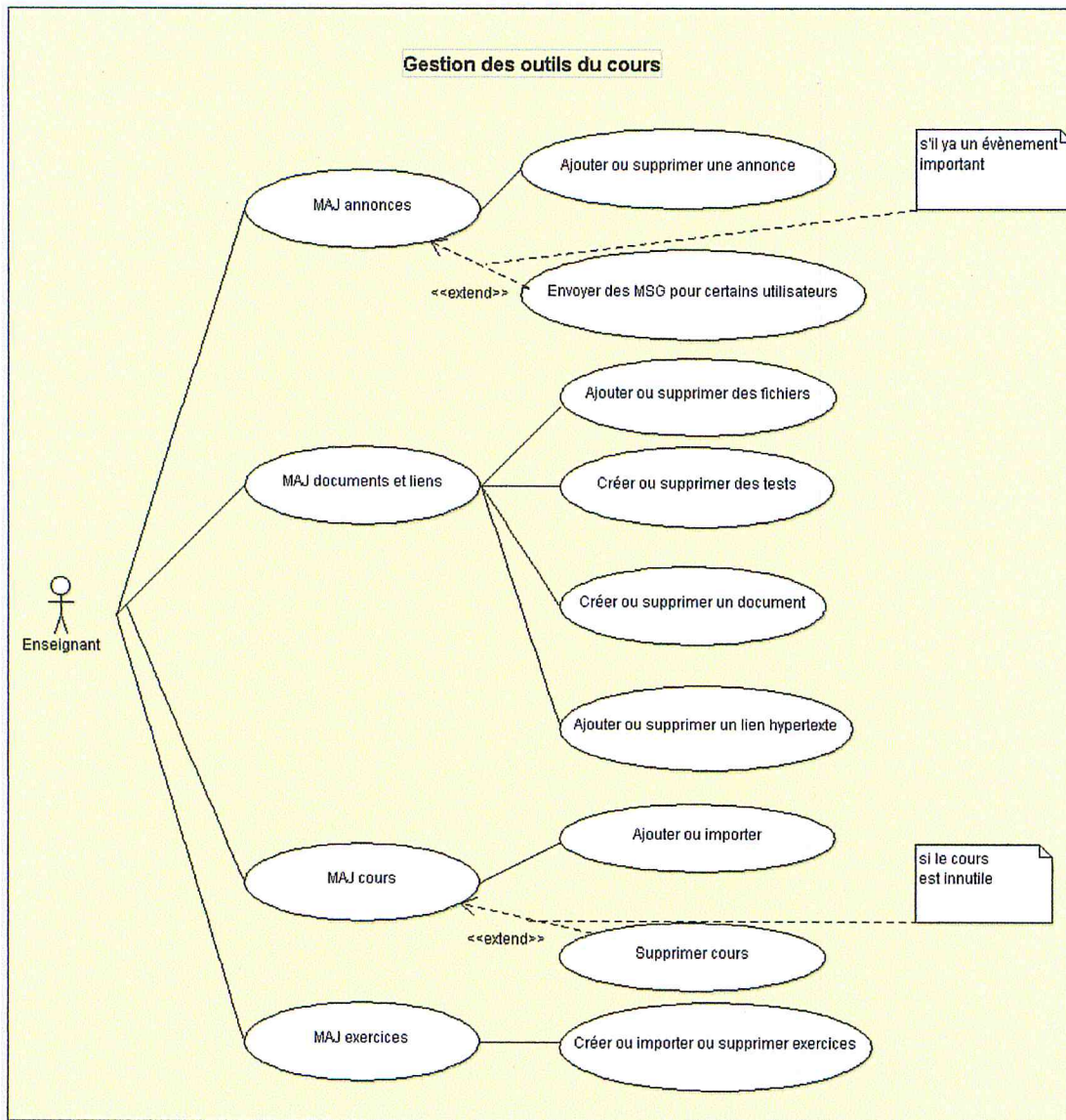


Figure 4.11 : Cas d'utilisation « Gestion des outils du cours ».

✚ Cas d'utilisation : « Inscription à un cours »

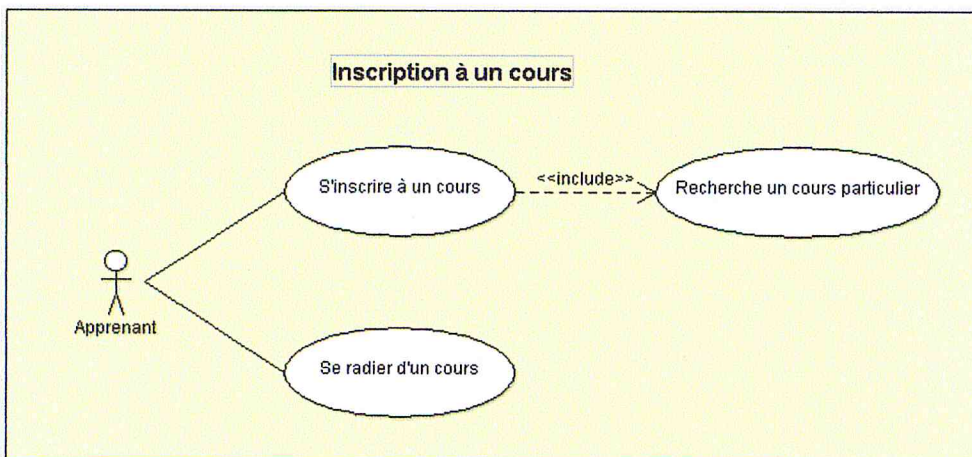


Figure 4.12 : Cas d'utilisation « Inscription à un cours ».

✚ Cas d'utilisation : « Consulter des outils du cours »

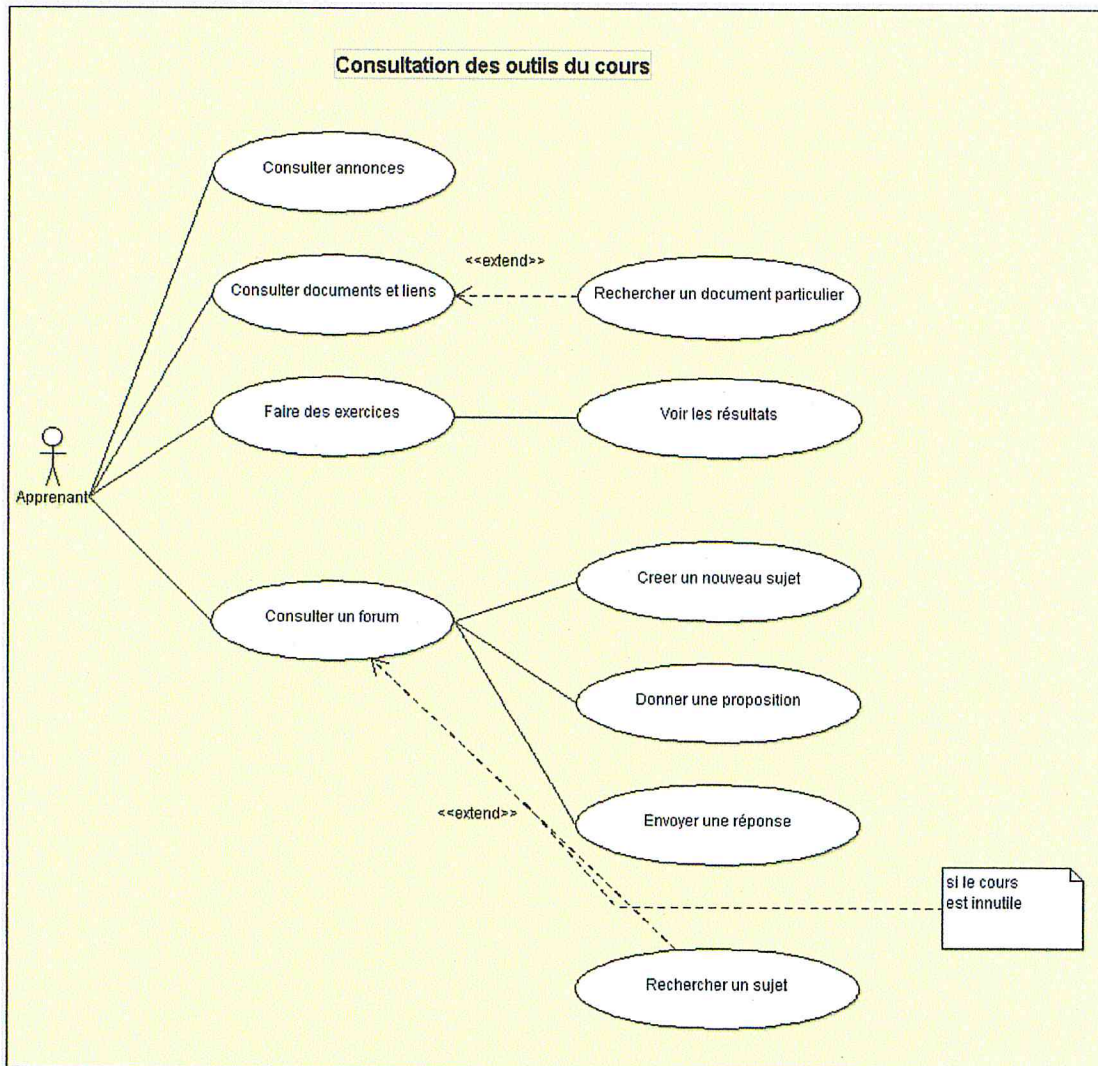


Figure 4.13 : Cas d'utilisation « Consultation des outils cours ».

✚ Cas d'utilisation : « Evaluation du comportement d'un apprenant »

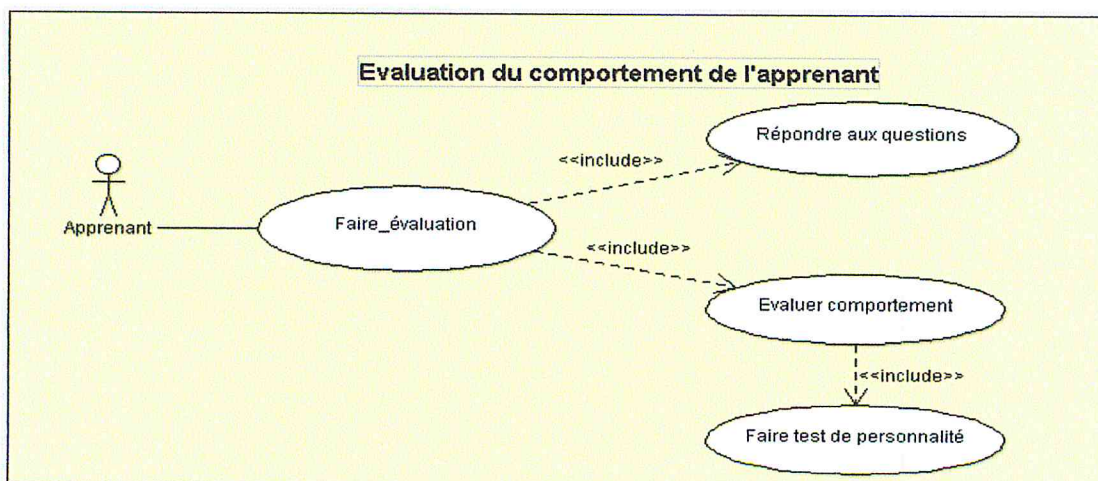


Figure 4.14 : Cas d'utilisation « Evaluation du comportement d'un apprenant ».

4.2 L'analyse

L'analyse répond à la question « que faut-il faire ? ». Cette étape a pour objectif de repérer les grands concepts d'informations gérées dans le domaine en utilisant le diagramme de classes.

- ❖ **Identification des classes :** une classe est la description formelle d'un ensemble d'objets ayant une sémantique et des propriétés communes.
- ❖ **Identification d'un diagramme de classe :** exprime la structure statique d'un système, en termes de classes et des relations entre ces classes. De même qu'une classe décrit un ensemble d'objets, une association décrit un ensemble de liens : les objets sont instances de classes et les liens sont instances des associations. Nous représentons dans le tableau ci-dessous les classes utilisées dans notre système, avec ses principaux concepts.

