

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR UNIVERSITY-ANNABA

-

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA-



جامعة باجي مختار

- عنابة -

Faculté des sciences de l'ingénieur

Année 2008

Département d'informatique

MEMOIRE

Présentation en vue de l'obtention du diplôme de magister

L'identification de l'émotion des apprenants dans les plates-formes de E-learning

Option

Intelligence artificielle
(Texte, image et parole)

Par

Mme. Iness NEDJI MILAT

Directeur de mémoire: M. SELLAMI

Professeur

U. Annaba

DEVANT LE JURY

PRESIDENT: M. KHOLLADI

MC

U. Constantine

EXAMINATEURS: : H. SERIDI

MC

U. Annaba

H. BAHI

MC

U. Annaba

T. BOUHADADA

MC

U. Annaba

RESUME

L'Internet a révolutionné le domaine de l'enseignement avec l'avènement d'un nouveau mode d'apprentissage basé sur les TIC : l'e-learning ou la formation à distance. Cependant, plusieurs études, portant sur les coûts et retours sur investissement du e-learning, ont montré que ce mode de télé-enseignement a généré des problèmes de difficulté d'apprentissage dû en partie et à des degrés divers à la négligence de la prise en compte des états émotionnels des apprenants.

En effet, la pertinence de l'apprentissage implique le suivi des apprenants et particulièrement la gestion des aspects intellectuels et socio-émotionnels [P97], [SC], [BB02], [F04], [G04], [NH04]. Dans le contexte éducatif classique, l'observation et l'identification de l'état émotionnel de l'apprenant permettent à l'enseignant d'entreprendre des actions qui vont influencer la qualité de l'apprentissage et son exécution, chose qui n'est pas totalement prise en charge dans le contexte de l'enseignement à distance.

Pour favoriser l'apprentissage, les dispositifs de e-learning doivent tenir compte des états émotionnels de l'apprenant. Cette prise en compte pose un problème de mise en œuvre, car les processus mentaux et les expressions émotionnelles de l'apprenant ne sont pas directement observables par la machine et les méthodes d'identification émotionnelle les plus objectives et les moins intrusives, recourent à des capteurs externes (webcams, microphones...etc.) en vue d'examiner le maintien de la posture, le regard et les expressions faciales de l'apprenant dans l'expression non verbale [P97, F04,9,NH04] et l'analyse des prosodies, le ton de la voix et les fréquences dans l'expression verbale [P97,15,17,18,21].

C'est dans le contexte verbal, que nous situons notre travail pour tenter d'apporter des réponses à l'identification émotionnelle des apprenants dans une session d'apprentissage. Pour cela, nous menons une réflexion sur les techniques, les moyens, les méthodes et les outils capable d'assurer cette identification à travers une analyse à deux niveaux linguistiques, prosodiques et textuels, de la parole d'un locuteur apprenant dans le cadre d'un dialogue homme-machine dans une plateforme de e-learning.

Mots clés : reconnaissance émotionnelle, indices prosodiques, indices textuels, parole, SVM, e-learning, apprenant, agent.

AVANT PROPOS

Enseigner, sous entend communiquer et observer en retour le comportement de l'élève, repérer des signes d'engagements, d'acuité, afin de détecter des réponses affectives qui peuvent être la manifestation de sentiment d'intérêt, d'excitation, de confusion, de lassitude, de fatigue, ...etc. À partir de l'observation et de l'identification de l'état émotionnel de l'apprenant, l'enseignant peut entreprendre des actions qui vont influencer la qualité de l'apprentissage. Cependant, dans l'apprentissage à distance et avec les Nouvelles Technologies de l'Information surgissent de nouveaux problèmes méthodologiques, plus particulièrement concernant la détection et l'évaluation des états émotionnels et de leurs influences dans le processus d'apprentissage, lesquels ne sont pas directement observables par la machine.

C'est dans ce contexte, que plusieurs travaux de recherche ont tenté d'apporter des éléments de réponses, plus ou moins complètes, à ces interrogations :

- Comment les dispositifs d'e-learning peuvent ils détecter l'état émotionnel courant de l'apprenant ?
- Comment peuvent-ils identifier son état émotionnel optimal pour l'apprentissage ?
- Comment peuvent-ils induire cet état émotionnel optimal chez l'apprenant ?

L'objectif de ce présent travail est de mener une réflexion sur les méthodes permettant l'identification de l'état émotionnel courant de l'apprenant dans une session d'apprentissage. Pour cela nous avons adopté la démarche suivante :

- En premier lieu, l'établissement d'un état de l'art pour apprécier ce qui existe dans la littérature concernant l'enseignement, l'apprentissage, le e-learning et les plates-formes ainsi que le rôle de l'émotion dans le processus d'apprentissage
- Le deuxième chapitre se porte sur les méthodes de perceptions émotionnelles existantes et le concept de la machine d'apprentissage et de reconnaissance : SVM.
- Le troisième chapitre est consacré à la proposition de notre système dédié à l'identification émotionnelle basée sur une analyse bimodale : parole et texte.
- Finalement, une étude expérimentale portant sur l'encodage des paramètres acoustiques dans la parole émotionnelle est détaillée dans le quatrième chapitre avec une implémentation du module de reconnaissance émotionnelle à partir du texte dans la plate-forme moodle.

SOMMAIRE

RESUME	2
AVANT PROPOS	3
SOMMAIRE	4
INTRODUCTION	7

PARTIE 01 : ETAT DE L'ART SUR L'EMOTION DES APPRENANTS DANS LE E-LEARNING

CHAPITRE 01 : LE E-LEARNING ET L'EMOTION DE L'APPRENANT	9
1.1. INTRODUCTION	9
1.2. ENSEIGNEMENT ET APPRENTISSAGE : QUELQUES POINTS DE REPERE...	9
1.2.1. Qu'est-ce qu'enseigner ?	9
1.2.2. Qu'est-ce qu'apprendre ?	9
1.3. QUEL APPRENTISSAGE VEHICULE PAR LES TIC ?	10
1.4. LES LIMITES DE L'ENSEIGNEMENT TRADITIONNEL A L'ERE DES TIC	10
1.5. LE E-LEARNING POUR UN APPRENTISSAGE VIRTUEL	11
1.5.1. Définitions	11
1.5.2. Fondement du e-learning	12
1.5.3. Modèles de e-learning	13
1.5.4. Les différents modes d'apprentissage dans le e-learning	13
1.5.5. Avantages et inconvénients du E-learning	14
1.5.6. Enjeux de e-learning	14
1.5.7. Composantes d'un dispositif e-learning	15
1.5.8. Les principaux acteurs dans le e-learning	15
1.6. APPLICATIONS DU E-LEARNING	16
1.6.1. Le public ciblé	16
1.6.2. Les domaines de développement de e-learning	16
1.6.3. Les prestataires de e-learning.....	16
1.6.4. Comment monter un projet e-learning ?	17
1.7. LES PLATES-FORMES DE E-LEARNING	18
1.7.1. Définition	18
1.7.2. Les principales fonctions des plates-formes	19
1.7.3. Les principaux critères que doivent vérifier les plates-formes	19
1.7.4. Quelques exemples des plates formes les plus utilisées	23
1.7.5. Etude comparative de quelques plates-formes de e-learning	25
1.8. L'EMOTION DES APPRENANTS DANS LE E-LEARNING	31

1.8.1.	Les caractéristiques de l'apprenant	31
1.8.2.	L'émotion : points de repères	31
1.8.3.	Le rôle de l'émotion dans le processus d'apprentissage	34
1.8.4.	L'intelligence émotionnelle	34
1.8.5.	Comprendre l'état émotionnel de l'apprenant	35
1.8.6.	L'influence de la personnalité de l'apprenant sur son émotion optimal d'apprentissage	36
1.9.	CONCLUSION	37

CHAPITRE 02 : PERCEPTION ET IDENTIFICATION EMOTIONNELLE : METHODES ET OUTILS 39

2.1. INTRODUCTION 39

2.2. LA PERCEPTION MULTIMODALE DES EXPRESSIONS EMOTIONNELLES 39

2.3. LA PERCEPTION EMOTIONNELLE A PARTIR D'UNE ANALYSE VOCALE (COMMUNICATION NON VERBALE) 40

2.3.1.	La parole et prosodie : points de repères... ..	40
2.3.1.1.	Les paramètres caractérisant la parole d'un locuteur	41
2.3.1.2.	Le signal vocal	42
2.3.1.3.	Complexité du signal vocal	43
2.3.2.	La communication vocale de l'émotion	43
2.3.2.1.	Emotion vécue versus émotion actée	44
2.3.2.2.	Les paramètres acoustiques caractérisant l'émotion	44
2.3.2.3.	Les études expérimentales sur l'identification de l'émotion vocale	46

2.4. LA PERCEPTION EMOTIONNELLE A PARTIR D'UNE ANALYSE TEXTUELLE (COMMUNICATION VERBALE) : 48

2.4.1.	Les niveaux linguistiques et les modèles émotionnelles	49
2.4.2.	Les approches existantes de la reconnaissance de l'émotion textuelle	50
2.4.2.1.	Repérage des mots-clés (Keyword Spotting)	50
2.4.2.2.	Affinité lexicale	51
2.4.2.3.	Traitement statistique du langage naturel	51

2.5. LES METHODES D'APPRENTISSAGE POUR LA RECONNAISSANCE EMOTIONNELLE : 51

2.5.1.	Algorithmes d'apprentissage et performance	51
2.5.2.	Les machines d'apprentissage SVM	51
2.5.2.1.	Hyperplan, marge et vecteur de support :.....	53
2.5.2.2.	Pourquoi maximiser la marge	53
2.5.2.3.	Linéarité et non-linéarité	54
2.5.2.4.	Les SVM avec production des probabilités	55
2.5.2.5.	Les SVM multi-classes	56

2.6. CONCLUSION 57

PARTIE 02 : LA METHODE PROPOSEE : UNE IDENTIFICATION EMOTIONNELLE BIMODALE A PARTIR DE LA VOIX ET LE TEXTE

CHAPITRE 03 : CONCEPTION ET ARCHITECTURE DU SYSTEME.....	59
3.1. INTRODUCTION	59
3.2. CADRE CONTEXTUEL : LE SYSTEME EMOTORAT	59
3.3. EMOTIO : UN AGENT DE RECONNAISSANCE ET DE GESTION EMOTIONNELLE.....	61
3.3.1. Fonctionnement	61
3.3.2. Démarche de perception de EMOTIO.....	62
3.3.3. Architecture de EMOTIO	63
3.3.3.1. Module de reconnaissance émotionnelle par analyse vocale (REAV)	64
• Prétraitement du signal :	65
• Extraction des paramètres acoustiques (paramétrisation)	65
• Reconnaissance émotionnelle par SVM	67
• Reconnaissance de la parole par HMM	68
3.3.3.2. Module de reconnaissance émotionnelle par analyse textuelle (REAT).....	68
• Acquisition et Traitement	70
• Extraction des termes émotionnels	70
• Calcul de l'orientation émotionnelle de la phrase	71
• Décision émotionnelle	72
3.3.3.3. Calcul de l'émotion finale	73
3.4. CONCLUSION	73
 CHAPITRE 04 : ETUDE EXPERIMENTALE ET IMPLEMENTATION.....	 75
4.1. INTRODUCTION	75
4.2. ETUDE EXPERIMENTALE	75
4.2.1. Objectif de l'étude expérimentale	75
4.2.2. Méthodologie de travail	75
4.2.3. L'établissement du corpus oral de l'expérimentation	76
4.2.4. Analyse acoustique	76
4.2.5. Reconnaissance émotionnelle par SVM	79
4.3. IMPLEMENTATION DU MODULE DE RECONNAISSANCE EMOTIONNELLE PAR ANALYSE TEXTUELLE :	83
CONCLUSION	89
ANNEXES	90
___ANNEXE 01 : PRAAT : UN OUTIL POUR L'ANALYSE PROSODIQUE	91
___ANNEXE 02 : FONDEMENTS MATHÉMATIQUES DES SVM.....	95
___ANNEXE 03 : CODE DE L'IMPLEMENTATION DU MODULE REAT	102
TABLE DES FIGURES	106
LISTE DES TABLEAUX	107
BIBLIOGRAPHIE	108
WEBOGRAPHIE.....	112

INTRODUCTION

L'évolution permanente des besoins de formation, vers plus d'efficacité, plus de flexibilité et moins de coûts, a favorisé l'émergence d'outils pédagogiques et informatiques. En effet, l'Internet a révolutionné le domaine de l'enseignement avec l'avènement d'un nouveau mode d'apprentissage basé sur les TIC : le e-learning. Ce mode s'est accompagné par la disponibilité de plusieurs plates-formes de formation à distance (Ex. : moodle [30], Claroline [32], Sakai [31]...etc.). La plupart de ces systèmes sont centrés sur la création et la diffusion de documents et sur l'intégration d'outils de communication (messagerie, forums,...). Cependant l'exploitation efficace des TIC à des fins pédagogiques nécessite plus qu'un système qui met à la disposition des apprenants des outils technologiques performants. Elle nécessite certainement de **l'intelligence** pour **s'adapter** avec les nouvelles situations d'apprentissage dans la formation à distance.