4.2.1 Dictionnaire de données :

Entités	Désignation des attributs	Code	Type	Méthodes
User	<u>Nom de l'utilisateur</u>	Username	Varchar(50)	-Ajouter user -Supprimer user
	<u>Mot de passe</u>	Password	Varchar(50)	
	Nom utilisateur	Nom	Varchar(45)	
	Prénom utilisateur	Prénom	Varchar(45)	
	Email utilisateur	Email	Varchar(45)	
	Téléphone utilisateur	Téléphone	Varchar(45)	
Apprenant	<u>Nom de l'apprenant</u>	Username	Varchar(50)	#Ajouter apprenant #Supprimer apprenant #Affecter privilège
	<u>Mot de passe</u>	Password	Varchar(50)	
	Nom apprenant	Nom	Varchar(45)	
	Prénom apprenant	Prénom	Varchar(45)	
	Email apprenant	Email	Varchar(45)	
	Téléphone apprenant	Téléphone	Varchar(45)	
Enseignant	<u>Nom de l'utilisateur</u>	Username	Varchar(50)	#Ajouter enseignant #Supprimer enseignant #Affecter privilège
	<u>Mot de passe</u>	Password	Varchar(50)	
	Nom enseignant	Nom	Varchar(45)	
	Prénom enseignant	Prénom	Varchar(45)	
	Email enseignant	Email	Varchar(45)	
	Téléphone enseignant	Téléphone	Varchar(45)	
Accès_cours	<u>Code Accès</u>	Code	Varchar(45)	
	Nombre d'accès	Nbr	Varchar(45)	
	Code apprenant	Code_app	Varchar(50)	
	Code module	Code_module	Int (10)	

Annonce	<u>Code d'annonce</u>	Code_annoce	Int(10)	#Ajouter annonce #Supprimer annonce
	Nom de l'utilisateur	Username	Varchar(50)	
	Code du module	Code_module	Int (10)	
	Contenu de l'annonce	Contenu	Test	
	Date d'annonce	Date	Varchar(45)	
Branche	<u>Nom de branche</u>	Nom_branche	Varchar (100)	#Ajouter branche #Supprimer branche
	Nom du département	Nom_departement	Varchar (50)	
Département	<u>Nom du département</u>	Non_departement	Varchar (50)	#Ajouter département #Supprimer département
	Nom de la faculté	Nom_faculté	Varchar (50)	
Faculté	<u>Nom de la faculté</u>	Nom_faculté	Varchar(50)	#Ajouter faculté #Supprimer faculté
Accès	<u>Code Droit accès</u>	Code	Varchar(50)	
	Nombre d'accès	Nbr	Int (10)	
	<u>Code apprenant</u>	code_app	Varchar(50)	
Commentaire	<u>Code du commentaire</u>	Code_comme ntaire	Int (10)	#Ajouter commentaire #Supprimer commentaire
	Code d'apprenant	Code_app	Varchar (50)	
	Contenu du commentaire	Contenu_com mentaire	Text	
	Code du sujet	Code_sujet	Int (10)	
Document	<u>Code du document</u>	Code_doc	Int (10)	#Ajouter document #Supprimer document
	Lien du document	Lien_doc	Varchar (100)	
	Nom du document	Nom_doc	Int (10)	
	Code du module	Code_module	Varchar (50)	

Inscrit_module	<u>Code d'apprenant</u>	Code_app	Varchar (50)	
	<u>Code du module</u>	Code_module	Int (10)	
Module	<u>Code du module</u>	Code_module	Int(10)	#Ajouter module #Supprimer module
	Nom du module	Nom_module	Varchar(100)	
	Code inscrit	Code_ins	Varchar(45)	
	Nom de la branche	Nom_branche	Varchar(100)	
Test	<u>Code du test</u>	Code_test	Int(10)	#Ajouter test #Supprimer test
	Nom du test	Nom_test	Varchar(100)	
	Code du module	Code_module	Int(10)	
Note	<u>Code apprenant</u>	Code_app	Varchar(50)	#Ajouter note #Supprimer note
	<u>Code module</u>	Code_module	Int(10)	#consulter note
	<u>Code test</u>	Code_test	Int(10)	
	Note	Note	Varchar(45)	
Question	<u>Code question</u>	Code_qst	Int(10)	#Ajouter question #Supprimer question
	Question	Qst	Varchar(1000)	
	Type question	Type_qst	Varchar(45)	
	Code test	Code_test	Int(10)	
	Note	Note	Int(10)	
Proposition	<u>Code proposition</u>	Code_prop	Int(10)	#Ajouter question #Supprimer question
	Proposition	Prop	Varchar(200)	
	Code question	Code_qst	Int (10)	
Réponse	<u>Code réponse</u>	Code_réponse	Int(10)	#Ajouter réponse #Supprimer réponse
	Réponse	Réponse	Varchar(200)	
	Code question	Code_qst	Int(10)	

Table 4.1 : Dictionnaire de donnée.

4.2.2 diagramme de classe

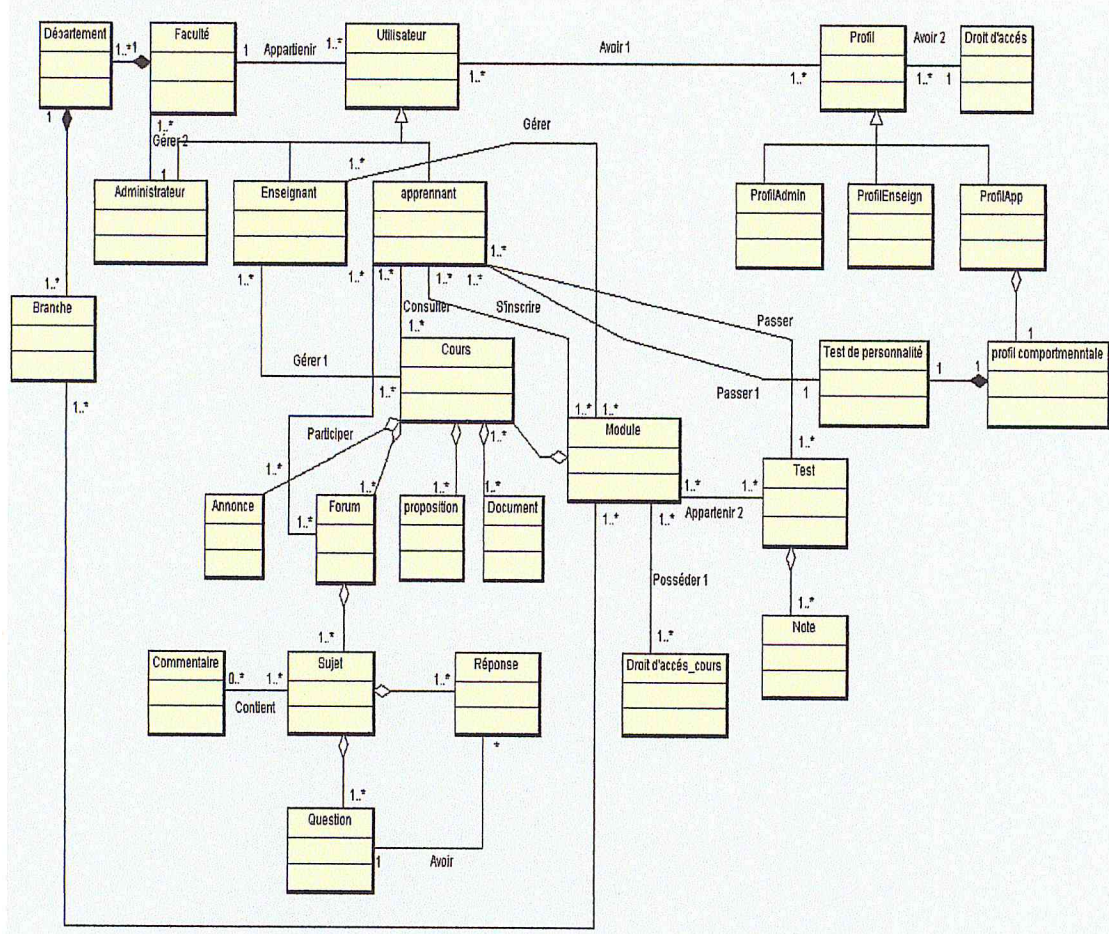


Figure 4.15: Diagramme de classe globale du notre système.

4.2.3 Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence est un diagramme d'interaction qui insiste sur l'enchaînement chronologique des messages. Nous décrivons dans cette partie quelques cas d'utilisations par des diagrammes de séquences accompagnés par des descriptions textuelles (scénarios).

Chaque cas d'utilisation se traduit par un certain nombre de scénarios. Et chaque scénario est ensuite décrit sous forme graphique à l'aide du diagramme de séquence.

✚ l'administrateur :

Scénario de cas d'utilisation « création d'un nouvel utilisateur » :

1. L'utilisateur s'identifie.
2. Après vérification du login et du mot de passe, le système autorise l'accès.
3. L'utilisateur demande la création d'un nouvel utilisateur.
4. Le système affiche un formulaire vide.
5. L'utilisateur remplir le formulaire.
6. Après le contrôle de validité des données tapées, le nouvel utilisateur est créé.

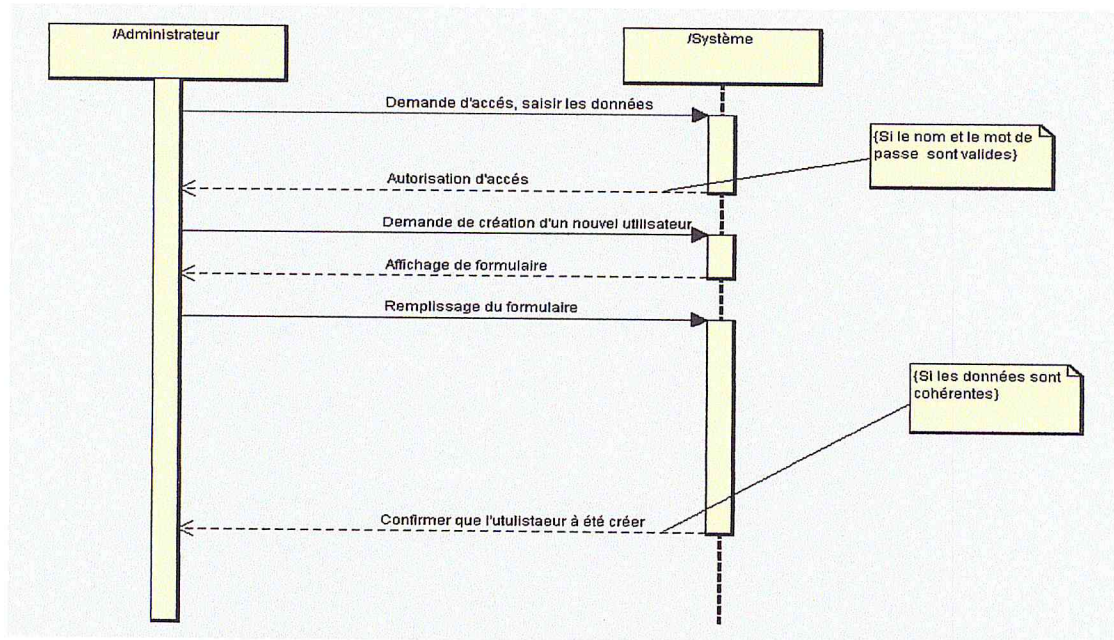


Figure 4.16 : Diagramme de séquence « Création d'un nouvel utilisateur ».

✚ Pour l'enseignant

Scénario du cas d'utilisation « Créer un cours »

1. L'enseignant s'identifie.
2. Après vérification du login et du mot de passe, le système l'accède.
3. L'enseignant demande la création d'un nouveau cours.
4. Le système affiche un formulaire de création de cours.
5. L'enseignant remplit les données nécessaires.
6. Le système crée le nouveau cours.

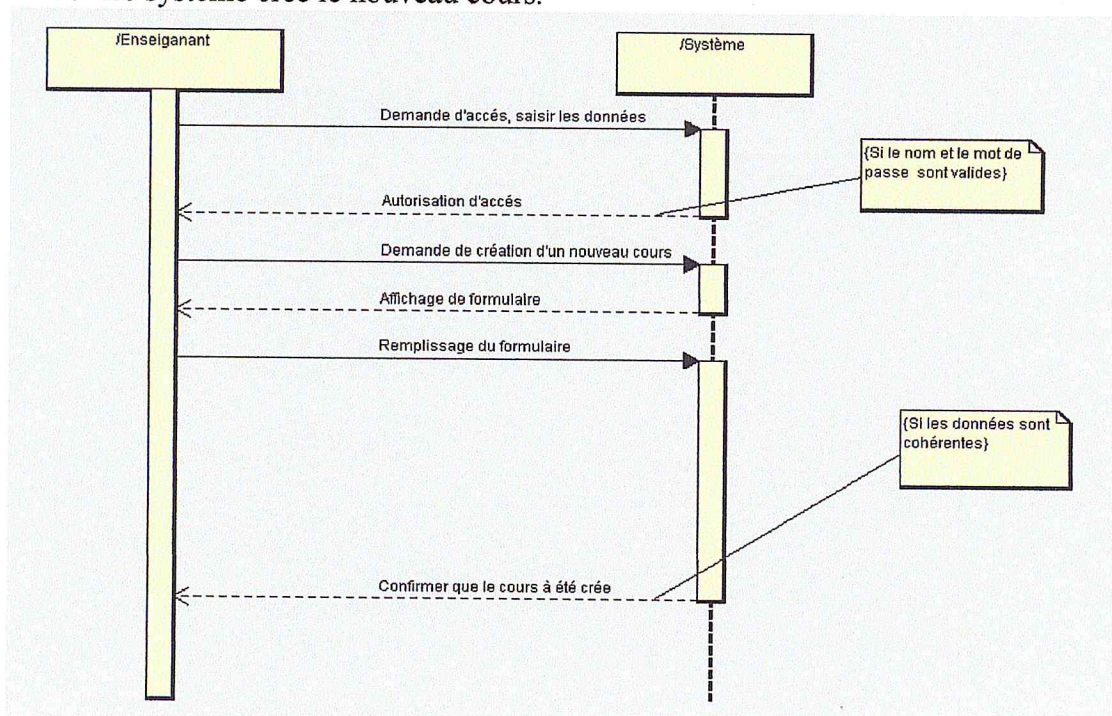


Figure 4.17 : Diagramme de séquence « Création d'un cours ».

✚ Pour l'étudiant

Scénario du cas d'utilisation « S'inscrire à un cours »

1. L'étudiant s'identifie.
2. Après vérification du login et du mot de passe, le système autorise l'accès.
3. L'étudiant demande l'inscription à un cours.
4. Le système demande le cours auquel l'étudiant veut s'inscrire.
5. L'étudiant choisit le cours et valide.
6. Le système vérifie que l'étudiant n'est pas inscrit à ce cours et valide l'inscription.

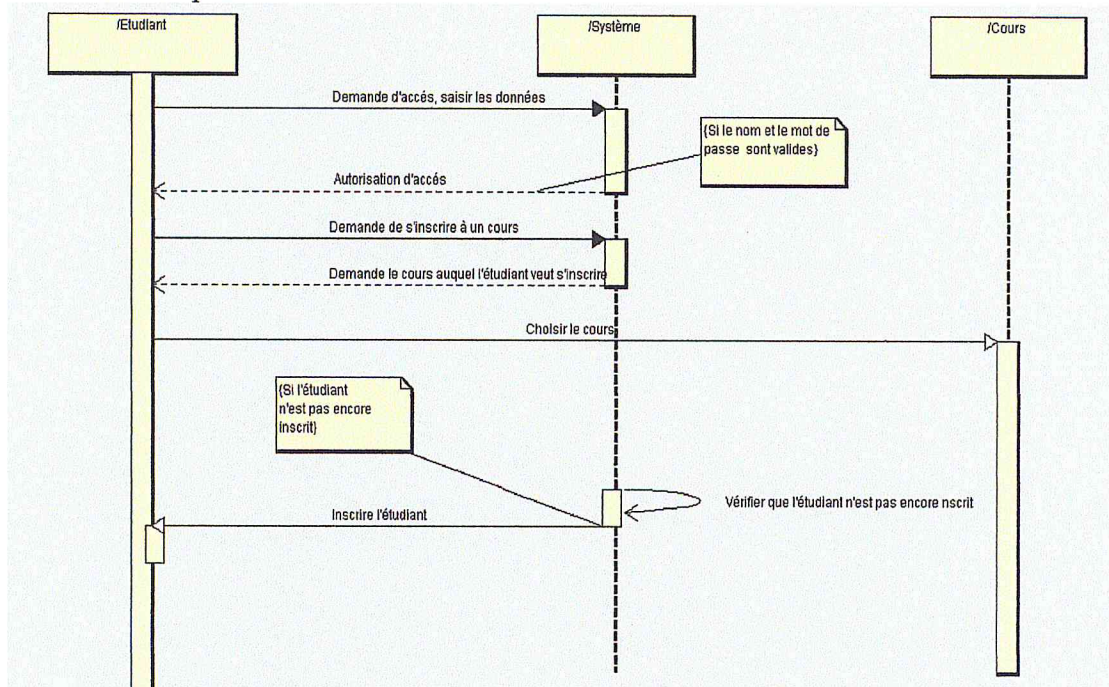


Figure 4.18: Diagramme de séquence « Inscrire à un cours ».

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons développé notre outil suivant le cycle de vie en cascade, en utilisant le langage de modélisation UML. On a commencé par la spécification des besoins, qui décrit les fonctionnalités du notre outil, présentés par les diagrammes des cas d'utilisation, diagrammes de séquence, suivie par l'analyse pour déterminer les éléments intervenants dans notre système en utilisant le diagramme de classe. On va entamer l'étape de conception en décrivant l'architecture du notre système dans le chapitre suivant.

Introduction

La conception, menée à la suite de l'analyse, répond à la question « comment faire ce qu'il faut faire ? ». Le processus de conception a pour but de figer les choix techniques (langages de programmation, algorithmes, architectures matérielles, etc.).

5.1 Conception globale

Une première étape dans le processus de conception d'un logiciel, elle définit l'architecture de notre système. Elle a pour but de décomposer l'application en un ensemble de modules (composantes) et de déterminer leurs fonctions.

Pour prédire la réaction émotionnelle de l'apprenant, nous définissons l'architecture représentée dans la figure ci-dessous. Cette figure représente le fonctionnement global de notre système, (plus précisément la prédiction de l'état émotionnelle de l'apprenant dans un environnement d'apprentissage à distance (e-Learning)).

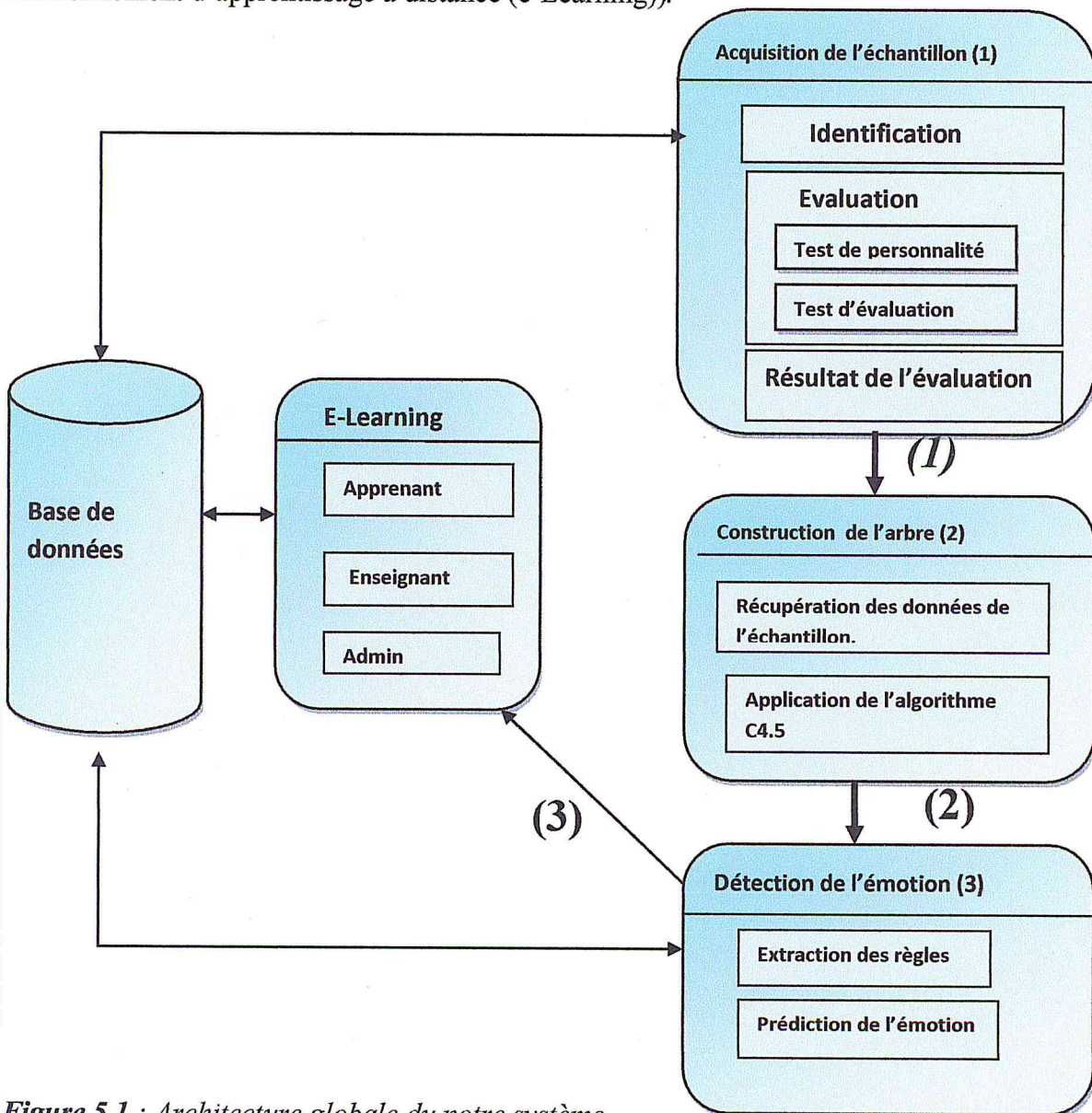


Figure 5.1 : Architecture globale du notre système.

La signification des flux existant entre les modules :

Indice flux	Description
(1)	Fournir les données personnelles de l'apprenant.
(2)	Fournir l'arbre de décision.
(3)	Fournir la classe d'émotion prédite

Tableau 5.1 : Description des les flux existants entre les modules du système.

L'Architecture globale du notre système se compose de trois modules principales qui interviennent selon l'ordre suivant :

- (1) Le module d'acquisition de l'échantillon
- (2) Le module de construction de l'arbre.
- (3) Le module de détection de l'émotion.

5.2 Conception détaillé

Dans cette étape, nous allons décrire les différents modules ainsi que leurs interactions qui constituent notre système.

Après la définition de l'architecture globale du notre système, nous pouvons constater que ce dernier se décompose principalement en deux sous-systèmes, le premier représente la partie de l'acquisition de l'échantillon et la construction de l'arbre, et le second concerne la partie de l'utilisation de l'arbre de décision afin de prédire les émotions.

Le déroulement du notre expérimentation va comme se suit :

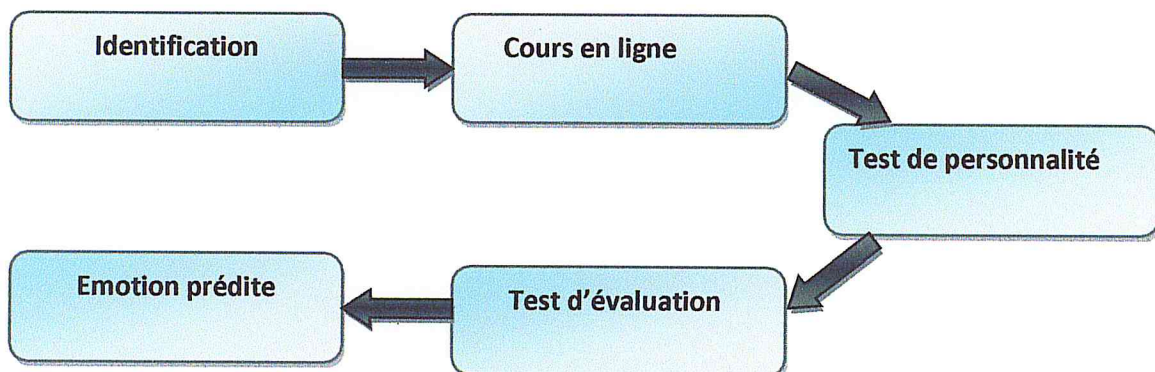


Figure 5.2 : Le déroulement de l'expérimentation.

5.2.1 Première partie : l'acquisition de l'échantillon et la construction de l'arbre

5.2.1.1 Le module d'acquisition de l'échantillon est responsable de collecter les données personnelles de l'apprenant par une interface utilisateur. Les données personnelles incluent le sexe, le niveau d'étude et la personnalité de l'apprenant. La dernière est obtenue après avoir passé un test de personnalité IPIP NEO (un inventaire de 120 questions basé sur le modèle « Big-five »).

A. Préparations de l'échantillon :

Pour que l'apprentissage soit réalisé, il faut tout d'abord préparer un échantillon d'un groupe d'apprenants. Pour cela, il faut le choix des apprenants, la récupération de leurs données personnelles (sexe, niveau d'étude).

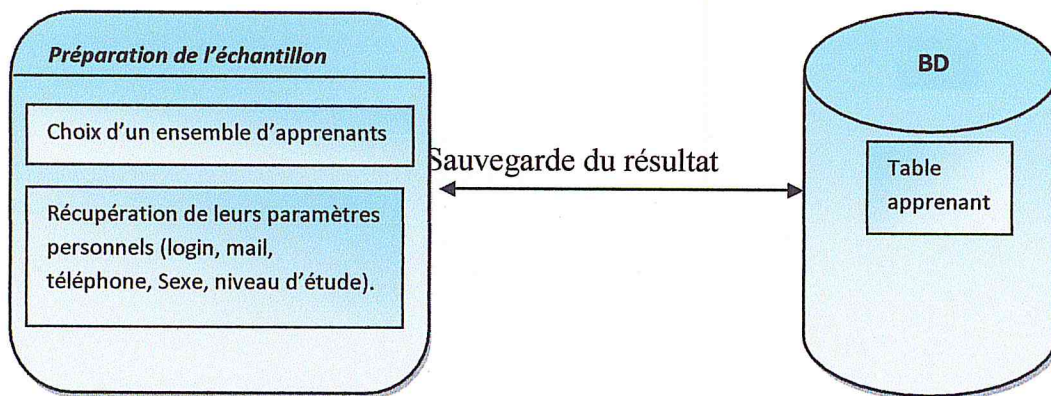


Figure 5.3. Architecture de la préparation de l'échantillon.

Paramètre	Valeurs
Sexe	Féminin ou masculin.
Niveau d'étude	Niveau master, niveau licence.