Plusieurs études orientées coûts et retours sur investissement de e-learning, ont montré que le taux d'abandon, dans ces systèmes, par les apprenants est élevé à cause d'un apprentissage difficile. En effet, les systèmes de télé-enseignement sont incapables d'assurer un bon apprentissage de l'apprenant dû à plusieurs facteurs dont la négligence de la prise en compte de son état émotionnel dans une session de travail. Une question qui vient à l'esprit, est comment ces systèmes de télé-enseignement peuvent ils garantir une bonne qualité d'apprentissage s'ils ne prennent pas en considération l'apprenant dans sa totalité (états cognitifs et affectifs)?

C'est dans ce contexte, que plusieurs travaux de recherche ont tenté d'apporter des réponses plus ou moins complètes pour la détection et l'évaluation des états émotionnels et de leurs influences pour ensuite proposer des démarches qui tiennent compte de ces aspects. Ainsi, l'objectif de notre travail est de mener une réflexion sur les techniques, les moyens et les outils capables de greffer de « l'intelligence émotionnelle » dans ces systèmes afin de garantir une prise en compte des états émotionnels des apprenants pour une meilleure qualité d'apprentissage. La méthode proposée pour un tel objectif est d'intégrer un agent émotionnel dans un système de e-learning dont la démarche est basée sur une analyse des indices à deux niveaux linguistiques de type prosodiques et textuels pour la définition de la charge émotionnelle portée dans la parole et l'écrit de l'apprenant.

Partie 01

ETAT DE L'ART

SUR

**L'EMOTION DES APPRENANTS DANS
LE E-LEARNING**

Chapitre 01: LE E-LEARNING ET L'EMOTION DE L'APPRENANT



« Comprendre
est le
commencement d'approuver. » Spinoza

1.1. Introduction :

L'application des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) au domaine de la formation a conduit à la création de cette nouvelle réalité appelée le e-learning ou l'apprentissage en ligne. Pour garantir une meilleure qualité d'apprentissage, de tels systèmes doivent respecter autant le fonctionnement cognitif que psychologique de l'apprenant et prendre en considération ses états émotionnels, son niveau de développement, ses connaissances antérieures, son style et son rythme d'apprentissage. Autrement dit, ils doivent connaître et comprendre l'apprenant.

Dans ce chapitre, nous allons passer en revue les concepts liés au domaine de e-learning, autrement dit, ses définitions, ses fondements, ses apports et les plates-formes. Une étude comparative de quelques plates-formes sera donnée à titre d'information. Nous allons aborder, également, les aspects affectifs de l'apprenant et voir le rôle de la prise en considération de l'émotion dans le processus d'apprentissage.

1.2. Enseignement et apprentissage : quelques points de repère...

1.2.1. Qu'est-ce qu'enseigner ?

Selon l'encyclopédie wikipédia [33], «enseignement : processus de communication en vue de susciter l'apprentissage ». Dans cette perspective, enseigner devient un concept beaucoup plus extensif; enseigner, n'est pas seulement transmettre une information mais c'est surtout provoquer ou encore gérer un apprentissage. Enseigner et apprendre sont deux concepts tout à fait indissociables.

1.2.2. Qu'est-ce qu'apprendre ?

L'apprentissage est vu comme un processus actif et constructif au travers duquel l'apprenant manipule stratégiquement les ressources cognitives de façon à créer de nouvelles connaissances en extrayant l'information de l'environnement et en l'intégrant dans sa structure informationnelle déjà présente en mémoire. [24]

1.3. Quel apprentissage véhiculé par les TIC ?

L'activité d'apprentissage doit permettre une construction des représentations et des savoirs de l'apprenant. Dans ce sens, apprendre s'apparente à traiter l'information et la communication pour construire le savoir et ses représentations. [24]

Les technologies de l'information et de la communication (TIC), qui désignent généralement ce qui relève de nouvelles technologies utilisées dans le traitement et la transmission des informations, forment un contexte technologique qui accélère l'apprentissage dans le cadre de la pédagogie active et le rend plus motivant et plus efficace [L 01, KS 99, BL 96] en :

- Facilitant la mise en commun et l'échange d'outils pédagogiques entre les formateurs,
- Garantissant l'homogénéité et la qualité des prestations en favorisant la transmission dans le temps des démarches, méthodes et outils pédagogiques,
- Améliorant la coordination d'actions de formation délocalisées sur plusieurs sites distants,
- Facilitant l'accès aux contenus de formation pour des personnes éloignées de la formation (géographiquement, socialement, à cause d'un handicap...),
- Diversifiant les modalités d'accompagnement pédagogique apportées aux apprenants (présence + communication à distance),
- Développant les possibilités d'apprentissage coopératif entre les apprenants,
- Apportant de la flexibilité dans l'organisation des temps et/ou des lieux de formation,
- Développant l'auto apprentissage au moyens d'outils adaptés à cette modalité pédagogique,
- Familiarisant tous les usagers de la formation aux TIC afin de réduire le désenclavement.

1.4. Les limites de l'enseignement traditionnel à l'ère des TIC

La dernière décennie, l'enseignement, comme tant d'autres domaines d'activité, a subi des changements qui sont principalement dus à l'essor des technologies de l'information et de la communication (TIC). Deux types d'enseignement étaient jusque là répandus [KMS 04] :

- L'enseignement traditionnel ou présentiel : un enseignant proposant son cours devant ses étudiants.
- L'enseignement par correspondance : l'étudiant reçoit son cours à la maison sur papier ou sur disquette, éventuellement sur CD-ROM.

Cependant, ces deux modes présentent certains inconvénients qu'on va énumérer, d'une façon non exhaustive, dans le tableau suivant [tableau 01] :

Enseignement traditionnel	Enseignement par correspondance
<ul style="list-style-type: none"> ▪ présence nécessaire ▪ inégalité d'accès à l'instruction (nombre limité) ▪ rythme non adapté à tous les étudiants ▪ interactivité de plus en plus absente (grand nombre d'étudiants) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ coûteux ▪ interactivité inexistante ▪ souvent, absence de certification ▪ inexistence de la notion de classe.

Tableau 01 : les inconvénients des types d'enseignement classiques [KMS 04]

Ces inconvénients ainsi que la possibilité d'intégrer les nouveaux moyens technologiques et de communication dans l'enseignement ont ramené à repenser un nouveau mode d'apprentissage : « le E-learning ». Ce nouveau mode ne va pas remplacer le mode traditionnel mais il permettra à un système éducatif bimodal (mêlant la formation présentielle, traditionnelle et l'enseignement à distance) de s'installer dans les universités et les centres de formation. Ce qui renforcera le système éducatif [KMS 04].

1.5. Le e-learning pour un apprentissage virtuel :

1.5.1. Définitions :

Plusieurs définitions ont été mises au point, par différents auteurs, pour définir le e-learning. Nous allons citer celles qui sont les plus répandus :

« E-learning, le « e » est une référence explicite aux technologies de l'information, consiste à utiliser les ressources de l'informatique et de l'Internet pour acquérir, à distance, des connaissances. Il peut être défini comme étant une formation effectuée par des moyens de télécommunications en temps réel (synchrone) ou en différé (asynchrone) » [B 01].

« E-learning est un mode d'apprentissage basé sur l'utilisation des nouvelles technologies, permettant l'accès à des formations en ligne, interactives et parfois personnalisées, diffusées par l'intermédiaire d'Internet, d'un intranet ou autre média électronique, afin de développer les compétences, tout en rendant le processus d'apprentissage indépendant de l'heure et de l'endroit. »[D&al. 03]

« 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 » [5].

« La notion de e-learning 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 ». [CJ 02]

De cela, nous pouvons conclure que le e-learning est un processus d'apprentissage à distance, s'appuyant sur des ressources multimédia qui permet à une ou plusieurs personnes de se former, à leur rythme en fonction de leurs besoins et de leurs disponibilités, à partir de leur ordinateur

1.5.2. Fondement du e-learning :

A ses débuts, la e-formation était réduite à la formation assistée par ordinateur [BM 01]. On parlait alors d'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur). La notion de e-learning est apparue pendant la révolution Internet qui l'a associé à la notion de réseau, donc celle de distance et des notions d'interaction communicante, que ce soit entre l'apprenant et l'enseignant (ou tuteur), ou entre les apprenants eux-mêmes. Parallèlement à cette ouverture en réseau, l'évolution des technologies informatiques a donné une nouvelle réalité aux notions d'activité, d'interactivité et de multimédia qui a permis de proposer une grande variété de présentation et de simulation aux apprenants. Ces tendances expliquent en partie l'intérêt croissant des solutions d'e-learning, que ce soit en terme d'efficacité pédagogique ou en terme d'intérêt pour les apprenants[CJ 02].

L'émergence de l'idée du tutorat est liée aux résultats accumulés dans le domaine du e-learning. Au départ, l'e-formation était considérée comme une activité solitaire de l'apprenant. Cette formation en libre-service devait pouvoir être acquise par soi-même avec l'aide de la machine. L'expérience a montré que les apprenants ont malgré tout besoin d'être suivis, à la fois parce qu'ils peuvent avoir des questions, ou buter sur des problèmes que l'outil informatique ne peut résoudre, mais aussi et surtout pour des questions de motivation. L'effort demandé à l'apprenant subsiste en effet, et peut même être plus grand que dans un cours classique. L'instauration d'un tutorat joue donc un grand rôle dans le suivi de l'avancement de l'apprentissage. Les plates-formes du e-learning, à savoir les logiciels capables de gérer la diffusion d'e-formation, intègrent des fonctionnalités destinées à faciliter le travail du tuteur. A titre d'exemple, le tuteur peut consulter le parcours d'un apprenant dans un cours, consulter les réponses aux tests, analyser les erreurs commises et communiquer facilement avec l'apprenant. De son côté, l'apprenant peut solliciter le tuteur, en général par messagerie électronique, pour interagir avec lui. Dans le cas d'e-formation de groupe, le tuteur peut également jouer un rôle d'animateur et de modérateur (par exemple dans les forums de discussion de la classe virtuelle). Il jouera un rôle d'enseignant classique dans les cas où les apprenants doivent réaliser un travail qu'une machine ne saurait corriger ou évaluer. Ce dernier cas de figure est plus académique, mais montre bien l'importance pédagogique du tuteur[BM 01].

L'autonomie de l'apprenant et sa relation avec l'enseignant ont évolué avec le e-learning. Si l'on considère que l'enseignement traditionnel laissait peu de place à l'initiative personnelle de l'apprenant, on note que le e-learning implique et responsabilise plus l'apprenant qui devient acteur de sa formation, par rapport à son

rythme, par rapport aux interactions individualisées, et même parfois par rapport à la nature et à l'ordre des sujets abordés.

1.5.3. Modèles de e-learning :


Plusieurs modèles de e-learning coexistent, nous trouvons principalement, trois modèles de e-learning qui sont proposés dans [KMS 04] et cités dans le tableau suivant :


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'apprenant 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 02 : Modèles de e-learning

1.5.4. Les différents modes d'apprentissage dans le e-learning :

Dans une session d'apprentissage, il existe deux modes d'apprentissage:

 **L'apprentissage synchrone** : (en temps réel) ce type d'apprentissage comprend des activités synchrones comme le service de chat, la messagerie instantanée, la téléconférence, ...etc. dans ce mode les apprenants et l'enseignant sont connectés au même temps.

 **L'apprentissage asynchrone** :(en différé) ce type d'apprentissage comprend des activités asynchrones comme les forums, les messageries, les tests effectués par les apprenants, les journaux Web (type blog, wiki ou les portails),...etc.

1.5.5. Avantages et inconvénients du E-learning :

✚ Avantages : Selon [KMS 04], les principaux avantages de e-learning sont :

- L'e-learning touche plus de collaborateurs en moins de temps, et cela en raison de sa souplesse et de son économie qui permet d'élargir les conditions d'accès des publics à la formation.
- L'apprentissage est plus rapide et plus durable.
- Accès facilité à la formation et à l'apprentissage.
- Amélioration de la qualité de l'encadrement.
- Réintroduction de l'interactivité dans les deux processus d'enseignement et d'apprentissage.
- Diversification et modernisation des méthodes d'enseignement dans les universités et les centres de formation.
- Flexibilité dans les emplois du temps. En effet, l'apprenant peut choisir le temps à passer sur chaque module d'une formation en fonction de ses acquis
- Respect du rythme individuel de l'apprenant. En effet, l'apprenant peut adapter le rythme du cours à son niveau (moins de stress, moins de frustration).

L'apport majeur du e-learning à notre avis, outre ceux qui sont cités ci-dessus est l'amélioration de la qualité des contenus pédagogiques et l'autonomie de l'apprenant qui devient ainsi l'acteur de sa formation.

✚ Inconvénients : Mais des limites subsistent au cyber apprentissage [KMS 04], parmi lesquelles, nous citons :

- La diffusion de cours e-learning nécessite des équipements multimédia.
- La mise en place de l'infrastructure technique et la création des contenus sont coûteuses.
- L'accès à l'outil informatique est nécessaire.
- L'e-learning limite les interactions entre les individus.
- Un taux d'échec et d'abandon très élevé.
- L'enseignant ne peut plus exercer de contrôle et n'a plus d'échange pédagogique. La médiation directe disparaît.

1.5.6. Enjeux de e-learning :

Les enjeux du e-learning sont multiples, parmi lesquelles, nous citons :

- Rendre plus efficaces, plus solides, plus adaptés les processus d'apprentissage et l'accès à la connaissance.
- Bénéficier des avantages des technologies éducatives (interactivité, simulation...).
- Bénéficier des avantages de la formation à distance (plus grande autonomie, élimination de contraintes...).

La formation est désormais devenue un axe stratégique majeur et le savoir un outil permettant de développer un avantage compétitif certain. Pour être à la hauteur de ces enjeux, il est donc indispensable que le domaine de la formation fasse l'objet d'un re-engineering complet et pointu [KMS 04]. Selon GIL [G 00], pour faire face à ce défi, les dispositifs du futur n'ont de limites que celle de la créativité de l'individu et de la rentabilité de ses actions.

1.5.7. Composantes d'un dispositif e-learning :

Un système de e-learning est composé :

- une communauté d'apprenants
- une plate-forme d'apprentissage
- des tuteurs ou animateurs
- des contenus textuels ou multimédia didactiques
- une stratégie pédagogique et tutorale
- des activités de validation de connaissances

1.5.8. Les principaux acteurs dans le e-learning :

a. **Apprenant** : désignation de la personne qui se forme ou s'auto-forme dans un dispositif de formation continue. Par opposition à « élève » ou « stagiaire », le terme d'apprenant renvoie à une logique d'implication de la personne dans le déroulement de son parcours de formation individualisée. Le choix de ce terme souligne aussi la prise en considération des caractéristiques personnelles, aux plans conatif, social et professionnel de l'apprenant, par les formateurs/tuteurs en charge de la mise en œuvre et de l'accompagnement de la formation.

b. **Tuteur** : (coach) un tuteur est un agent responsable de transmettre des connaissances à un apprenant dans le cadre d'une fonction appelée tutorat (assistance et soutien dispensés aux étudiants par des enseignants). Dans le cadre d'une formation à distance, le tuteur occupe plusieurs fonctions :

- il détermine avec l'apprenant les objectifs de la formation,
- il constitue les groupes,
- il assure le suivi pédagogique de la formation (réponses aux questions des apprenants, analyse de la progression, conseils personnalisés).

Le tuteur joue un rôle moteur dans la formation. La qualité du suivi permet de garantir la motivation de l'apprenant et d'éviter qu'il abandonne sa formation en cours de route...

c. **Enseignant** : c'est le fournisseur de contenus pédagogiques interactifs (cours)

d. **Administrateur** : désignation de la personne qui contrôle, dirige et commande les différents dispositifs dans la plateforme d'e-learning. L'administrateur de la plate-forme peut s'occuper de :

- la création des comptes utilisateurs,

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

1.6. Applications du e-learning :

1.6.1. Le public ciblé :

Le e-learning est destiné à chaque personne voulant suivre des formations non présentielle selon leur rythme et niveau. Aujourd'hui, le e-learning est lié spécialement à deux secteurs [G 02]:

- Des grandes entreprises qui l'utilisent avec le KM (Knowledge Management ou management des connaissances) pour former et actualiser les connaissances de ses employés de manière plus rapide.
- Des universités qui offrent des alternatives de formation à distance.

Selon Sandra Bellier [B 01], Le e-learning ne s'adresse pas et ne sera pas profitable à tout le monde, la principale condition pour participer à un tel processus est l'autonomie liée à la motivation d'apprendre du participant.

1.6.2. Les domaines de développement de e-learning :

Le e-learning se développe dans trois domaines de formation [KMS 04] qui sont cités dans le tableau 03.

Formation à la carte	Formation initiale	Formation continue professionnelle
Cible : le particulier qui cherche une formation plutôt dans le domaine des loisirs ou de la culture La formation passe par des portails de formation.	Cible : les étudiants, les écoles, les universités mettent en œuvre des programmes de formation La formation repose sur des plates-formes de télé-enseignement.	Cible : les salariés d'entreprise, les indépendants, les professions libérales, les adultes en reprise d'étude. Actuellement, c'est le domaine le plus concerné par l'offre de E-learning

Tableau 03 : Domaines de développement de e-learning

1.6.3. Les prestataires de e-learning :

L'univers de e-learning s'étend à différents prestataires :

- ✚ Les entreprises qui offrent des solutions technologiques : infrastructure, plates-formes.

- ✚ Les sociétés qui fournissent des contenus pédagogiques.
- ✚ Les sociétés qui développent un contenu pédagogique sur mesure.

1.6.4. Comment monter un projet e-learning ?

Généralement, le montage d'un projet E-learning dans les institutions ciblées (Ex. Entreprises, Universités, Ecoles,...) passe par les étapes suivantes [KMS 04] :

✚ **Choix pédagogique :**

Choix du modèle pédagogique, du support au cours en présentiel ou à distance.

✚ **Choix technique :**

- Choix d'une plate-forme LMS (Learning Management System).
- Achat de licences d'utilisation.
- Définition des objectifs et des modules de la formation.
- Ressources de médiation (forum, chat, vidéoconférence, mode asynchrone ou synchrone).
- Définition du nombre maximal d'élèves, du nombre de groupes, de la durée des formations.
- Choix des outils d'appui en cas de production local du contenu où choix d'un fournisseur de contenu pédagogique.
- Définition de l'infrastructure (serveurs, disque dur, comptes d'accès).

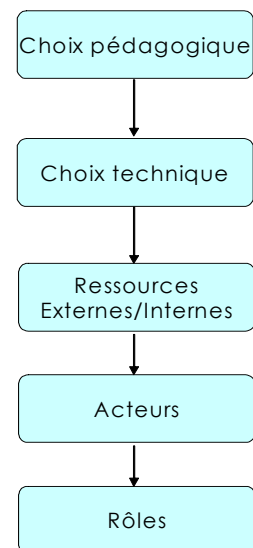


Figure 01 : les étapes du montage d'un projet E-learning

✚ **Ressources externes / ressources internes :**

- Documents pédagogiques disponibles sur d'autres médias (CD-ROM, papier) en cas de besoin.
- Logistique de distribution.
- Infrastructure technologique (bande passante, équipements de réception de vidéo en cas de besoin...).
- Tuteurs et animateurs de cours.
- Spécialistes de contenu.
- Concepteur pédagogique.
- Équipe de production.
- Équipe de logistique.
- Support technique.

Les acteurs et leurs rôles :

- Spécialiste de contenu : Maîtrise le sujet traité par le module. Parfois, la personne qui a écrit le contenu du cours n'est pas le tuteur lui-même.
- Apprenant : Cible de tous les acteurs décrits.
- Equipe de support : Responsable pour la résolution de problèmes techniques des apprenants. Généralement il y a un horaire de garde, basé sur les heures d'accès les plus fréquents.
- Equipe de production : Constituée au moins d'un designer et un programmeur. Ils produisent le contenu du cours.
- Animateur : Soutien le tuteur dans la gestion des groupes. Responsable pour la mise à jour du cours, l'affichage et la publication de fichiers à télécharger.
- Tuteur : Parfois peut-être la même personne qui a écrit le cours, il est aidé par l'animateur de cours, pour faire le tutorat de la formation, résoudre des questions, proposer des thèmes de discussion et modérer les séances de chat.
- Equipe de logistique : Avec l'animateur du cours, elle gère les délais et envoie/reçoit des matériaux avant que les cours ne débutent.

1.7. Les plates-formes de e-learning :

Dans le e-learning la connexion entre le réel et le virtuel s'effectue à travers des plates-formes.

1.7.1. Définition :

Une plate-forme de E-learning appelée parfois LMS (Learning Management System) est considérée comme étant :

- un site web qui héberge le contenu didactique et facilite la mise en œuvre de stratégies pédagogiques [16],
- 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 [CJ 02],
- un produit dérivé des logiciels CMS (Content Management System) mais présente des fonctions importantes pour la pédagogie et l'apprentissage. C'est un logiciel de création et de gestion de contenus pédagogiques destinés à trois types d'utilisateurs : l'enseignant, l'étudiant et l'administrateur. Il regroupe les outils nécessaires aux trois intervenants permettant d'incorporer des ressources pédagogiques multimédias, de participer à des activités et d'effectuer un suivi en mode connecté ou déconnecté suivant les paramètres de la plate-forme. Il s'agit d'une composante essentielle d'un dispositif e-learning mais elle n'est pas la seule [16].