Tableau 5.2 : les paramètres à prendre en compte.

B. Cours en ligne :

Maintenant, après avoir préparé l'échantillon d'apprenant, nous présentons aux participants un cours en ligne.

C. Création du Profil comportemental de l'apprenant

Après la phase e-Learning (cours en ligne), l'apprenant va faire une évaluation comportementale, cette dernière constitue Profil comportemental de l'apprenant.

Le profil comportemental de l'apprenant est constitué à partir des réponses fournies sur le questionnaire de personnalité IPIP-NEO (un inventaire de 120 questions basé sur le modèle « Big-five »).

Les cinq facteurs (*Big Five*): [b-20][b-21]

- Le *Névrosisme* (N), caractérisé par la nervosité, la tension, l'irritabilité et d'une manière générale une propension à ressentir des affects négatifs ;
- l'*Extraversion* (E), caractérisée par la sociabilité, l'énergie, la confiance en soi, le goût pour l'aventure et une propension à ressentir des affects positifs ;
- l'*Agréabilité* (A), caractérisée par la gentillesse, la coopération, le fait d'être arrangeant, sympathique ;
- le caractère *Conscientieux* (C), caractérisé par la tendance à être organisé, fiable, appliqué, discipliné, non-impulsif ;
- l'*Ouverture* (O ; parfois aussi nommé *Intellect*), caractérisée par la curiosité, des intérêts larges et variés, le goût pour l'imagination, la culture et la créativité.

Les cinq facteurs retournés par le test de personnalité sont considérés comme paramètres d'un apprenant, Le schéma suivant nous résume ce que nous venons de dire.

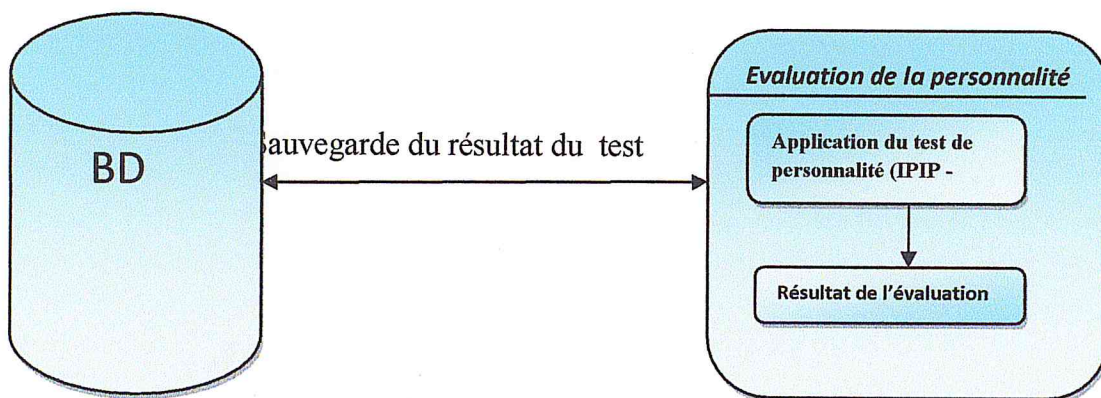


Figure 5.4. Architecture d'évaluation de la personnalité de l'apprenant.

Ainsi l'apprenant va faire un test d'évaluation pour mieux comprendre son état émotionnel courant. Ce test va nous aider à prédire l'émotion probable de l'apprenant après l'apprentissage.

Le schéma suivant nous résume ce que nous venons de dire

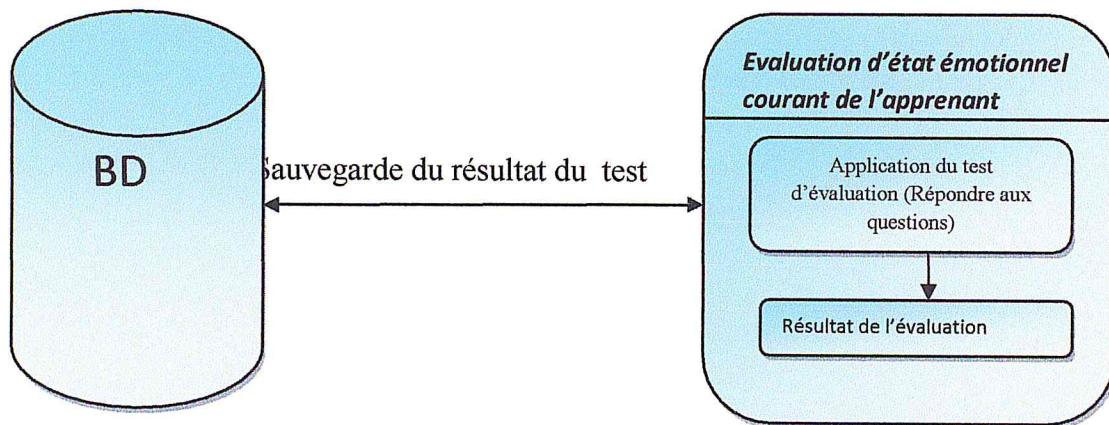


Figure 5.5. Architecture d'évaluation de l'état émotionnel courant de l'apprenant.

Avec toutes ces étapes on est arrivé à collecter l'ensemble de données personnelles de l'apprenant.

Exemple d'un échantillon collecté

Soit A un échantillon d'un groupe d'apprenants. Supposons qu'il est composé de 6 apprenants. On veut classer A selon 4 attributs {personnalité, sexe, niveau d'étude, classe d'émotion}.

La base d'apprentissage comporte 4 attributs :

- ✓ L'attribut personnalité : cet attribut peut prendre comme valeur les caractéristiques suivantes :

Le *Névrosisme* (N), l'*Extraversion* (E), l'*Agréabilité* (A), *Conscientieux* (C), l'*Ouverture* (O).

Personnalité = {e, a, c, n, o}.

- ✓ L'attribut sexe : le sexe prend deux valeurs soit **homme** ou **femme**.

Sexe = {h, f}.

- ✓ L'attribut catégorie apprenant : cet attribut représente le niveau d'étude de l'apprenant. Il peut prendre 2 valeurs master ou License

Catégorie apprenant = {m, l}.

- ✓ L'attribut classe : On a classifié les émotions des apprenants selon les quartes émotions de bases La joie ; La tristesse ; La colère ; Le dégoût.

Classe= {joie, tristesse, colère, dégoût}.

A= {{Appr_1, homme, extraversion, master, tristesse}, {Appr_2, homme, extraversion, licence, tristesse}, {Appr_3, femme, extraversion, master, dégoût}, {Appr_4, homme, agréable, master, joie}, {Appr_5, femme, nervosisme, master}, {Appr_6, homme, ouverture, master, dégoût}}.

Apprenants	Sexe	personnalité	Niveau d'étude	Classe
Appr_1	h	e	m	tristesse
Appr_2	h	e	l	tristesse
Appr_3	f	e	m	degout
Appr_4	h	a	m	joie
Appr_5	f	n	m	colère
Appr_6	H	o	m	dégout

Tableau5.3 : un ensemble de données collectées.

5.2.1.2 Le module construction de l'arbre de décision :

- ⇒ Après avoir collecté les données de l'apprenant, le module construction de l'arbre est déclenché par le système et consiste à appliquer l'algorithme C4.5 aux données stockées dans la base de données pour produire un arbre de décision.

Le déroulement de l'algorithme C4.5

Pour construire l'arbre, l'algorithme C4.5 calcule le gain d'information pour chaque attribut afin de choisir celui avec la valeur la plus élevée.

- ✓ Le gain d'information est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Gain}(S,A) = E(S) - \sum_v \left(\frac{|S_v|}{|S|} * E(S_v) \right)$$

Avec :

- ✓ S est un ensemble d'entraînement.
- ✓ A est l'attribut cible.
- ✓ S_v le sous-ensemble des éléments dont la valeur de l'attribut A est v .
- ✓ $|S_v|$ = nombre d'éléments de S_v .
- ✓ $|S|$ = nombre d'éléments de S .

Avant de calculer le gain d'information, nous avons déterminé la première fois **l'entropie** qui mesure à quel point un attribut peut être informatif pour la classification.

- ✓ L'entropie est calculée selon la formule de l'entropie de Shannon :

$$E(S) = - \sum_{j=1}^{|S|} p(j) \log_2 p(j)$$

- ✓ **Affecter une classe à une feuille** : On attribue la classe majoritaire.
- ✓ Utiliser l'ensemble d'apprentissage pour élaguer l'arbre obtenu. Le critère d'élagage est basé sur une heuristique permettant d'estimer l'erreur réelle sur un sous-arbre donné.

L'arbre de décision produit par l'application de l'algorithme C4.5 sera employé par la composante Extraction des règles.

5.2.2 La deuxième partie : l'utilisation de l'arbre de décision afin de prédire les émotions.

- ⇒ Dans cette partie, **la composante d'extraction des règles** est lancée automatiquement pour extraire des règles à partir de l'arbre de décision produit par le module Construction de l'arbre de décision.
- ⇒ Quand les nouvelles règles sont stockées dans la base des données, **la composante de prédiction de l'émotion de l'apprenant** peut alors se déclencher pour prédire l'émotion de l'apprenant en utilisant ces règles.

5.3 Exemples complet sur la prédiction de l'émotion

Nous citons un exemple réaliste d'un système de reconnaissance d'émotions lorsqu'une personne embarque dans une voiture. Supposons que le système dispos d'une description de la personnalité du conducteur, obtenue suite à un questionnaire de personnalité administré à priori. Supposons que le système puisse reconnaître la désirabilité de la situation selon les gestes du conducteur, le ton de sa voix, ou encore les traits de son visage, perçus à l'aide d'une caméra et d'un microphone intégrés. Supposons également que le système sache reconnaître si une situation est attendue ou non suite aux réactions du conducteur (un freinage brusque, une parole prononcée dénotant un état de surprise).

❖ Première partie : l'acquisition de l'échantillon et la construction de l'arbre

Conducteur	Désirabilité	personnalité	Surprise	Classe
Cond_1	Situation désirable	Extravertie	Situation attendue	Emotion positive
Cond_2	Situation indésirable	Extravertie	Situation attendue	Emotion négative
Cond_3	Situation inconnue	Extravertie	Situation inattendue	Emotion négative
Cond_4	Situation inconnue	Non extravertie	Situation inattendue	Emotion négative
Cond_5	Situation inconnue	Extravertie	Situation attendue	Emotion positive

Tableau5.4 : représentation de l'ensemble de données collectées pour les 5 conducteurs.

On a un échantillon d'un groupe de cinq conducteurs

- ⇒ Premièrement, il faut choisir la racine de l'arbre.
- ⇒ Pour cela, nous allons choisir l'attribut qui a le plus grand gain d'information, nous devons d'abord calculer l'entropie des exemples d'entraînement.

$$Gain(S, A) \equiv Entropie(S) - \sum_{v \in V(A)} \frac{|S_v|}{|S|} Entropie(S_v)$$

$$Entropie(S) \equiv \sum_{i=1}^c (-p_i) \log_2(p_i)$$

S : les exemples d'entraînement {cond_1, cond_2, cond_3, cond_4, cond_5}.

A : l'attribut à tester (Désirabilité, Personnalité, Surprise).

$V(A)$: les valeurs possibles de l'attribut A .

Par exemple l'attribut désirabilité peut prendre 3 valeur {Situation désirable, Situation indésirable, Situation inconnue}

S_v : le sous-ensemble de S qui contient les exemples qui ont la valeur v pour l'attribut A .

c : le nombre de valeurs possibles pour la fonction visée.

p_i : la proportion des exemples dans S qui ont i comme valeur pour la fonction visée

Il y a 1 exemple positifs et 2 exemples négatifs, donc nous obtenons une entropie de:

$$E(S) = (-2/5) \log_2 (2/5) + (-3/5) \log_2 (3/5) = 0.70.$$

⇒ Maintenant, nous allons calculer le gain d'information pour le premier attribut, l'attribut désirabilité.

Cet attribut a 3 valeurs possibles, donc les exemples d'entraînement seront regroupés en 3 sous-ensembles.

-Nous commençons donc par calculer l'entropie des 3 sous-ensembles:

$$E(S_{\text{situation désirable}}) = (-1/1) \log_2 (1/1) + (-0/1) \log_2 (0/1) = 0$$

$$E(S_{\text{situation non désirable}}) = (-0/1) \log_2 (0/1) + (1/1) \log_2 (1/1) = 0$$

$$E(S_{\text{situation inconnue}}) = (-1/3) \log_2 (1/3) + (2/3) \log_2 (2/3) = 0.158.$$

-Le calcul du gain d'information pour l'attribut personnalité va donc donner:

$$\text{Gain}(S, \text{désirabilité}) = 0.7 - ((1/5) * E(S_{\text{situation désirable}}) + (1/5) * E(S_{\text{situation indésirable}}) + (3/5) * E(S_{\text{situation inconnue}})) = -((1/5) * 0 + (1/5) * 0 + (3/5) * 0.158) = 0.7 - 0.094 = 0.606.$$

$$\text{Gain}(S, \text{désirabilité}) = 0.606.$$

On calcul le gain de la même manière pour les deux autres attributs.

⇒ Après le calcul de gain de chaque attribut on a trouvé que L'attribut qui a le plus grand gain d'information est l'attribut **désirabilité**, donc se sera la racine de l'arbre de décision.

⇒ En séparant les exemples selon les valeurs de l'attribut **désirabilité**, on obtient l'arbre partiel:

+ : signifie Emotion positive.

- : signifie Emotion négative.

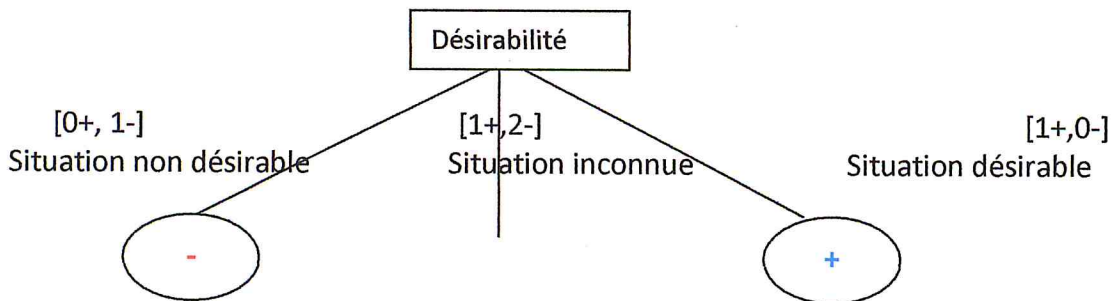


Figure 5.6 : représentation de sous arbre de l'attribut désirabilité.

- ⇒ On peut voir que lorsque la désirabilité est à situation désirable, il reste uniquement des exemples positifs, donc ce nœud devient une feuille avec une valeur d'émotion positive pour la fonction visée. Aussi lorsque la désirabilité est à situation indésirable, il reste uniquement des exemples négatifs, donc ce nœud devient une feuille avec une valeur d'émotion négative pour la fonction visée
- ⇒ Pour le nœud restant (situation inconnue), il y a encore des exemples positifs et négatifs, alors il faut recommencer le même calcul du gain d'information, mais avec les sous-ensembles restants.
- ⇒ En effectuant les calculs restants, on obtient l'arbre de décision finale suivante:

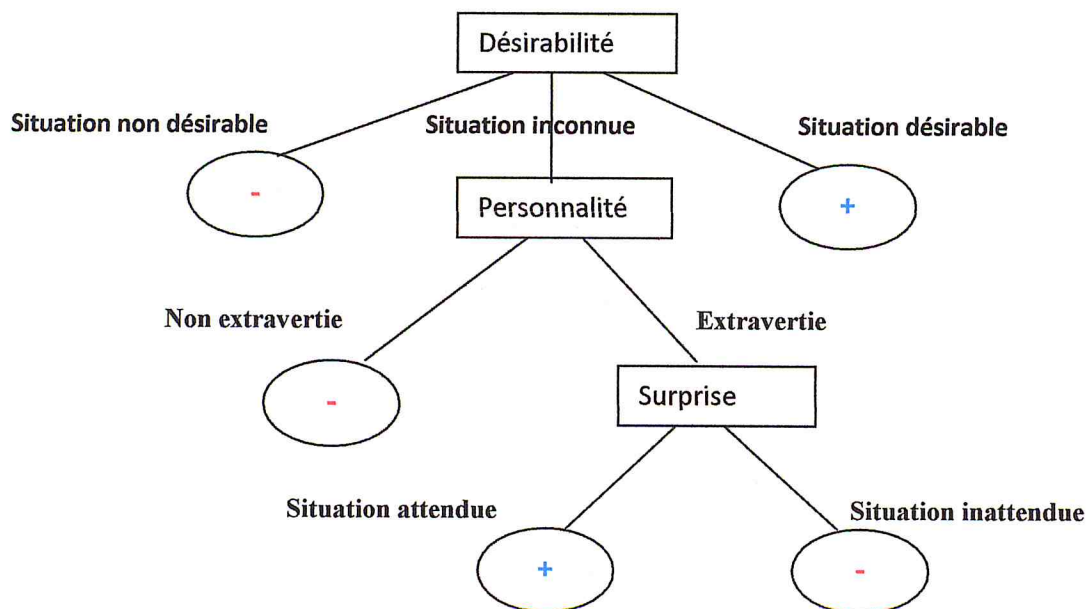


Figure 5.7 : arbres de décision d'un système de reconnaissance d'émotions d'un conducteur qui embarque dans une voiture.

La deuxième partie : l'utilisation de l'arbre de décision afin de prédire les émotions.

- ⇒ Après la collection des données des conducteurs et la construction de l'arbre de décision associés Nous allons maintenant interpréter les règles de l'arbre de décision afin d'extraire l'émotion ressentie par le conducteur.
- ⇒ L'arbre est interprété comme un ensemble de règles ou chemins, allant de la racine aux feuilles.
- ⇒ **Les règles extraites à partir de l'arbre représenté précédemment sont :**
 - ✓ Par exemple, le premier chemin de l'arbre à partir de la droite indique que si la situation vécue par une personne est désirable alors l'émotion est à dominance positive.
 - ✓ le premier chemin de l'arbre à partir de la gauche indique que si la situation vécue par une personne est indésirable alors l'émotion est à dominance négative.
 - ✓ si la situation vécue par une personne est inconnue et personnalité est extravertie alors l'émotion est à dominance négative.
 - ✓ La règle relative au deuxième chemin est comme suit :

**Si désirabilité = inconnue et personnalité = extravertie et surprise = inattendue
Alors émotion = négative.**

**Si désirabilité = inconnue et personnalité = extravertie et surprise = attendue
Alors émotion = positive.**

- ⇒ À partir de ces informations, si le système reconnaît le deuxième chemin de notre arbre débouchant sur une émotion négative, on s'attend à ce qu'il réagisse pour calmer ou reconforter le conducteur à temps, avant que la situation ne s'aggrave et n'entraîne un accident. et c'est ça le but de la prédiction de l'émotion du conducteur qui embarque dans une voiture

Conclusion

Ce chapitre a comme objectif de mieux représenter le fonctionnement du système, et cela à l'aide d'une architecture globale du notre système qui se devise en modules. On à détailler chaque module de l'architecture avec un exemple d'application.

On va implémenter La solution retenue au niveau de la phase de conception (architecture), dans le chapitre suivant (implémentation).

Introduction :

L'implémentation consiste à implémenter la solution retenue au niveau de la phase de conception, c'est la phase au cours de laquelle les structures et les algorithmes définis pendant la conception sont traduits dans un langage de programmation et/ou une BDD. En effet elle nous donne un ensemble des spécifications du futur système tel que attendu par l'utilisateur. C'est la mise en forme pratique de ces spécifications pour la réalisation de l'application.

Nous avons opté pour l'architecture 3tiers comme solution, ce qui veut dire qu'on doit accéder à notre application à distance à partir des pages web. Cette dernière a été créée à l'aide du langage java et spécifiquement à l'aide de la Plate-forme J2EE (Java 2 Enterprise Edition), qui est une norme permettant à des sociétés tierces de développer leur propre serveur d'application, qui implémente totalement ou partiellement les spécifications de SUN. J2EE est caractérisée comme étant simple, orientée objet, interprétée, distribuée, robuste, sécurisée, portable, et multitâches. Aujourd'hui, Java et la plate-forme J2EE apportent une solution unique, fiable et efficace au développement et la mise en œuvre d'applications web et d'applications distribuées à base de technologies modernes, tout en leur permettant d'accéder à des systèmes hôtes existants.

6.1 L'architecture du notre système

L'architecture 3-tiers ou architecture à trois niveaux est l'application du modèle plus général qu'est le multi-tiers. L'architecture logique du système est divisée en trois niveaux ou couches :

- ✓ *Couche présentation.*
- ✓ *couche métier.*
- ✓ *couche accès aux données.*

C'est une extension du modèle client/serveur.

6.1.1 Définition et concepts :

L'architecture 3-tiers (de l'anglais tier signifiant étage ou niveau) est un modèle logique d'architecture applicative qui vise à séparer très nettement trois couches logicielles au sein d'une même application ou système, à modéliser et présenter cette application comme un empilement de trois couches, étages, niveaux ou strates dont le rôle est clairement défini :

- La couche **présentation** (ou affichage si l'on souhaite) associée au client qui de fait est dit "léger" dans la mesure où il n'assume aucune fonction de traitement à la différence du modèle Client / Serveur ou 2-tiers.
- La couche **métier** : c'est une couche fonctionnelle liée au serveur, comprend le serveur d'applications ou middleware ou encore serveur intermédiaire, qui dans de nombreux cas est un serveur Web muni d'extensions applicatives;
- La couche **accès aux données persistantes**: correspondant aux données qui sont destinées à être conservées sur la durée, voire de manière définitive. Elle est liée au serveur de base de données (SGBD).

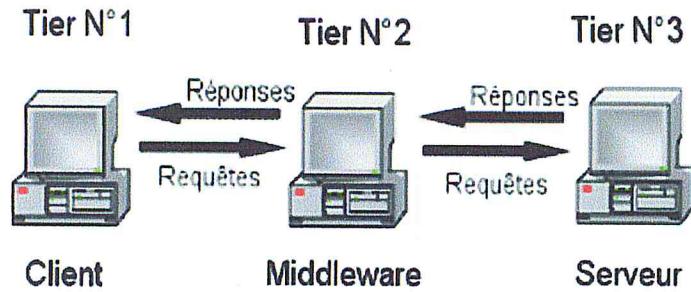


Figure 6.1 : L'architecture 3-tiers

6.1.2 Avantages et inconvénients de l'architecture 3-tiers

Les avantages d'une architecture 3-tiers

- 1) Les avantages de l'architecture 3-tiers sont principalement au nombre de quatre : Les requêtes clients vers le serveur sont d'une plus grande flexibilité que dans celles de l'architecture 2-tiers basées sur le langage SQL.
- 2) Cette flexibilité permet à une entreprise d'envisager dans le cadre d'une architecture 3-tiers une grande souplesse pour l'introduction de toutes nouvelles technologies.
- 3) D'un point de vue développement, la séparation qui existe entre le client, le serveur et le SGBD permet une spécialisation des développeurs sur chaque tiers de l'architecture.
- 4) Plus de flexibilité dans l'allocation des ressources; la portabilité du tiers serveur permet d'envisager une allocation et ou modification dynamique aux grés des besoins évolutifs au sein d'une entreprise.

Inconvénients d'une architecture 3-tiers

- 1) Une expertise de développement à acquérir qui semble plus longue que dans le cadre d'une architecture 2-tiers.
- 2) Les coûts de développements d'une architecture 3-tiers sont plus élevés que pour du 2-tiers, au début semble t'il, d'après une étude du cabinet Gartner. [w-14]

6.1.3 Fonctionnalités des couches :

6.1.3.1 La couche présentation (premier niveau) : elle répond à l'interface homme machine, en informatique, elle peut être réalisée par une application graphique ou textuelle. Elle peut aussi être représentée en (html) pour être exploitée par un navigateur web. La couche présentation relaie les requêtes de l'utilisateur à destination de la couche métier et présente les informations renvoyées par les traitements de cette couche .il s'agit donc ici d'un assemblage de services métiers et applicatifs offerts par la couche inférieure.

6.1.3.2 La couche Métier/Business (second niveau)

Elle correspond à la partie fonctionnelle de l'application, celle qui implémente la « logique », et qui décrit les opérations que l'application opère sur les données en fonction des requêtes des utilisateurs. Les différentes règles de gestion et de contrôle du système sont mises en œuvre dans cette couche. La couche métiers offre des services applicatifs à la couche présentation. Pour fournir ces services, elle s'appuie sur les données du système.

Dans notre système l'Apache Tomcat joue le rôle de serveur web. Les diverses classes qui constituent le noyau de l'application sont implémentées en Java. Le pilote JDBC-ODBC (où JDBC signifie *Java DataBase Connectivity* et ODBC signifie *Open Database Connectivity* en anglais) a été utilisé pour la connexion à la base de données MySQL.

6.1.3.3 La couche Accès aux données (troisième niveau) :

Elle gère l'accès aux données du système. Ces données peuvent être propres au système, ou gérées par un autre système. Les données accédées sont par exemple les scénarios, les stratégies et les informations personnelles. Elle accède aux données de manière uniforme. Nous avons utilisé MySQL Server pour gérer notre base de données.