Une plate-forme peut être acquise, développée sur mesure ou louée. Le marché ayant déjà quelque peu mûri, on peut dire aujourd'hui que l'acquisition d'un produit

du marché est moins chère et moins risquée (plus fiable, plus rapide à mettre en oeuvre) que le développement sur mesure.

1.7.2. Les principales fonctions des plates-formes :

Dans le cadre des technologies web, les plates-formes proposent des activités synchrones ('en temps réel'), asynchrones ('en différé'), collaboratives ou de knowledge management. Parmi les fonctions offertes, nous citons :

- La présentation du catalogue de cours,
- L'intégration des modules de cours et des ressources annexes,
- La diffusion des cours à la demande sur les postes des utilisateurs,
- La gestion des activités des tuteurs,
- La gestion des évaluations des apprenants,
- La gestion des processus qualité,
- La construction des parcours de formation personnalisés,
- Le support à la création d'une communauté d'utilisateurs,
- Le reporting pour les ressources humaines,
- La gestion administrative des apprenants incluant les inscriptions et la comptabilité.

Voici représentées schématiquement, dans la figure 02, les différentes fonctions des plates-formes :

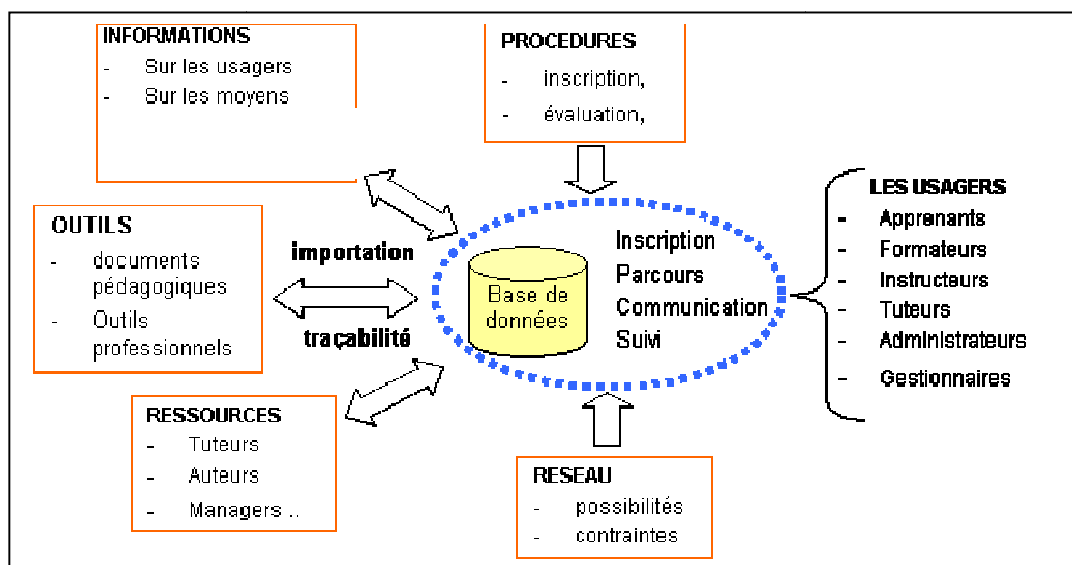


Figure 02 : Les différentes fonctions des plates-formes [KMS 04]

1.7.3. Les principaux critères que doivent vérifier les plates-formes :

Quelle plate-forme utiliser pour gérer ses formations en ligne : WebCT, moodle, sakai, claroline, ... ? Si certaines plates-formes font parler d'elles plus que d'autres, sont-elles pour autant les meilleures ? Sont-elles performantes et adaptées aux besoins désirés ? Le choix de la plate-forme adéquate devient délicat en raison d'une offre

abondante et mouvante et de la multiplicité des fournisseurs de plates-formes et de portails (incluant eux-mêmes une plate-forme). C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de définir des critères d'évaluation que doivent vérifier les plates-formes de e-learning. Les sites spécialisés EDUTOOLS [27] ont défini des critères basés principalement sur l'intégration ou non des outils suivants [S 06] :

1.7.3.1. Les outils de communication :

- ❖ **Forum de discussion** : Espace de discussion sur Internet fonctionnant, de manière asynchrone, comme une boîte aux lettres publique, dans laquelle chacun est libre de consulter les messages et d'y répondre moyennant une inscription. Un forum ou newsgroup (groupe de discussion) s'établit généralement autour d'un sujet donné. Dans certains cas, une personne appelée modérateur se charge, entre autres, d'animer les débats et d'éliminer les messages non conformes à la charte du forum.
- ❖ **Echange de fichiers** : Les outils d'échange de fichier permettent à des apprenants de transférer des fichiers à partir de leur ordinateur local vers le serveur ou de les télécharger et de partager ces fichiers avec des instructeurs ou d'autres étudiants dans un cours en ligne. Les attachements de fichiers aux messages font partie des emails internes et des forums de discussion.
- ❖ **Courriels** : Service permettant aux utilisateurs habilités, la saisie, la consultation différée et la transmission, sur des ordinateurs connectés en réseau, de documents informatisés, ou messages électroniques, l'échange se faisant de manière asynchrone. On distinguera le courrier interne et le courrier externe qui nécessite une adresse email sur un serveur
- ❖ **Notes et journaux** : Ce module propose une activité favorisant la réflexion personnelle. L'enseignant demande à l'étudiant de réfléchir à un sujet particulier. L'étudiant écrit le résultat de ses réflexions dans un journal personnel. Il peut revoir et modifier sa contribution ultérieurement. Cette contribution est privée et peut seulement être lue par l'enseignant, qui peut la commenter. Il peut également donner une note au texte de l'étudiant. Habituellement une bonne idée consiste à lancer une activité de journal par semaine.
- ❖ **Clavardage** : Espace de discussion sur Internet, entre deux ou plusieurs individus connectés dans lequel les participants conversent au moyen d'outils de messagerie instantanée, les réponses étant généralement publiques, Il s'agit donc d'un lieu de conversation en temps réel (synchrone). A la différence du forum de discussion, les échanges sont synchrones et, de ce fait, le domaine d'intervention d'un éventuel modérateur est très réduit.
- ❖ **Audio-Vidéo conférence** : Audio-conférence est un système de réunion téléphonique à plusieurs participants, possible sur des réseaux téléphoniques

numériques ou analogiques et permettant éventuellement la transmission d'autres signaux tels que ceux de télécopie ou de téléécriture. Dans notre contexte, il s'agit de services qui permettent aux instructeurs de diffuser de la vidéo (audio) à partir du serveur ou simplement de converser entre le tuteur et l'apprenant ou entre apprenants seulement.(en audio ou en intégrant la vidéo). La communication peut se faire point à point ou par diffusion globale.

- ❖ **Tableau blanc** : permet le partage synchrone d'une fenêtre graphique et textuelle à l'intérieur de laquelle tous les utilisateurs peuvent interagir simultanément. Cette fonction autorise le partage de documents et la possibilité d'élaborer des documents en temps réel qui seront visionnés par les apprenants et modifiables par chacun des participants.
- ❖ **Echange d'application** : Possibilité de partager une fonctionnalité tel que le tableau blanc par exemple.
- ❖ **Liste des personnes connectées** : Visibilité des personnes en ligne avec signalisation par leur nom d'inscription et temps de connexion. (souvent accompagné de la photo insérée).

1.7.3.2. Les outils de productivité :

- ❖ **Signets** : (bookmarks) permettent aux étudiants de revenir facilement aux repères qu'ils sont établis à l'intérieur d'un document ou sur le web. Souvent il s'agit de signets destinés seulement à l'apprenant pour se repérer, mais cela n'exclut pas que les signets soient intégrés par l'instructeur et concernent tout le groupe. Certains systèmes permettent d'ajouter des annotations personnelles à ces signets.
- ❖ **Aide en ligne** : Des outils d'Orientation/Aide sont conçus pour assister des étudiants dans l'utilisation du système de gestion de cours. Généralement, ces outils se résument à des manuels d'utilisateur, des glossaires, et souvent une assistance à travers un clavardage un email ou un appel téléphonique.
- ❖ **Outils de recherche** : Application permettant d'effectuer une recherche à l'intérieur d'un dossier ou sur le site à l'aide de mots clés spécifiés dans un formulaire.
- ❖ **Calendriers et gestion du temps** : Ces outils de gestion de calendrier et de temps permettent aux apprenants de vérifier l'avancement de leur travail par rapport à une échéance. Il est possible d'utiliser des pondérations pour les sous tâches afin d'évaluer au mieux l'état d'avancement global. par catégorie d'unité, par article et globale de cours.
- ❖ **Synchronisation et travail offline** : On peut travailler complètement off-line sur les différents fichiers et synchroniser sur le serveur web en fin de travail.

- ❖ **Agenda commun** : Il permet de définir des événements pour tous les utilisateurs du système, pour les participants d'un cours, pour les membres d'un groupe ou pour un utilisateur individuel. Les travaux à rendre apparaissent automatiquement dans l'agenda à la date butoir pour leur rendu.

1.7.3.3. Les outils d'administration :

- ❖ **Authentification** : Authentifier un utilisateur, c'est s'assurer qu'il est bien celui qu'il prétend être. Dans notre contexte il s'agira d'un identifiant de l'utilisateur et son mot de passe.
- ❖ **Autorisation aux cours** : C'est donner la possibilité à un visiteur d'accéder et de consulter les cours mis en ligne. Cette autorisation peut prendre fin en mettant un terme à l'inscription du candidat.
- ❖ **Inscriptions** : C'est la fonctionnalité qui permet à un étudiant de s'inscrire pour une formation ou consultation en ligne. Divers procédés sont utilisés pour valider cette inscription (manuelle, mail, confirmation de message d'inscription, etc.).

1.7.3.4. Les outils d'implication étudiants :

- ❖ **Auto-évaluation** : Évaluation par l'apprenant de ses progrès, généralement effectuée au moyen d'un questionnaire qu'il remplit seul.
- ❖ **Portfolios** : Les Portfolios sont des espaces (page personnelle avec photo) où les étudiants peuvent annoter et enregistrer leurs critiques et visions à propos d'un cours, ainsi que leur perception sur les modes d'applications des nouvelles connaissances. Les portfolios étudiants sont souvent intégrés sur les pages personnelles et sont en relation avec une thématique ou un cours donné. Il peut exister des dossiers privés partageables (ou partagés).