Notre système implémenté possède une architecture logique à trois niveaux illustré dans la figure 6.2

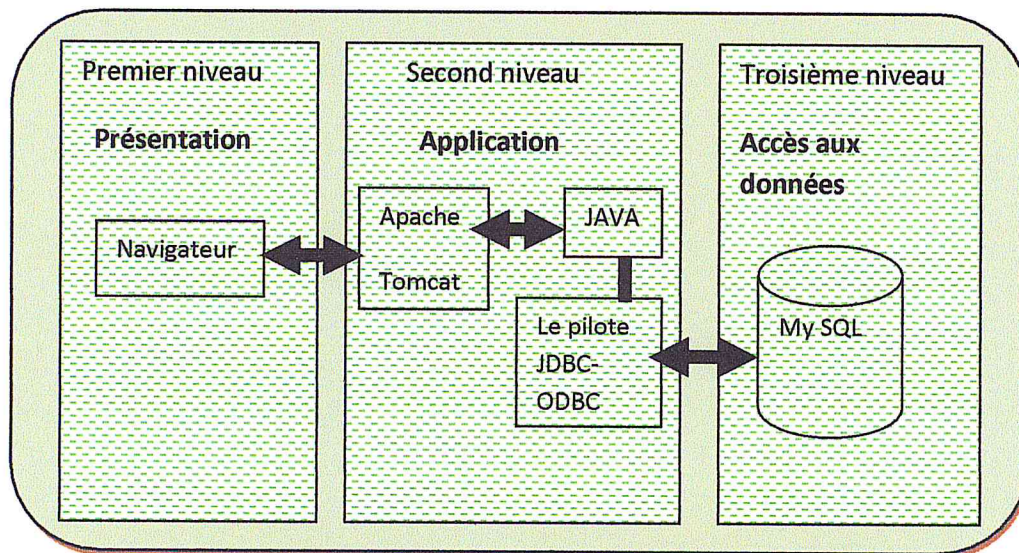


Figure 6.2: L'architecture logique à trois niveaux du notre système.

6.2 Environnement et technologies de développement utilisés

Pour implémenter le système, nous avons utilisé la technologie JSP (*Java Server Pages*) avec Java comme langage de programmation et Apache Tomcat comme serveur web. Pour le développement des pages web, nous avons employé du HTML. L'outil de développement utilisé a été l'environnement de développement Eclipse J2EE. Pour la base de données, nous avons utilisé MySQL Server. Le tableau 6.1 ci-dessous énumère ces technologies.

	<i>Produit utilisé</i>
<i>Technologie</i>	JSP (<i>Java Server Pages</i>)
<i>Environnement</i>	Eclipse (Plateforme J2EE).
<i>Système d'exploitation</i>	Windows Seven
<i>Base de données</i>	MySQL Server
<i>Langage</i>	Java, HTML, CSS.

Tableau 6.1: Technologies utilisées.

6.3 Présentations des interfaces de la plateforme

6.3.1 Installation de la plateforme :

Pour installer la plateforme on doit passer par les étapes suivantes :

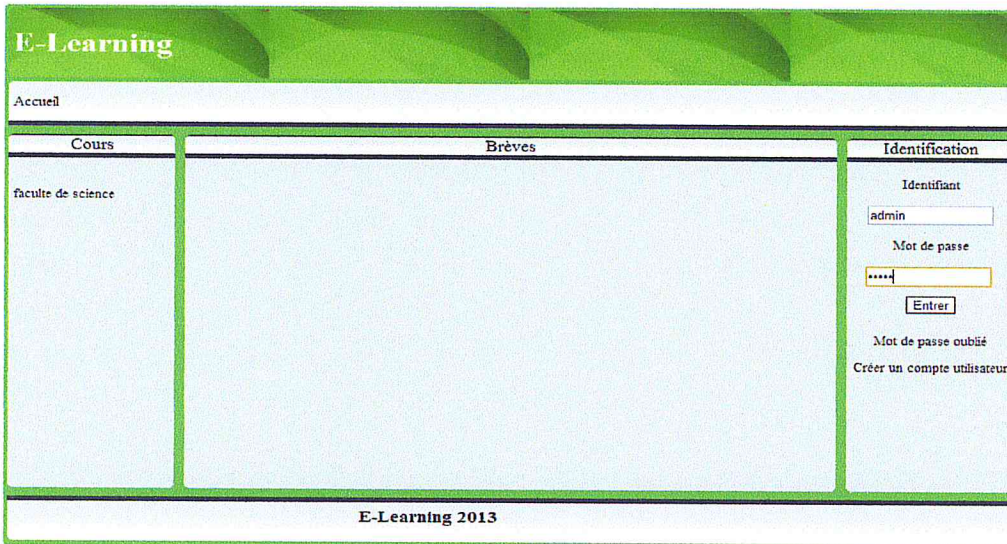


Figure 6.3 : Identification de l'utilisateur

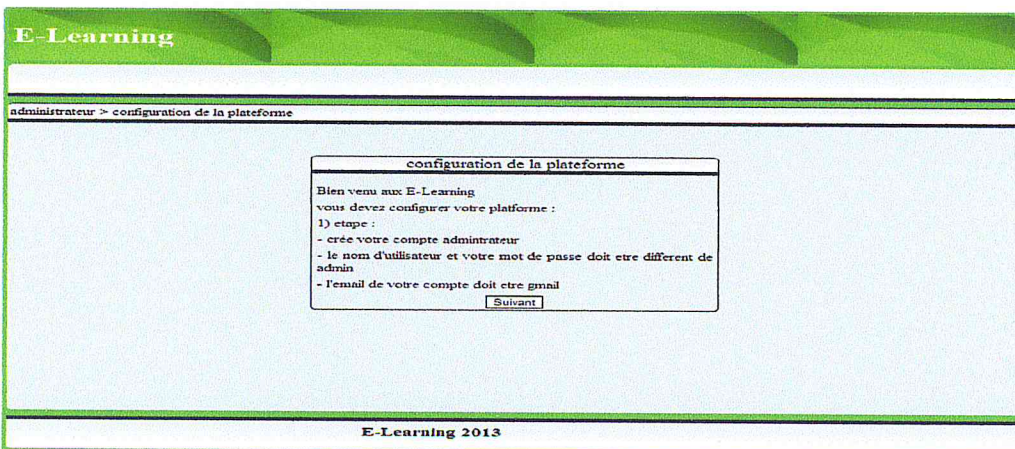


Figure 6.4 : vérification des paramètres de configuration.

E-Learning

Accueil > Nouveau compte d'administrateur

Créer un compte

Nom d'utilisateur :

Mot de passe :

nom :

prenom :

email :

telephone:

pays :

E-Learning 2013

Figure 6.5 : détermination des paramètres de l'administrateur (créer compte administrateur).

E-Learning

Accueil > Compte

Compte

Cher houcine guerrab, vos paramètres personnels ont été enregistrés.vous avez terminer tous les etapes d'instalation plateforme

E-Learning 2013

Figure 6.6 : validation des paramètres de configuration de la plateforme.

6.3.2 La page d'accueil

Après l'installation de la plateforme, l'utilisateur va se retrouve dans la page d'accueil de la plateforme, il doit se ré-identifier pour accéder aux outils de la plateforme.

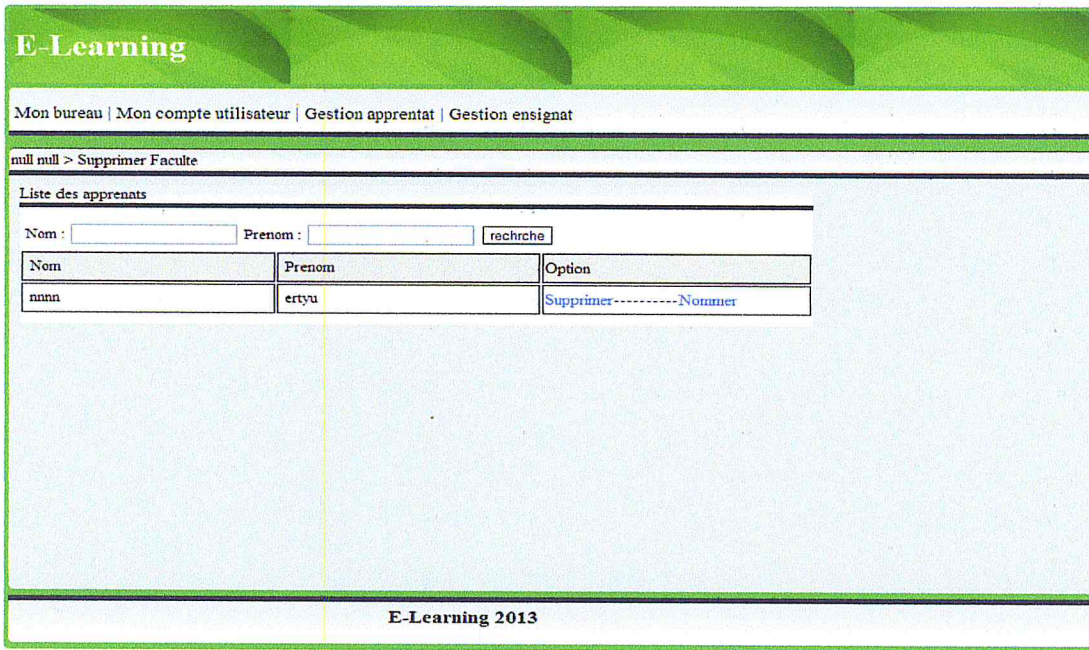


Figure 6.9 : supprimé, recherché, affecté droit d'accès à l'apprenant.

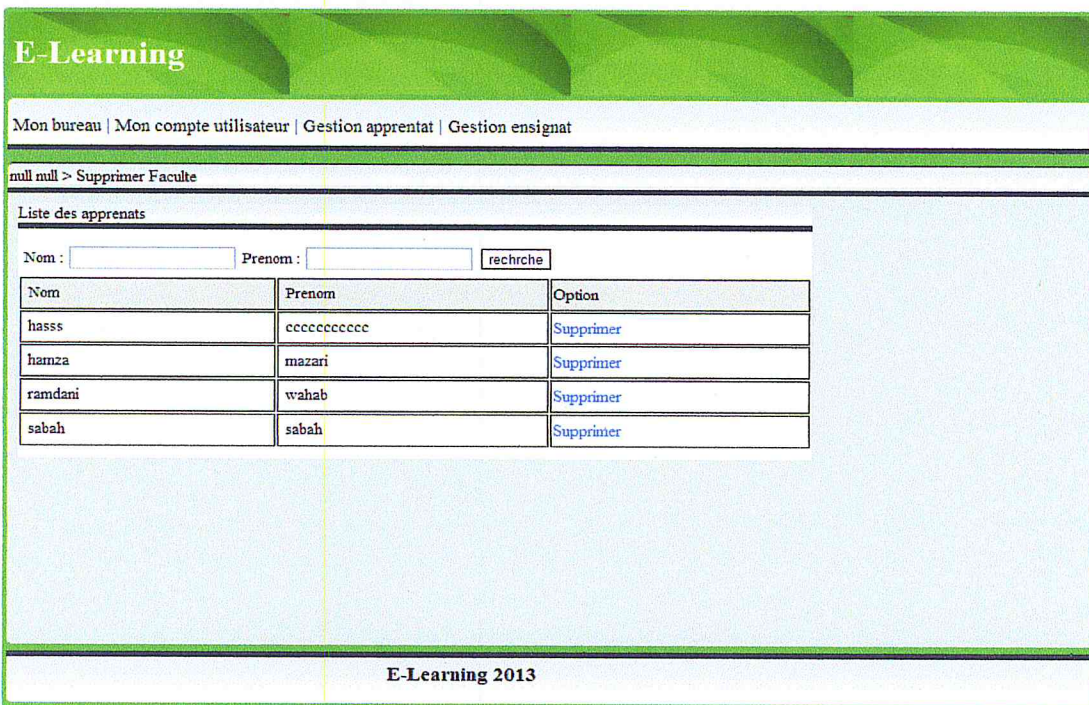


Figure 6.10 : Consultation de La liste des apprenants.

6.3.4 Gestion des cours

L'enseignant à le droit de :

- ✓ Créer cours ;
- ✓ Supprimer cours ;
- ✓ Rechercher un cours ;
- ✓ Gestion des outils de cours.

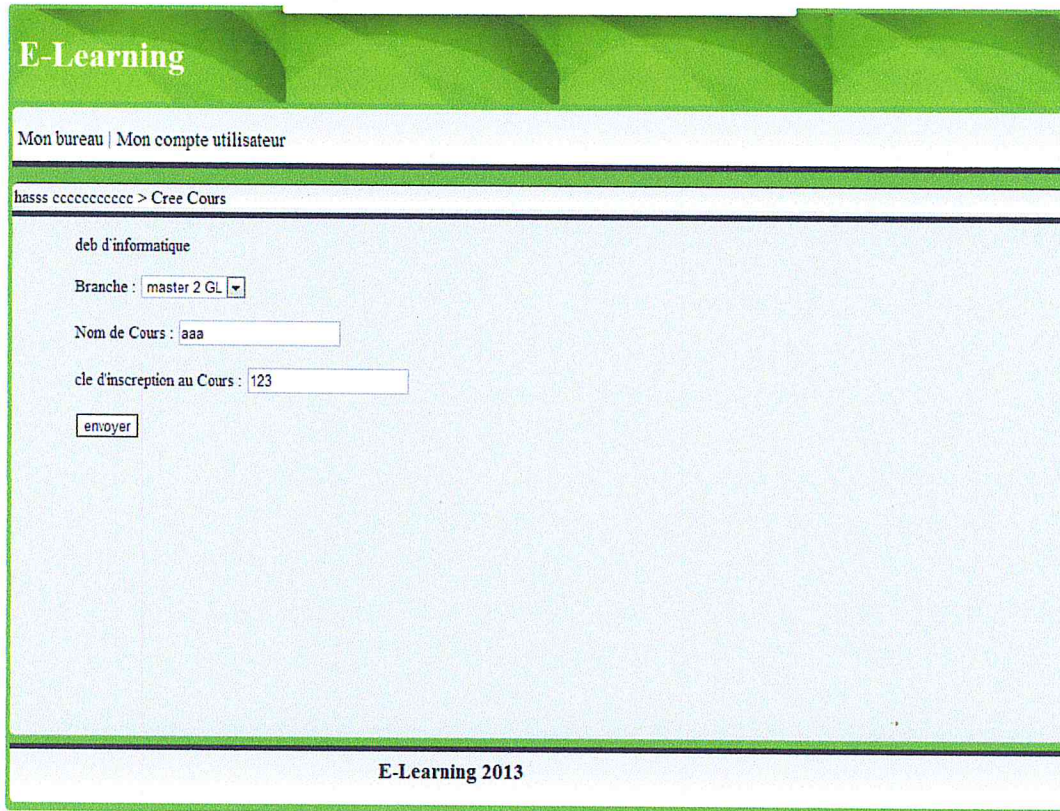


Figure 6.11 : créer un cours

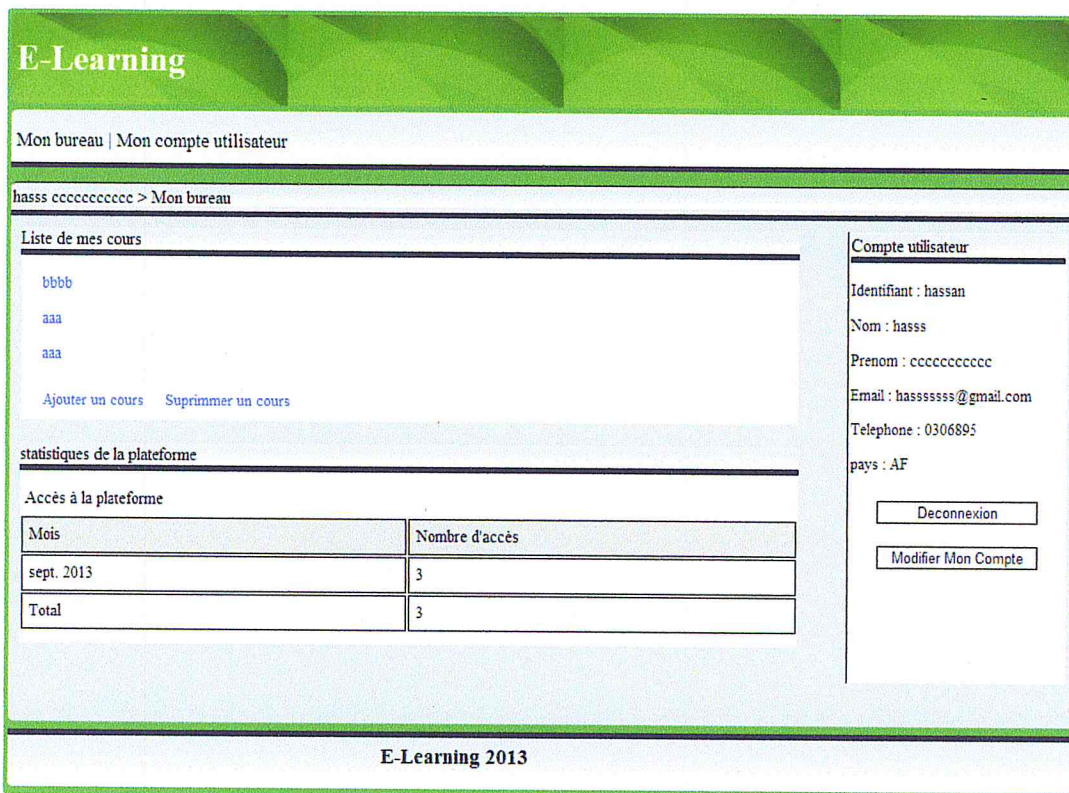


Figure 6.12 : Consultation de la liste des cours.

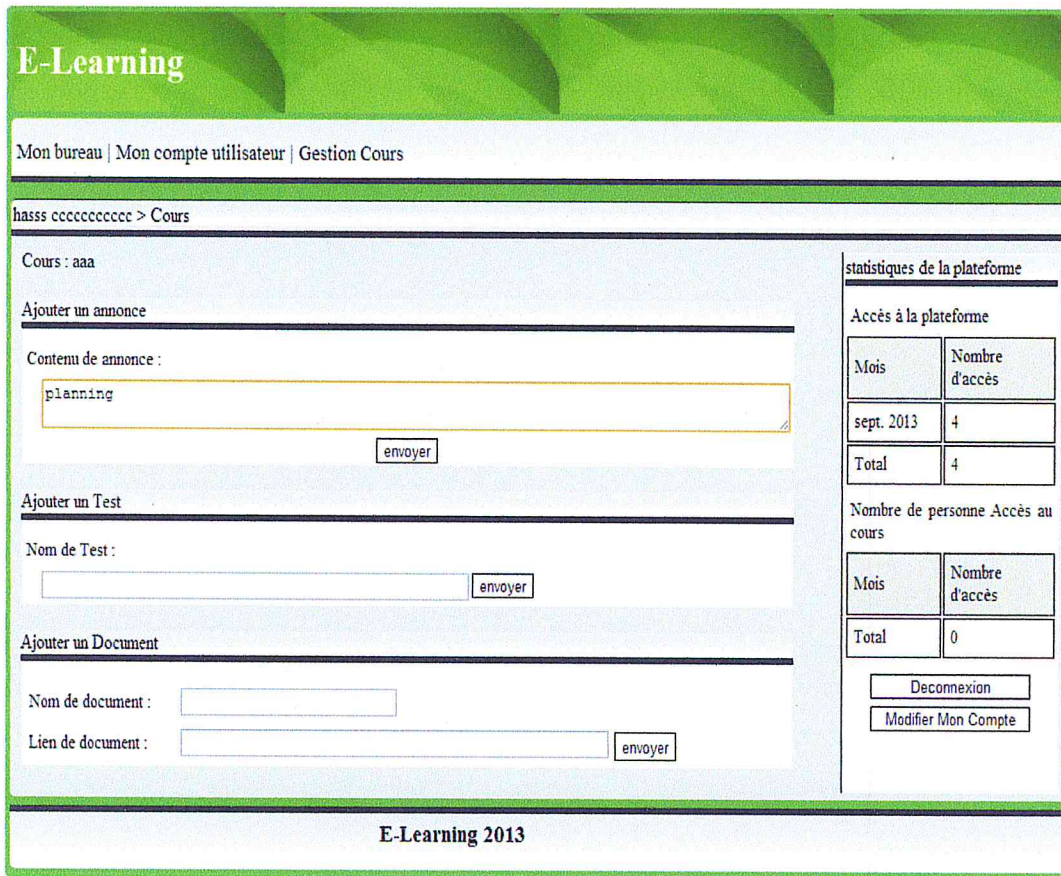


Figure 6.13 : Consultation des outils du cours.

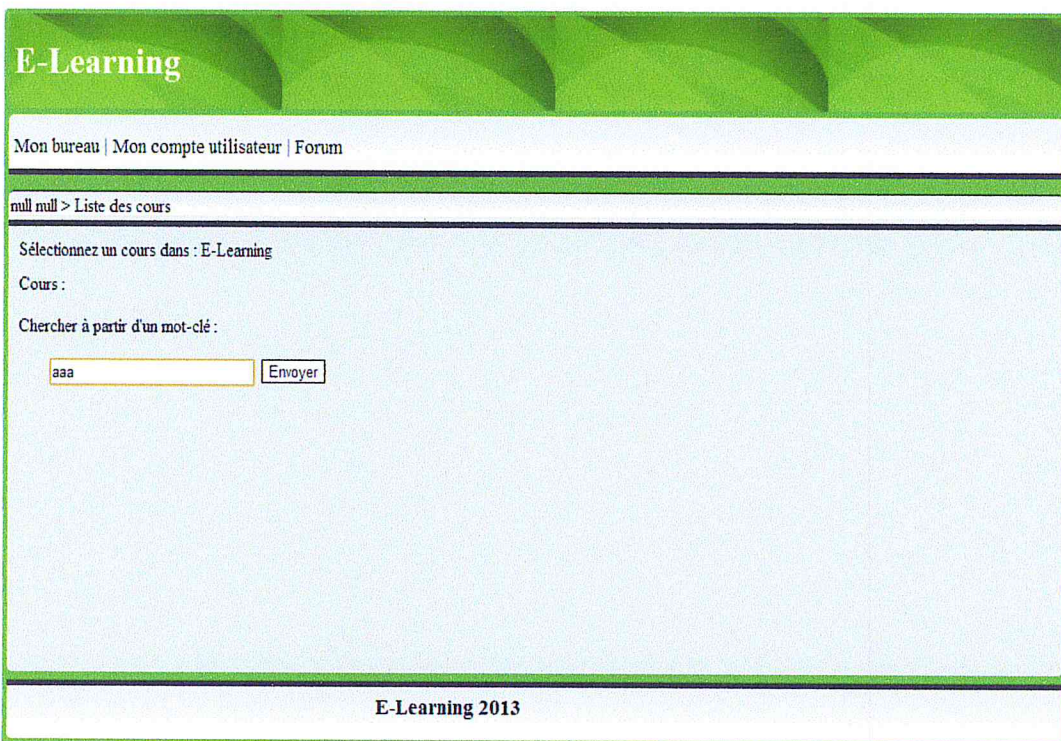


Figure 6.14 : La recherche d'un cours à partir d'un mot clé.

6.3.5 Evaluation de l'apprenant

Dans cette étape l'apprenant va répondre au test de la personnalité IPIP-NEO (inventaire de 120 questions). Ensuite lorsqu'il termine, il doit spécifier son sexe et son niveau d'étude et répondre aux questions qui se suivent. Ces dernier servent nous à prédire l'émotion de l'apprenant.

Figure 6.15 : Evaluation de l'apprenant.

6.4 Résultats et test

6.4.1 Présentation Weka

WEKA est un logiciel libre dédié au **Datamining**. Parmi les fonctionnalités qu'il couvre, on trouve les arbres de décision. Selon **définition**, un arbre de décision est un outil d'aide à la décision et à l'exploration de données. Il permet de modéliser simplement, graphiquement et rapidement un phénomène mesuré plus ou moins complexe. Sa lisibilité, sa rapidité d'exécution et le peu d'hypothèses nécessaires a priori expliquent sa popularité actuelle.

6.4.2 Principe de fonctionnement du weka

- 1- **importation de la base de données** : Weka supporte 2 types de fichiers : le arff et le csv. Ces fichiers texte comportent des lignes d'enregistrement qui contiennent tout les attributs.

Le fichier texte utilisé dans le weka (arff o csv) est composé après plusieurs phases:

- 1) Prétraitement de données.
- 2) nettoyage de données.
- 3) Jointure.

2-choisir la technique (algorithme) qui nous intéresse.

3- sélectionner les attributs qui nous intéressent pour l'étude après l'exécution, weka nous donne un ensemble de règles (le cas règle d'association).

6.4.3 Notre test sur le logiciel weka

Pour réaliser l'apprentissage il faut bien déterminer un échantillon. L'échantillon sur lequel porte notre expérience se décompose en 11 hommes et 7 femmes, soit un total de 18 apprenants. Nous avons utilisé une base d'apprentissage qui contient un ensemble des informations personnelle de l'apprenant (le sexe, la personnalité, le niveau d'étude, émotion) personnalité. Puis à partir de cette base nous allons construire un arbre de décision qui va nous aider à prédire l'état émotionnel de l'apprenant (Emotion ressentie). Nous avons appliqué sur le fichier d'exemples (apprenants), l'algorithme C4.5 de Quinlan pour l'apprentissage d'arbre de décision, celui-ci est implémenté dans le logiciel de Weka sous le nom J48.

La base d'apprentissage sous le logiciel Weka (train.arff)

Notre base comporte 4 attributs :

- ✓ L'attribut personnalité : cet attribut peut prendre comme valeur les caractéristiques suivantes :
Le *Névrosisme* (N), l'*Extraversion* (E), l'*Agréabilité* (A), *Conscientieux* (C), l'*Ouverture* (O).

Personnalité={e, a, c, n, o}.

- ✓ L'attribut sexe : le sexe prend deux valeurs soit **homme** ou **femme**.

Sexe= {h, f}.

- ✓ L'attribut catégorie apprenant : cet attribut représente le niveau d'étude de l'apprenant. Il peut prendre 2 valeurs master ou License

Catégorie apprenant = {m, l}.

- ✓ L'attribut classe : On a classifié les émotions des apprenants selon les quartes émotions de bases **La joie ; La tristesse ; La colère ; Le dégoût.**

Classe= {joie, tristesse, colère, dégoût}.