1.7.3.5. Les outils de diffusion de cours :

- ❖ **Gestion des cours** : C'est la possibilité d'ajouter au cours des documents électroniques disponibles comme des pages web, des fichiers audio, des séquences vidéo, des documents OpenOffice ou des animations Flash. N'importe quel type de fichier peut être déposé dans le cours et stocké sur le serveur avec la possibilité de déplacer ces fichiers, les renommer, les modifier ou les supprimer.
- ❖ **Évaluations en ligne** : Évaluation de la formation : Action d'apprécier, à l'aide de critères définis préalablement, l'atteinte des objectifs pédagogiques et de formation d'une action de formation. Cette évaluation peut être faite à des temps différents, par des acteurs différents (stagiaire, formateur, entreprise cliente...). On distingue, par exemple, l'évaluation de

satisfaction, l'évaluation du contenu de l'action de formation, l'évaluation des acquis, et l'évaluation des transferts éventuels en situation de travail. (AFNOR)

- ❖ **Suivi des étudiants** : Cette fonctionnalité permet, étant donné un travail attribué à un étudiant, en fixant une date limite de remise, de suivre la progression du devoir soumis. Les étudiants téléchargent alors un fichier et l'enseignant peut donner un *feedback* sous la forme d'un commentaire et/ou d'une note. L'enseignant peut définir lui-même le barème d'évaluation (1-6 ; insuffisant très bien ; etc.). Il existe également des procédures de suivi des travaux de groupe, dans ce cas, les étudiants ne voient que les travaux et les commentaires postés par les membres de leur propre groupe. L'enseignant peut corriger et visualiser les contributions des différents groupes. Des *méthodes de « tracking »* qui consistent à suivre (littéralement "poursuivre") et mémoriser, le cheminement et l'activité de l'apprenant dans son parcours de formation sont parfois mentionnés.
- ❖ **Statistiques de suivi de cours** : Possibilité d'avoir des statistiques sur les fréquentations d'un étudiant ou d'un groupe d'étudiants ainsi que sur les mesures de succès aux exercices attribués.
- ❖ **Tests et notations automatisés** : Ce module permet à l'enseignant de concevoir et d'inclure des tests dans son cours. Plusieurs types de questions sont proposés : choix multiples, question d'appariement, vrai ou faux, réponse courte, réponse numérique, etc. Ces questions sont conservées dans une base de données classée par catégorie, et peuvent être utilisées à plusieurs reprises dans le cours. Les catégories de questions peuvent même être publiées, ce qui les rend disponibles aux autres enseignants. L'enseignant peut autoriser plusieurs tentatives pour effectuer le test. Chaque tentative est automatiquement évaluée. Il peut choisir de faire afficher un *feedback* pour chaque question et d'afficher les réponses correctes.

1.7.4. Quelques exemples des plates formes les plus utilisées :

Etant donné que le besoin d'un système d'enseignement bimodal s'est ressenti, des dizaines de plates-formes d'enseignement à distance (EAD) ont vu le jour. Parmi ces plates-formes, nous pouvons citer :

- ✚ **Moodle** : (<http://www.moodle.com/>) (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) Moodle est une plate-forme permettant la mise en place de cours en ligne et possédant un système de tutorat des apprenants et de gestion de classes virtuelles. Moodle est mis à disposition librement en tant que logiciel Open Source. Il est conçu pour favoriser une pédagogie socio-constructiviste (collaboration, activités, réflexion critique, etc.) qui implique une forte orientation « communauté d'apprentissage », c'est à dire partager ses connaissances et communiquer avec les enseignants et les apprenants, plutôt que la simple « mise en ligne de cours et d'exercices ». Moodle se prête

également à des styles d'enseignement plus classiques, notamment à un enseignement hybride ou « Blended Learning ». Il permet en outre la mise en place de contenus multilingues.

Moodle contient la majorité des fonctions que l'on trouve sur les plateformes de télé-enseignement. Parmi les nombreuses fonctionnalités de Moodle :

- Mise en place de cours totalement en ligne ou en complément d'un enseignement présentiel.
- Interface ergonomique respectant les standards du Web.
- Création de répertoires multiples pour les cours (description des contenus de cours).
- Accès sécurisé (authentification et possibilité d'accès invité).
- Editeur de contenus intégré (de type What you see is what you get).
- Gestion du site par un administrateur.
- Intégration possible de plug-in (modules d'activités, nouveaux thèmes d'affichage...).
- Multilingue (43 langues).
- Différents niveaux d'accès (administrateur, enseignant, tuteur, étudiant) et droits (création de cours, gestion des profils, de la configuration de l'espace de formation...).
- Tracking (suivi des activités des utilisateurs : dernier accès, nombre de consultations, historique des actions, publications dans les forums, contributions...).
- Intégration d'une messagerie électronique.
- Gestion de l'évaluation des apprenants, de la mise en ligne de contenu...

✚ **Sakai** : (<http://www.sakaiproject.org/>) : Sakai est le fruit de plusieurs travaux de réingénierie et consolidation de développements réalisés initialement par des universités américaines : Michigan, Indiana, MIT et Stanford. Cet environnement open source est supporté par une importante communauté qui assure son développement et son évolution : développeurs, équipes d'opération, testeurs, rédacteurs de manuels, professionnels des universités, chercheurs et grandes entreprises comme IBM et Sun. Sakai est un environnement collaboratif pour l'enseignement et une plateforme ouverte, dans laquelle de nouveaux outils et les plus récents résultats en conception pédagogique peuvent s'intégrer.

✚ **Claroline** : (<http://www.claroline.net/>) La plate-forme claroline est développée par l'Université Catholique de Louvain en Belgique. Elle est disponible dans 31 langues et est utilisée par plus de 500 organisations dans 68 pays. Claroline est un outil informatique Web permettant de soutenir l'enseignement ou de faire une formation à distance. Elle est une plate-forme d'apprentissage en ligne (ou LMS) sous licence GPL, issu d'un besoin de simplicité de mise en ligne de ressources et logistique d'un cours. Par et pour des utilisateurs n'ayant pas obligatoirement la fibre "informatique". L'application est multilingue. Claroline est orienté vers le concept d'espace associé à un cours ou à une activité pédagogique.

1.7.5. Etude comparative de quelques plates-formes de e-learning :

Cette étude comparative est basée sur la grille d'évaluation standard proposée par Edutools vue précédemment [S 06]:

OUTILS DE COMMUNICATION	
Forums de discussion	
Moodle	L'outil de discussion supporte un modèle de pédagogie socio-constructiviste. Des discussions peuvent être affichées par date, par thème et par auteur. Les instructeurs peuvent déterminer le niveau de la participation (lue, écrit, ou signaler d'une façon anonyme) des apprenants. L'outil de discussion inclut un éditeur de texte de formatage. Chaque cours contient par défaut un forum de discussion général. Les forums peuvent être structurés de différentes manières. Les forums peuvent permettre l'évaluation par les pairs de chacun des messages. Divers formats d'affichage sont disponibles, et les messages peuvent avoir des annexes (fichiers joints).
Sakai	Les discussions peuvent contenir des liens, des attachements, des images, du texte simple ou enrichi. Un brouillon peut être enregistré. Elles peuvent être filtrées par catégorie ou par sujet. Ces derniers peuvent être réduits ou explosés, ou affichés en entier sur une page. Les droits d'accès et de modification peuvent être réglés pour chaque site, et pour chaque rôle. Le créateur d'un sujet peut permettre la réponse à un seul ou à tous les messages. Des groupes peuvent être créés pour gérer des espaces de discussion restrictifs.
Claroline	forum public, technique ou privé, les discussions peuvent être affichées par date
Échange de fichiers	
Moodle	L'échange se fait exploitant une zone de dépôt de fichiers sur le serveur. Ces fichiers peuvent être exploités le moment opportun selon une planification de cours et de séances. Cette zone de dépôt n'est pas accessible aux étudiants à moins de réaliser un lien vers un de ces fichiers dans une ressource du cours élaboré par l'enseignant. Ces fichiers peuvent être des images, des textes, des fichiers sons, des vidéos etc. Ces zones de stockage sont distinctes pour chaque cours.
Sakai	Les étudiants et instructeurs possèdent tous un dossier privé permettant de transférer plusieurs fichiers à la fois. Ces dossiers peuvent aussi contenir des URL, ainsi que des fichiers HTML et éditables à même Sakai. Un site de cours possède aussi un dossier de fichiers, publics ou privés. Chaque ressource téléchargée est accompagnée de métadonnées complètes et permet des options de notification. Un dépôt WebDAV permet de 'monter' les dossiers de ressources de Sakai sur le système d'exploitation local.
Claroline	Les étudiants d'un même groupe peuvent échanger des fichiers, documents et liens (documents et liens sont fusionnés).
Courriel	
Moodle	Il n'existe pas de messagerie interne, les étudiants doivent avoir des courriels externes
Sakai	Les usagers doivent fournir une adresse externe afin d'être notifiés. Les messages envoyés sont tous conservés dans un archivage par site. Des alias peuvent être créés pour rejoindre tous les étudiants abonnés à un cours. Il est possible de définir trois niveaux de notification, soit toutes indépendamment, une par jour compilant les notifications, ou aucune notification. D'autre part, les instructeurs peuvent outrepasser ces niveaux en marquant la notification comme étant importante.
Claroline	Envoi d'un e-mail en cliquant sur l'adresse de l'un des utilisateurs. Publication des annonces

Notes et journaux	
Moodle	l'enseignant spécifie une tâche à effectuer, avec une date limite et une note maximale. Les étudiants pourront déposer un fichier contenant le fruit de leur travail. La date et l'heure du dépôt du fichier sont enregistrées. L'enseignant peut donner une note et ajouter un commentaire. Une demi-heure après la remise de la note, Moodle enverra automatiquement à l'étudiant une notification par courriel.
Sakai	Un outil de nouvelles permet d'intégrer dans les sites Sakai des nouvelles en continu provenant de sources RSS. Le contenu est accessible en tant que nouvel outil via la barre de menu du site. Le système affiche aussi des messages du jour, particuliers à chaque site.
Claroline	Pas de journaux
Clavardage	
Moodle	A la différence des forums, les messages postés dans le salon de clavardage ne sont conservés que le temps de la connexion. Cette activité peut-être paramétrée de manière à autoriser les conversations entre étudiants seulement, entre étudiants et enseignants ou entre tous les participants du cours.
Sakai	L'outil de chat permet à des usagers connectés au site d'échanger des messages textuels simples, qui sont archivés systématiquement. Il est possible d'afficher tous les messages d'un site, ou de restreindre l'affichage selon un nombre de message ou de jours. L'utilisateur voit à tout moment qui est connecté et ceux qui sont habilités peuvent créer de nouvelles salles de chat privées.
Claroline	Il y a un chat et un wiki.
Audio-vidéo conférence	
Moodle	pas de fonctionnalités de streaming vidéo, donc pas de visio ou audio-conférence, cependant il existe des metaplugins qui permettent d'attacher des fichiers audio ou vidéo à une activité et de les visualiser avec Quicktime ou Realplayer .
Sakai	En développement à l'université de Lancaster. Référence : http://e-science.lancs.ac.uk/eCollaborationTools/index.html
Claroline	Pas de vidéo conférence
Tableau blanc	
Moodle	Pas de tableau blanc
Sakai	En développement à l'université de Lancaster. Référence : http://e-science.lancs.ac.uk/eCollaborationTools/index.html
Claroline	Pas de tableau blanc
Partage d'applications	
Moodle	Pas de partage d'application
Sakai	En développement à l'université de Lancaster. Référence : http://e-science.lancs.ac.uk/eCollaborationTools/index.html
Claroline	Les documents d'un cours sont accessibles par le formateur et par les étudiants
Liste des personnes connectées	
Moodle	La liste des utilisateurs en ligne, c'est-à-dire qui sont connectés, est affichée dans la page de présentation. On peut y voir les nom et prénom ainsi qu'une photo miniature.
Sakai	Un administrateur pourra voir le nombre de sessions actives et les détails de chacune dans l'outil d'administration. Les étudiants présents dans le chat peuvent aussi voir qui sont connectés dans la salle. Aussi, à la page d'accueil de chaque site, on retrouve une liste des utilisateurs présents.
Claroline	Pas de liste des personnes connectées
OUTILS DE PRODUCTIVITÉ	
Signets	
Moodle	pas pris en charge.

Sakai	Cette fonctionnalité est couverte par l'ajout d'URL, tel que mentionné au point 1.2, dans les ressources ou les dossiers privé des usagers. Ces URL peuvent être détaillées par plusieurs champs descriptifs.
Claroline	Des outils de liens
Aide en ligne	
Moodle	Les fonctionnalités sont en général bien renseignées grâce à des indicateurs représentés par des points d'interrogation.
Sakai	L'aide en ligne est accessible à tout point de l'application. Elle apparaît sous la forme d'une fenêtre popup. Elle offre une vue d'ensemble de chaque fonctionnalité, les instructions détaillées de chacune et un outil de recherche basique.
Claroline	Pas d'aide en ligne
Outils de recherche	
Moodle	La recherche du texte intégral offre diverses options : la recherche des mots, des expressions et des termes apparaissant dans un sujet. Elles peuvent être combinées afin d'affiner les recherches.
Sakai	La recherche simple peut s'effectuer dans les discussions, l'archive des emails, les règles d'accès, la liste des sites et des usagers, ainsi que dans l'aide en ligne. Un module de recherche séparé permet aussi l'indexation complète de tous les éléments du site et une recherche à la Google du contenu. Il utilise les méthodes d'Apache Lucene.
Claroline	Pas d'outils de recherche
Calendrier et gestion du temps	
Moodle	Les usagers ont accès à un calendrier qui indique leurs travaux et activités réalisées et ce qui reste à faire.
Sakai	Les usagers ont accès à un calendrier qui indique de façon graphique les rencontres, laboratoires, examens, quiz et autres échéances. Les étudiants peuvent y rajouter des activités privées. Ces calendriers peuvent être affichés sur une base journalière, hebdomadaire, mensuelle, ou annuelle, pour un ou tous les cours. Les activités peuvent aussi être affichées sous forme de listes. L'importation de calendriers Outlook et Meeting Maker est aussi possible. Une version imprimable est disponible sous forme de fichier PDF.
Claroline	Les formateurs peuvent signaler des événements et des annonces dans le calendrier du cours. Agenda commun et agenda personnel
Synchronisation et travail offline	
Moodle	Il n'y a pas de procédure de synchronisation entre le travail offline et les événements sur la plateforme.
Sakai	Non disponible
Claroline	Discussion synchrone en mode texte (chat)
OUTILS D'ADMNISTRATION	
Authentification	
Moodle	Il y a différentes façons de gérer l'authentification des utilisateurs : Authentification par courriel et Création manuelle de comptes. l'accès est protégé par nom d'utilisateur et un mot de passe. il est possible d'authentifier les usagers par un serveur LDAP,POP3 ou Shibboleth .
Sakai	Chaque usager possède un mot de passe qu'il peut modifier. Les administrateurs peuvent protéger l'accès aux cours par un login. L'aide en ligne précise aussi comment implanter SSL et HTTPS au niveau du serveur pour protéger les données et les mots de passe. Le système peut s'authentifier auprès de serveurs LDAP externes ou par le protocole Kerberos, et supporter plusieurs unités organisationnelles et hôtes

	virtuels.
Claroline	paramétrable (l'accès est protégé par nom d'utilisateur et un mot de passe)
Autorisation aux cours	
Moodle	Dans la plupart des cas, un cours est à accès restreint. Pour y accéder il faut entrer une clef d'inscription qui est donnée par l'enseignant.
Sakai	Les administrateurs peuvent limiter l'accès aux cours pour les étudiants possédant les rôles adéquats. Ces rôles sont des ensembles de permissions de maintenance et d'accès sur les diverses fonctions du site. Les rôles peuvent aussi être groupés dans des <i>realms</i> , qui sont des gabarits de sécurité applicables aux diverses sections du site. Les <i>realms</i> peuvent être distribués pour les diverses institutions ou départements hébergés par le serveur.
Claroline	L'apprenant a le droit d'accès au cours où il est inscrit
Inscriptions	
Moodle	Les étudiants peuvent s'enregistrer eux-mêmes au serveur L'enseignant peut également procéder à l'inscription de ses étudiants et importer le fichier des inscrits.
Sakai	Les étudiants peuvent s'enregistrer eux-mêmes au serveur et s'inscrire aux cours publics sans l'intervention des administrateurs. Ces derniers peuvent aussi ajouter des participants au site de façon automatisée par l'utilisation de scripts ou par l'intégration de providers.
Claroline	Sont faites par l'administrateur grâce à un formulaire obligatoire ou par le formateur
OUTILS D'IMPLICATION ÉTUDIANT	
Auto-évaluation	
Moodle	Les instructeurs peuvent créer des auto-évaluations chronométrées ou non contenant des questions à choix multiples, vrai-faux, à correspondance ou de type remplir les trous, des commentaires de l'instructeur et des liens vers le matériel de cours pertinent.
Sakai	Les instructeurs peuvent créer des évaluations contenant des questions à choix multiples, vrai-faux, à correspondance ou de type remplir les trous. Ces évaluations, chronométrées ou non, peuvent contenir des commentaires de l'instructeur et des liens vers le matériel de cours pertinent.
Claroline	Des outils de l'autoévaluation sous différentes formes d'exercices. Cinq types de questions sont fusionnés.
Portfolios	
moodle	Pas disponible
Sakai	OSP 2.1 (OpenSource Portfolio) est un produit autonome et mature qui évolue depuis janvier 2003 grâce à une communauté d'une douzaine d'universités. Il est inclus dans Sakai 2.2 en tant qu'une suite d'outils permettant aux utilisateurs de cumuler des items, de réfléchir aux interconnexions de ces items, de designer et puis de publier un portfolio. La communauté OSP jouit d'une série complète d'outils collaboratifs et de support. Elle est d'ailleurs synchronisée et couplée à celle de Sakai et l'utilise elle-même.
Claroline	Les étudiants ont des dossiers publics pour mettre leurs travaux pour chaque cours.
OUTILS DE DIFFUSION DE COURS	
Gestion des cours	
Moodle	Les instructeurs peuvent spécifier le nombre de séances selon des dates et des périodicités, ajouter à un cours des fichiers existants, tels que des pages web, des fichiers Office, des dossiers audio, des images, de la vidéo, des fichiers animés. Ils peuvent également déplacer, modifier, éditer ou supprimer des cours.
sakai	Les instructeurs peuvent diffuser des travaux, évaluations et annonces en fonction de dates prédéfinies. De plus, ils peuvent créer et diffuser des modules de cours

	selon le standard IMS CP à l'aide l'outil Melete.
Claroline	Consultation des listes des cours et des listes utilisateurs. Enter dans un cours, modifier, supprimer un cours, ...Le choix d'un cours se fait par l'apprenant lui même ou par le formateur
Évaluations en ligne	
Moodle	Les instructeurs peuvent donner des notes aux travaux en ligne ou hors ligne. Ils peuvent consulter et éditer les notes par travaux, par étudiant. Les notes seront ainsi intégrées au rapport final de l'étudiant et s'ajouteront aux autres notes du cours.
Sakai	Les instructeurs peuvent donner des notes aux travaux en ligne ou hors ligne. Ils peuvent consulter et éditer les notes par travaux, par étudiant, ou exhaustivement. Il est possible d'exporter les notes vers un tableur tel Excel. L'échelle des notes peut être numérique, par lettres ou par succès/échec.
Claroline	Pas d'évaluation en ligne
Suivi des étudiants	
Moodle	L'instructeur peut établir un bilan de progression de l'étudiant contenant le nombre de fois que l'étudiant s'est connecté, les dates de connexions, les adresses IP utilisées, l'activité exécutée (cours, discussions, forum, test), dans le déroulement de tests on peut connaître également le nombre de tentatives, les % de succès etc. Il peut enregistrer les notes dans un espace non accessible à l'étudiant.
Sakai	L'outil SiteStats mentionné permet de fusionner les résultats des divers sites et de filtrer les activités, accès et ressources pour un usager spécifique, dans une période de temps voulue.
Claroline	Les formateurs ont la possibilité d'avoir des rapports sur le suivi des cours par les étudiants
Statistiques de suivi de cours	
Moodle	Il est possible de suivre l'activité d'un étudiant ou d'un groupe, quant aux modules de statistiques globaux ils sont peu développés. Diverses propositions émanent dans les forums, mais une intégration formelle avec outils statistiques et graphes n'existe pas.
Sakai	Le module SiteStats, contribué par une université membre de la communauté, cumule des données d'accès en temps réel. Il permet d'avoir une vue d'ensemble sur les visites et les activités effectuées par les usagers d'un site, sous forme d'un histogramme dans le temps. Une vue détaillée de tous les événements et des accès aux ressources est aussi disponible. Les divers événements peuvent être sélectionnés parmi une liste exhaustive. Cela permet de choisir ceux qui sont considérés comme étant des activités dans la vue d'ensemble et ceux qui seront listés dans la page des détails. Ces données d'accès peuvent être exportées en Excel ou en CSV.
Claroline	Possibilité de consulter les statistiques d'un utilisateur pour avoir une idée sur ses activités
Tests et notations automatisés	
Moodle	Un test peut comprendre des questions à choix multiples, des questions vrai ou faux, des exercices d'appariement, des questions à réponse courte (saisie d'un mot ou d'une expression), ou à réponse intégrés, ...etc. il existe aussi la possibilité d'intégration d'un questionnaire externe créé avec un logiciel qui n'est pas intégré à la plate-forme (Hot Potatoes", "Netquiz", "CourseBuilder", ..). les résultats que l'étudiant a obtenus dans ces questionnaires ne sont pas intégrés dans le rapport d'activité de l'étudiant (ses notes).
sakai	Les instructeurs peuvent créer des questions évaluées automatiquement de types suivants : vrai ou faux, choix multiples, réponses multiples, à correspondance, remplir les blancs et réponse courte. Les questions peuvent contenir des documents attachés. Les instructeurs peuvent créer des banques de tests. Les questions peuvent