Le fichier texte train.arff

@relation trainPsy

@attribute personalite {e,a,c,n,o}

@attribute sex {h,f}

@attribute categorie_apprenant {m1,m2}

@attribute class {joie,tristesse,colere,degout}

@data

e,h,m,tristesse

e,h,m,degout

e,h,l,tristesse

e,h,l,degout

e,f,m,degout

a,h,m,joie

a,f,m,joie

c,h,m,joie

c,f,m,joie

c,f,m,tristesse

c,h,m,tristesse

c,f,m,degout

n,f,m,colere

n,h,l,colere

o,h,m,joie

o,h,l,joie

o,h,l,degout

Suivant l'arbre mentionné dans *Figure 6.17* on va extraire les règles prédites.

Si personnalité = agréabilité alors émotion prédite = joie.

Si personnalité = extraversion alors émotion prédite = dégoût.

Si personnalité = conscience alors émotion prédite = joie.

Si personnalité = névrosisme alors émotion prédite = colère.

Si personnalité = ouverture alors émotion prédite = joie.

Remarque

Les attributs sexe et catégorie apprenants n'apparaît pas dans l'arbre de décision générée et cela grâce à la phase d'élagage de l'algorithme C4.5 (éliminé les attributs qui ont un taux d'erreur plus grand). En d'autre terme les facteurs sexe et catégorie n'a pas d'influence importante sur l'état émotionnel de l'apprenant.

Conclusion

Nous avons, dans ce chapitre, détaillé la mise en œuvre de notre plateforme e-Learning. Cette application a pour objectif la prédiction de l'état émotionnel de l'apprenant au moment d'apprentissage, basé sur les caractères personnels de l'apprenant. Ensuite en a tester l'efficacité de notre prédiction en utilisant le logiciel du datamining Weka.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons passé en revue, dans le **premier chapitre**, les différents modes utilisés pour la reconnaissance automatique de l'émotion (facial, vocal, physiologique, etc.) et les travaux qui s'y sont intéressés dans un contexte d'interaction homme-machine, en indiquant leurs limites. Nous avons également présenté les principaux systèmes intelligents visant à simuler le processus de génération d'émotion suite à une évaluation des situations dans des environnements d'interaction.

Nous avons pu remarquer que notre recherche touche à des facteurs humains très complexes tels que l'émotion, le comportement, et la personnalité. Il aurait fallu mettre plus d'effort pour aborder plus en détail ces sujets. Cependant, nous avons choisi de montrer qu'il est possible d'avoir un système e-Learning qui puisse prendre en considération les aspects humains et mieux gérer l'apprentissage à distance.

Dans le **chapitre 2**, nous avons présenté les concepts de base du e-Learning, pour mieux comprendre ce qu'est le e-Learning, ce qu'il recouvre et les technologies associées à ce nouveau mode d'acquisition du savoir.

Dans le **chapitre 3**, nous nous sommes attardés sur la notion d'apprentissage machine en général et nous avons détaillé, en particulier, l'algorithme utilisé (C4.5). Ce dernier est une version développée de l'algorithme ID3 qui permet de répondre à ces limitations. Nous avons argumenté leur emploi par leur capacité de traiter les problèmes structurés. Par le biais de cet algorithme, un arbre de décision a été construit pour prédire la réaction émotionnelle de l'apprenant dans une situation donnée. L'algorithme C4.5 a été entraîné sur un ensemble de données collectées à l'aide d'une expérience en ligne présentée en détail dans le chapitre 4.

Au cours du **chapitre 4** nous avons développé notre outil suivant le cycle de vie en cascade, en utilisant le langage de modélisation UML, illustrés par des diagrammes de cas d'utilisation, diagrammes de séquences et un diagramme de classe.

Une architecture globale de notre système avec une description détaillée de chaque module de l'architecture ont été présentées au niveau du **chapitre 5**.

Dans le **chapitre 6**, on a finalisé notre travail par la mise en œuvre de notre système à l'aide d'une architecture 3 tiers.

Nous concluons au cours de développement de ce projet que les réactions à l'apprentissage peuvent varier selon la personnalité de l'apprenant. Par exemple, les apprenants qui sont confiants et établissent des objectifs, plans d'action pour se préparer les examens, demandent l'aide quand nécessaire, sont plus ouverts à l'apprentissage. Les émotions jouent aussi un rôle très important dans ce processus, par exemple un étudiant anxieux va certainement avoir plus de difficulté dans l'apprentissage. Ainsi, il est essentiel de motiver et de gérer les émotions négatives des apprenants afin de réduire leur résistance à l'apprentissage.

Nous projetons pour des recherches futures de continuer à développer des expérimentations afin d'améliorer et de préciser les résultats de classification. On peut ajouter comme perspective d'autres paramètres dans la prédiction. On peut utiliser une méthode plus performante que les arbres de décision. On peut aussi doter le système de réaction vis-à-vis des états émotionnels.

Bibliographie

[b-01] PETIOT Marie, PEZET Charlène « Outil d'évaluation de la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles » Université Paul Sabatier, Toulouse Rangueil, Juin 2009.

[b-02] Cohn, J. (2007). Foundations of Human Computing: Facial Expression and Emotion. Dans T. Huang, A. Nijholt, M. Pantic & A. Pentland (éds.), Artificial Intelligence for Human Computing (4451, pp. 1-16): Springer Berlin / Heidelberg.

[b-03] Damasio, A.R. 1994. Descarte 's error: Emotion, reason and the human brain, New York: Groset/Putnam.

[b-04] Mémoire Amine Trabelsi, 2010 « Configuration et exploitation d'une machine émotionnelle », Université de Montréal, département d'informatique et de recherche opérationnelle.

[b-05] Tomkins, S. (1962). Affect, imagery, consciousness (Vols. 1&2). New\ brk: Springer.

[b-06] Ekman, P., Friesen, W. V., & Ellsworth, P. (1972). Emotion in the human face: Guidelines for research and an integration of findings: New York: Pergamon Press.

[b-07] Fragopanagos, N., & Taylor, J. G. (2005). Emotion recognition in human-computer interaction. Neural Networks, 18(4), 389-405.

[b-08] Gratch, J., Marsella, S., & Petta, P. (2009). Modeling the cognitive antecedents and consequences of emotion. Cognitive Systems Research, 10(1), 1-5.

[b-09] Lang, P. J. (1995). The emotion probe: Studies of Motivation and Attention. American Psychologist, 50(5), 372-385.

[b-10] Lazarus, R. (1991). Emotion and adaptation. New York: Oxford University press.

[b-11] Ortony, A., Clore, G., & Collins, A. (1988). The cognitive structure of emotions: Cambridge University Press.

[b-12] Arnold, M. (1960). Emotion and Personality: Neurological and physiological aspects (Vol. 2). New York: Columbia University Press.

[b-13] Lazarus, R. (1968). Emotions and adaptation: Conceptual and empirical relations. Dans W.J. Arnold (éd.), Nebraska symposium on motivation (16, pp. 175-270). Lincoln: University of Nebraska Press.

[b-14] Picard, R. W. (2000). Affective computing: Cambridge, MA: The MIT Press.

[b-15] Mémoire Soumaya Chaffar, 2009 « Modélisation des Réactions Emotionnelles dans un Système Tutoriel Intelligent », Université de Montréal, département des arts et des sciences.

Références bibliographiques

2013

- [b-16] Reilly, W. S. and Bates, J. 1992. Building emotional agents. Pittsburg, PA : Carnegie Mellon University, Technical Report CMU-CS-92-143.
- [b-17] Mémoire Soumaya Chaffar, Pierre Chalfoun, Claude Frasson « La prédiction de la réaction émotionnelle dans un environnement d'évaluation en ligne » Université de Montréal, département d'informatique et de recherche opérationnelle ISBN : 2-9527275-0-3 ISBN: 978-2-9527275-0-1.
- [b-18] Seif El Nasr, M., Yen J., and Ioerger, T. 2000. FLAME - A Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions, *Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, vol. 3, 219-257.
- [b-19] Gratch, J., Marsella, S. 2004. A domain independent framework for modeling emotion. *Journal of Cognitive Systems Research*, vol. 5. 269-306.
- [b-20] Lester, J., Towns, S., Fitzgerald, P. 1999. Achieving Affective Impact : Visual Emotive Communication in Lifelike Pedagogical Agents, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 10, 278-291.
- [b-21] CONATI, C. & MACLAREN, H. (2004) Evaluating A Probabilistic Model of Student Affect. 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems. Maceio, Brazil.
- [b-22] LIKERT, R. (1932) A Technique for the Measurement of Attitudes, New York, Archives of Psychology.
- [b-23] EKMAN, P. & FRIESEN, W. V. (1978) Facial action coding system: Investigator's guide, Palo Alto, Consulting Psychologists Press.
- [b-24] PARKE, F. & WATERS, K. (1996) Computer Facial Animation, Wellesley, Mass, A.K. Peters.
- [b-25] PETRUSHIN, V. (1999) Emotion in Speech: Recognition and Application to Call Centers. *Artificial Neural Networks in Engineering*.
- [b-26] IZARD, C. E. (1977) Human emotions, New York, Plenum Press.
- [b-27] BIANCHI, N. & LISETTI, c. L. (2002) Modeling Multimodal Expression of User's Affective Subjective Experience. *User Modeling and User Adapted Interaction*, 12,49-84.
- [b-28] Mémoire Ramla Ghali, 2010 « Impact des émotions sur les performances », Université de Montréal, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle.
- [b-29] Isen, A. M. (1984). Toward understanding the role of affect in cognition, *Handbook of social cognition*.
- [b-30] Goleman, D. (1997). L'intelligence émotionnelle1: Comment transformer ses émotions en intelligence. Paris Laffont.
- [b-31] Gardner, H. (1983). *Frames Of Mind: The Theory Of Multiple Intelligences*. New York:Basic Books Inc.

- [b-32] Faivre, J., Frasson, C., & Nkambou, R. (2002b). Gestion Emotionnelle dans les Systèmes Tuteurs Intelligents.
- [b-33] Mémoire Ilusca Lima Lopes de Menezes, 2008 « Influence des facteurs émotionnels sur la résistance au changement dans les organisations », Université de Montréal, département d'informatique et de recherche opérationnelle.
- [b-34] Mémoire d'ingénieur CHERFA Imène « Conception d'une interface homme machine pour une plate forme de e-learning », (MIG-004-253-2).
- [b-35] Margot J.C., Darnige A., (1996), «La téléformation », PUF, Paris, Coll. « Que sais-je? », n°3168, pp. 17-22.
- [b-36] Mémoire de master RAHMOUN Somia « Méthodes d'apprentissage pour améliorer la QoS d'une flotte de logiciels embarqués », 2010-2011.
- [b-37] Minnion M., Amami M., Brimberg J., (2002), «Information Technology-based Learning. The Royal Military College of Canada Experience», Actes de la conference de l'AIM.
- [b-38] Bruner J., (1996), « Education, l'entrée dans la culture », Retz, Paris.
- [b-39] Sabbagh E., (2001), « Développement d'une méthode d'évaluation des plates-formes de e-formation et évaluation de la plate-forme webCT », Rapport de projet de fin d'étude, Ecole Polytechnique de Montréal, département de génie informatique.
- [b-40] Duteille O., « Etude comparative de plate-formes LMS », l'université de Pau et des Pays de l'Adour.
- [b-41] Sutton, R., & Barto, A. (1998). Reinforcement learning: MIT Press.
- [b-42] mémoire de Magistère Zouaoui Hakima(2007-2008) « Clustering par fusion floue appliqué à la segmentation d'images IRM », université de BOUMERDES
- [b-43] Quinlan, J.R. 1986. Learning efficient classification procedures and their application to chess end games. In Machine Learning, An Artificial Intelligence
- [b-44] R. Moussa, Cours Méthodologies de Développement Logiciel.pdf, 2006.
- [b-45] Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson, Le guide de l'utilisateur UML, Eyrolles, 2003.

Web graphie (liens d'internet)

[w-01] Le lien <http://www.visamemo.fr/archives/1228>

[w-02] Le lien

<http://www.unifr.ch/ztd/HTS/inftest/WEBInformationssystem/fr/4fr001/52fdfab982a64e9b9fd0a5ec79336d34/hb.htm>.

[w-03] Le lien http://www.memoireonline.com/04/12/5655/m_Etat-de-lArt-du-e-learning21.html

[w-04] Le lien <http://acolad.u-strasbg.fr/>

[w-05] Le lien <http://www.claroline.net/>

[w-06] Le lien <http://elearning-india.com/content/blogcategory/19/38/>

[w-07] Le lien <http://www.moodle.com/>

[w-08] Le lien <http://www.lotus.com/learningspace>

[w-09] Le lien <http://www.vigiportal.com>

[w-10] Le lien <http://www.webct.com/>

[w-11] Le lien <http://asi.insa-rouen.fr/enseignement/siteUV/dm/Cours/IntroDM.pdf>»

[w-12] Le lien <http://www-ia.lip6.fr/~tollaris/ARTICLES//THESE/node16.html>.

[w-13] Le lien <http://www.doc-etudiant.fr/Informatique/Gestion-de-projet/Rapport-Classification-par-arbre-de-decision-39960/12.html>

[w-14] Le lien http://www.memoireonline.com/07/09/2392/m_Mise-en-place-dune-architecture-3-tiers-avec-base-de-donnees-centralisee-sous-SQL-SERVER-Cas-du9.html