	être créées à partir des banques de tests ou peuvent être importés des banques externes supportant IMS QTI. Le système peut randomiser les questions et les choix de réponses. Les instructeurs peuvent régler une durée limite au test. Les instructeurs peuvent permettre plusieurs tentatives et spécifier si les bons résultats doivent être montrés. Les instructeurs peuvent ignorer les résultats automatisés
Claroline	Tests et exercices en ligne sous différentes formes
ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE	
Navigateur (browser)	
Moodle	Tout navigateur HTML 3 et +, CSS etc
Sakai	L'application supporte Internet Explorer 5.5+ (Windows), Netscape 7.1+ (Windows, MacOS X) et Firefox (Windows, MacOS X). JavaScript doit absolument être activé pour que toutes les fonctionnalités soient présentes. Certaines fonctionnalités sont défectueuses sous Safari ou IE pour Mac.
Claroline	Tout type de navigateur (I.E, Netscape, Mozilla)
Bases de Données supportées	
Moodle	MySQL ou PostgreSQL
Sakai	Le système supporte Oracle 9i et MySQL 4.1 et plus. Il permet aussi l'utilisation de Hypersonic SQL, une technologie de bases de données en mémoire adaptée aux démos et au développement. Une seule base de données est nécessaire et elle peut coexister avec les autres tables du système.
Claroline	MySQL
Serveurs (Unix, Windows, OS)	
Moodle	Windows, Unix, Linux
Sakai	En environnement de développement ou de démonstration, un ordinateur standard avec au moins 1 Go de mémoire est suffisant. Tout dépendamment de l'envergure de l'installation, les recommandations atteignent 4 Go de mémoire et peuvent nécessiter des serveurs en cluster si des centaines de milliers d'utilisateurs sont prévus. Les logiciels requis sont Tomcat 5.5.9 ou plus et Java 1.4 ou plus.
Claroline	Windows 2k / NT, Unix / Linux
Facilités d'installation,	
Moodle	Installation simplifiée avec Easy-Php
Sakai	L'installation compte un dizaine de points majeurs qui impliquent une connaissance de base de Tomcat, Maven, Java JDK et MySQL. Ces étapes sont très bien documentées et peuvent être toutes réalisées en moins de 30 minutes à partir du code source, pour une installation simple. Une démonstration vidéo est aussi disponible. Pour ce qui est des installations plus complexes, telles celles utilisant un provider, un cluster, il faudra cependant un certain temps pour dénicher l'information parmi les diverses source de documentation.
Claroline	Facile à installer et à utiliser
Documentation	
Moodle	Moodle est bien documentée
Sakai	Sakai offre une documentation complète de ses fonctionnalités de base. Le site en ligne SakaiPedia est un outil de type Wiki qui répertorie divers articles s'adressant à tous les intervenants du projet. On retrouve par ailleurs une trentaine de documents techniques dans le dépôt de développement. Il est possible de trouver de l'aide via plusieurs sources différentes. Le Dashboard est un système de type <i>Altassian Confluence</i> qui regroupe une soixantaine de groupes de discussions et des documents pertinents. Collab est un site réalisé avec Sakai et qui héberge divers sites de coordination ou de support aux groupes de discussions. La Sakai Knowledge Base liste quelques documents d'intérêt généraux de type FAQ.
Claroline	Disponible sur le site officiel de Claroline et des études d'évaluation sur la plate

formes. Elle toujours mis à jour par les développeurs et les utilisateurs de Claroline.
Site du développement : [http://www.icampus.ucl.ac.be/ CLARO01/](http://www.icampus.ucl.ac.be/CLARO01/)

Tableau 04 : un comparatif de quelques plates-formes

1.8. L'émotion des apprenants dans le e-learning :

Quand on parle de e-learning, il ne faut pas oublier une partie importante que sont les apprenants. Car la réussite d'un cours à distance est directement liée à la motivation et au comportement de l'apprenant.

1.8.1. Les caractéristiques de l'apprenant :

Les principales caractéristiques de l'apprenant que le système d'e-learning doit prendre en considération sont :

- Son univers culturel,
- Son passé, avec ses réussites et ses échecs,
- Son vécu, ce qui le concerne directement aujourd'hui, ses besoins,
- Ses rêves, ses désirs et ses capacités d'anticipation,
- Ses états émotionnels.
- Son profil psychologique
- Son style d'apprentissage préférentiel.

1.8.2. L'émotion : points de repères :

L'objectif principal d'un système de e-learning est de fournir un enseignement à distance. Pour atteindre cet objectif d'une manière fiable et efficace, il est important de prendre en considération plusieurs facteurs en liaison avec l'apprentissage entre autre l'humeur de l'apprenant ou plus spécifiquement son état émotionnel. Des recherches récentes en neurosciences et en psychologie [SM 90], [FC 04] ont montré que les émotions ont des influences sur plusieurs processus comportementaux et cognitifs, tels que l'attention, la mémorisation à long terme (les informations possédant un référent émotionnel sont mieux intégrées en mémoire), la prise de décision, etc. Mais avant de parler du rôle que peuvent avoir les émotions des apprenants dans les processus d'apprentissage, il convient de définir ce qu'on entend par émotion.

1.8.2.1. Qu'est ce qu'une émotion ?

La notion d'émotion est souvent caractérisée comme difficilement appréhendable, Il est donc difficile de trouver une définition unique et universelle de l'émotion. Tous les auteurs ont leur propre définition, nous pouvons néanmoins citer les définitions les plus répandues :

Selon wikipédia [33], « *L'émotion est créatrice d'un changement d'état, caractérisé par une brusque perturbation physique et mentale où sont abolies, en présence de*

certains excitations ou représentations très vives, les réactions appropriées d'adaptation à l'environnement. »

Filliozat [F 98], dans son ouvrage « l'intelligence du cœur », nous propose de considérer l'émotion comme « *un mouvement vers le dehors, un élan qui naît de l'intérieur de soi et parle à l'entourage, une sensation qui nous dit qui nous sommes et nous met en relation avec le monde* »

Caffi et Janney [CJ 94] la définit comme étant : « *un phénomène empiriquement investigable, généralement transitoire et d'une certaine intensité et qui se situe proche du terme d'affect et qui se manifeste au niveau linguistique de différentes manières (le choix des mots, l'intonation, les exclamations)* ».

Les chercheurs qui tentent de cerner les paramètres de l'émotion s'accordent pour la décrire comme étant [28] :

- Un événement somatique (chair de poule, rougeur, tremblements,...etc.),
- Un événement affectif (panique, vide,...etc.) expérimenté en relation à une perception (ex : de perte) et associé à un plan d'action (attaquer, se cacher, explorer,...).

Les émotions représentent une réponse physiologique, somatique et psychologique à une stimulation de l'organisme. Elles possèdent différentes composantes :

- des réactions physiologiques qui impliquent le système nerveux central, le système végétatif et le système neuro hormonal,
- des comportements qui se manifestent comme une expression faciale, un changement de posture ou une modification de la tonalité de voix et des réactions subjectives (ce que chacun éprouve).

Les émotions sont des indicateurs de nos besoins. En effet, lorsqu'on ressent une émotion positive, c'est qu'un besoin est satisfait et lorsqu'on ressent une émotion négative, c'est qu'un besoin est non satisfait.

Toutefois, il ne faut pas confondre émotions et sentiments. Wallon [T&al. 00], a précisé cette différence : les émotions se déroulent dans l'instant tandis que les sentiments sont plus étendus et solides dans le temps.

1.8.2.2. La durée de l'émotion :

Une émotion dure quelques secondes, quelques minutes et se déploie en trois temps : charge, tension, décharge.

Quand nous parlons d'une émotion qui dure des heures, il est préférable de parler d'humeur. De même, quand la durée se compte en semaines, nous parlerons de troubles affectifs.

1.8.2.3. Les caractéristiques des émotions :

Bien que les psychologues aient réussi à identifier et mettre en relation plusieurs composantes du processus émotionnel, les émotions restent difficiles à définir de manière formelle et générique. Il s'agit alors d'approcher l'émotion par l'intermédiaire de ses caractéristiques et propriétés les plus spécifiques. Scherer [S 00] caractérise ainsi les émotions par :

- leur dépendance au temps (il n'y a pas de tristesse qui dure une seconde comme il n'existe pas de surprise d'une année),
- leur variabilité quantitative et qualitative (de la peur à l'effroi comme de la joie à l'extase, de nombreux niveaux d'intensité existent),
- leurs propriétés physiologiques (comme l'accélération du rythme cardiaque, le rougissement de la peau, la sueur),
- leurs propriétés communicatives et adaptatives (l'émotion constitue un signal aussi bien externe qu'interne), et
- leurs propriétés rationnelles (les émotions ont toujours une cause et/ou un but).

Toutefois, bien que cette caractérisation nous fournisse les pistes nécessaires à l'établissement des caractéristiques d'un système informatique *émotionnel*, elle ne nous offre qu'un profil descriptif des émotions. Ainsi, ce n'est pas tant dans la reproduction de ces caractéristiques que réside la difficulté fondamentale de la modélisation informatique des émotions mais dans la juxtaposition de leurs mécanismes de traitement [LS 04].

1.8.2.4. Combien y a-t-il d'émotions ?

Damasio [D 94] a séparé les émotions en deux catégories : Les émotions primaires de base et innées et les émotions secondaires qui sont acquises et plus complexes. Certains stimuli de l'environnement, qui ne sont d'ailleurs pas systématiquement perçus consciemment, sont analysés par le système limbique et provoquent des réactions innées comme la peur, la joie, la tristesse, ...etc. Ce sont elles qui correspondent aux émotions primaires dites de base. Cependant, il n'y a pas un accord sur le nombre d'émotions primaires. On peut néanmoins dégager deux points de vue [33] :

- Les minimalistes considèrent qu'il n'y a que deux émotions : plaisir et douleur.
- Les autres auteurs reconnaissent cinq émotions primaires : (colère, joie, tristesse, peur, dégoût). Certains y ont ajouté la surprise, honte, le mépris etc.

Il existe bien sûr des émotions plus complexes appelées émotions sociales, d'une élaboration dite secondaire, mentalisée. On parle alors de sentiments ou d'affects selon les approches, avec par exemple la culpabilité, le désespoir, la rage, l'envie, la jalousie, la tendresse,...etc. les émotions secondaires sont des réponses émotionnelles qu'on *apprend*, c'est-à-dire elles sont acquises [S 98].

1.8.3. Le rôle de l'émotion dans le processus d'apprentissage :

Savoir si une machine pourra un jour ressentir des émotions est une question depuis longtemps posée et discutée, sans qu'une réponse définitive ait été apportée. Marvin Minsky [M 82] a retourné cette question d'une manière surprenante en indiquant que la question n'est pas de savoir si les machines peuvent avoir des émotions, mais la question est de savoir si elles peuvent être intelligentes sans émotions. Ici, il s'agira plutôt de se pencher sur un des aspects de l'intelligence à savoir les phénomènes d'apprentissage et de se demander si le fait d'intégrer un niveau émotionnel à des machines pourra améliorer leurs performances dans le processus d'apprentissage.

Dans le contexte éducatif, il y a une distinction entre processus cognitif, processus motivationnel et processus émotionnel. En effet :

- les processus cognitifs visent l'acquisition et la représentation du savoir et entretiennent avec le monde un rapport de représentativité des objets et des faits.
- Les processus motivationnels font référence aux buts et entretiennent avec le monde, les objets, les faits, etc. un rapport favorisant l'action.
- Les processus émotionnels sont basés sur l'acceptation ou sur le rejet des objets, des faits, etc. Ils entretiennent avec le monde une relation évaluative.

De nombreuses recherches en neuroscience et en psychologie ont montré que les émotions ont un rôle prépondérant bien en communication verbale et/ou non verbale. La qualité de la communication est un aspect important dans l'apprentissage. Par conséquent, dans les activités d'apprentissage, l'état émotionnel de l'apprenant influence directement sa performance d'une manière positive ou négative. En fait, les émotions positives sont fondamentales dans l'organisation et les processus cognitifs, elles jouent un rôle important pour améliorer la créativité et la flexibilité dans la résolution des problèmes. Cependant, les émotions négatives peuvent bloquer le processus cognitif, les gens qui sont anxieux ont un déficit dans le raisonnement inductif, une attention restreinte [G 04] et une capacité de mémoire réduite [FC 03], [G 04].

Pour cette raison, il est important que les systèmes dédiés à l'apprentissage tels que les systèmes de e-learning soient dotés d'une certaine intelligence dite émotionnelle.

1.8.4. L'intelligence émotionnelle :

La communication entre l'être humain et une machine est souhaitée à ce qu'elle ait lieu selon une interface intelligente en vue de contribuer à une réelle collaboration entre un système informatique et un utilisateur. Cependant, il est important de souligner le problème de mise en œuvre qui se pose et qui se résume en la perception et la traduction des intentions et des états émotionnels d'un être humain par une machine en une représentation compréhensible et exécutable par une machine, permettant ainsi la conception et la réalisation des systèmes interactifs émotionnellement intelligent.

Salovey et Mayer [SM 90], ont défini l'intelligence émotionnelle comme l'habilité de percevoir, d'évaluer et d'exprimer des émotions permettant d'améliorer le raisonnement, de comprendre et de réguler les émotions et les connaissances émotionnelles afin de favoriser la croissance émotionnelle et intellectuelle. Elle se compose de cinq facteurs :

- la connaissance de soi : le fait de pouvoir identifier ses émotions,
- la maîtrise de ses émotions : la capacité d'adapter ses sentiments à chaque situation,
- l'auto motivation : le fait d'être capable de remettre à plus tard la satisfaction de ses désirs et de réprimer ses pulsions,
- la perception des émotions d'autrui : l'empathie,
- la maîtrise des relations humaines : savoir entretenir des relations courtoises avec les autres.

L'intelligence émotionnelle permet donc de reconnaître l'état émotionnel courant de l'apprenant, de déterminer les émotions favorisant son apprentissage et de les produire afin de les soumettre dans des meilleures conditions d'apprentissage.

1.8.5. Comprendre l'état émotionnel de l'apprenant :

Plusieurs recherches en neuropsychologie [K&al 01] ont pu localiser quelques émotions de base dans le cerveau dont la répartition colorique est comme suit :

Vert = neutre

Rouge = colère

Pourpre = peur

Jaune = joie

Bleu = tristesse



Figure 03 : la neuroimagerie des émotions

En effet, les recherches sur l'évolution et la maturation du cerveau ont permis de conclure à l'existence non pas d'un mais de quatre cerveaux en un.

- ✚ Cerveau reptilien : qui offre une réponse immédiate aux stimuli et ne sait donc pas faire face aux situations nouvelles. Il est responsable de la survie et de la défense du territoire, des habitudes et des automatismes.
- ✚ Cerveau mammifère : (système limbique) qui sait généraliser les informations apprises, et à ce titre il est vital pour la mémoire à court et à long terme, donc à la structuration de l'identité personnelle. Il est également responsable du comportement émotionnel, du sens du groupe et de l'altruisme.
- ✚ Cerveau néocortex : qui traite les données reçues par les organes sensoriels. Il est responsable du langage symbolique et des activités complexes (lecture, écriture, arithmétique) ainsi que la production et la préservation des idées.

- + Cerveau lobes frontaux: ces lobes sont le siège de l'empathie et de la réflexion. Elles sont responsables de la planification et de la projection dans l'avenir.

Il faut conclure de cette quadripartition du cerveau que toute intervention pédagogique devra non pas s'adresser seulement à la partie cognitive du cerveau (néocortex, lobes frontaux) mais aussi à sa base affective (reptilien, mammifère) même si cette dernière ne peut s'exprimer verbalement.

Donc, il s'agira de réconcilier la motivation affective avec le contenu strictement cognitif. Et cela en ménageant un contexte d'apprentissage non menaçant, enrichissant et chaleureux, dans lequel l'apprenant se sente interpellé dans sa totalité.

Enfin, il faut accorder une grande latitude à l'apprenant pour la prise en charge de son propre apprentissage.

1.8.6. L'influence de la personnalité de l'apprenant sur son émotion optimal d'apprentissage :

Plusieurs travaux de recherche en psychopédagogie qui s'intéressaient à la prédiction de l'émotion optimale favorisant un apprentissage efficace pour l'apprenant [FC 03], [FCC 04] ont montré que les émotions sont étroitement liées au type de personnalité et les gens réagissent différemment dans une activité d'apprentissage selon leur personnalité. Ainsi, la compréhension de la personnalité et le profil psychologique de l'apprenant est primordiale pour l'identification de son état émotionnel optimal favorisant son apprentissage.

Plusieurs études expérimentales traitant la relation entre les différents types de personnalité et les différentes émotions ont été menées. Par exemple dans le contexte éducatif, l'équipe de Frasson [FC 03], [FCC 04] a conduit une expérimentation pour prédire l'état émotionnel optimal selon la personnalité de l'apprenant. L'échantillon d'expérimentation a inclus 137 participants de différents sexes et âges. D'abord, les participants choisissent l'état émotionnel optimal, qui selon eux, maximise leur apprentissage, parmi un ensemble d'émotions initial constitué de 16 émotions. Puis, un test de personnalité leur a été proposé pour identifier leur personnalité. Ce test est basé sur le questionnaire EPQR-A (*Abbreviated form of the Revised Eysenck Personality Questionnaire*) composé de 24 questions et mis en place par Francis, Brown et Philipchalk [FBP 92]. EPQR-A permet d'identifier la personnalité d'un sujet parmi un ensemble de traits de personnalité ("Psychoticism", "Extraversion", "Neuroticism", et "Lie Scale").

Les résultats de cette expérimentation ont montré que pour chaque type de personnalité correspond un état émotionnel optimal. En effet, et comme présenté dans la figure 04 :

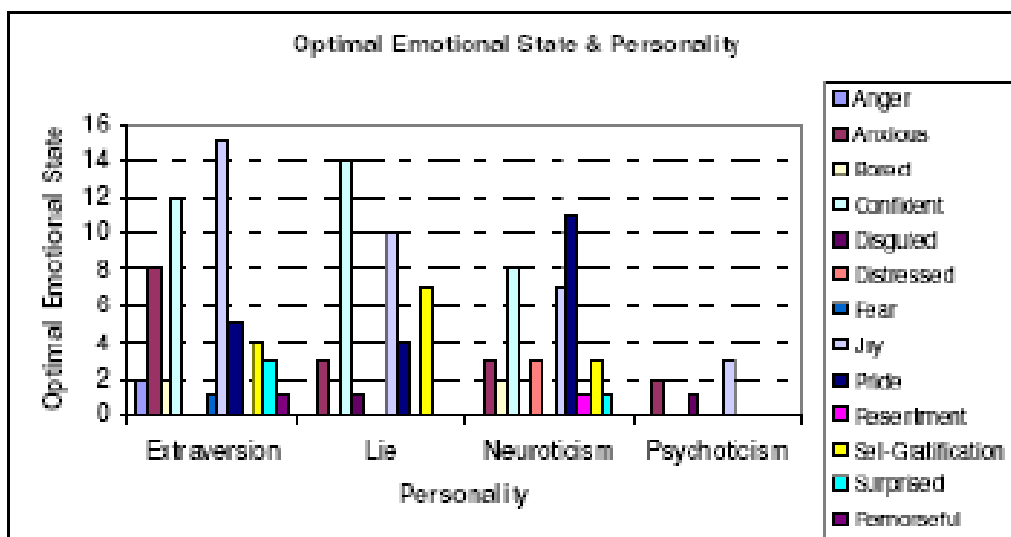


Figure 04 : la relation entre personnalité et émotion [FCC 04]

- parmi les seize émotions initiales données à 137 participants, ils ont constaté que juste treize d'entre elles qui ont été choisies.
- Environ, 28% des participants extravertis ont choisi la joie comme état émotionnel optimal,
- presque 36% des participants qui ont le score le plus élevé dans le " lie scale ", ont sélectionné la confiance pour représenter leur état émotionnel optimal.
- près de 29% des participants névrotiques ont trouvé que la fierté est l'état émotionnel optimal pour l'apprentissage.
- Finalement, parmi les 137 participants, nous n'avons pu obtenir que six participants psychotiques et environ 50% d'eux ont choisi la joie comme état émotionnel optimal.

1.9. Conclusion :

Nous pouvons conclure que le e-learning n'est pas seulement une évolution technique. C'est une véritable révolution des processus d'apprentissage qui va amener les acteurs de la profession à repenser en profondeur leurs rôles, leurs pratiques, leurs alliances et leurs modes d'intervention. Cependant pour garantir un apprentissage efficace, de tels systèmes doivent mettre au centre de leurs préoccupations l'apprenant et tenter de le comprendre et de modéliser à la fois ses états cognitifs et affectifs pour qu'il puisse se sentir interpellé dans toute sa totalité.

Toutefois, il est possible de donner à un système informatique des informations sur l'apprenant (processus de perception) qui lui donnent la possibilité de découvrir que celui-ci a une certaine émotion. La difficulté est que ce système soit capable

d'interpréter ces informations (processus de reconnaissance). Dans le chapitre suivant, nous allons passer en revue les méthodes, outils et travaux existants sur la perception de l'émotion.

Chapitre 02: PERCEPTION ET IDENTIFICATION EMOTIONNELLE : METHODES ET OUTILS

« Il y a autant de
mouvements dans
la voix qu'il y a de
mouvements dans
l'esprit, et l'esprit
est profondément affecté par la voix. »
Cicéron De Oratore



2.1. Introduction :

Par observation d'un individu, nous sommes capables de découvrir qu'il ressent des émotions. S'il devient tout rouge, s'il utilise un vocabulaire grossier, s'il parle fort, nous jugeons qu'il est en colère. En effet, les émotions laissent des empreintes dans les média de communication sous une certaine forme d'expressivité à travers différents canaux de communication : verbaux, visuels ou auditifs. L'identification émotionnelle est une tâche de reconnaissance qui consiste à identifier la charge émotionnelle véhiculée dans cette forme d'expressivité.

Dans ce chapitre nous allons présenter une revue des études précédentes sur la perception et la reconnaissance multimodale de l'émotion tout en insistant sur les approches de reconnaissance émotionnelle à travers la parole et le texte. Cette tâche de reconnaissance peut être formulée selon un problème de classification, Les systèmes de classification sont basés sur des méthodes dites d'apprentissage, dont nous présentons une comparaison des méthodes les plus utilisées. Un bref tour d'horizon sur la méthode SVM est également présenté.

2.2. La perception multimodale des expressions émotionnelles :

L'émotion est accompagnée de troubles physiologiques [P 97]. Ces troubles peuvent s'exprimer à travers différents canaux de communication ce qui explique la multi-modalité des expressions d'émotion [MCC 02]. En effet, chaque état émotionnel éprouvé est interprété par un ensemble de comportements verbaux ou non verbaux dont les indicateurs sont soit les mots utilisés, soit le ton de la voix, les gestes et attitudes corporelles, soit finalement les expressions faciales [SC 04].

Jusqu'à présent, et à notre connaissance, les travaux portant sur la prise en compte de l'expression de l'émotion dans l'interaction homme-machine se sont principalement focalisés sur la mise en place de modèles de caractérisation automatique :

- D'une part, de l'expression vocale de l'émotion par analyse acoustique d'indicateurs essentiellement intonatifs à savoir ton, timbre, rythme de la voix,

etc... ces travaux [P 97], (HP 01), [DV 03], [DV 05], [DVL 03] et [DVM 03] enregistrent depuis quelques années d'importants progrès.

- D'autre part, de l'expression faciale par analyse de plusieurs indices d'ordre physiologique à savoir les traits du visage, le regard, le maintien de la posture. Cette analyse est basée sur des notions de distance. [P 97], [F 04], [FC 03], [NH 04]
- De l'expression textuelle par analyse de plusieurs indices de type lexical, morphologique, syntaxique, sémantique et dialogique. [DV 03], (DV 05), [DRML 02], [DVM 03], [DVL 03], [P99]
- Et de l'expression physiologique par analyse de certains indices d'ordres physiologiques et expressifs à savoir la pigmentation de la peau, le rythme respiratoire...etc. [P 97], [GRC 03], [L&al. 05].

Dans le cadre de ce mémoire, nous allons nous limiter à la perception émotionnelle à partir de la voix (communication non verbale) et le texte (communication verbale) que la parole intègre.

2.3. La perception émotionnelle à partir d'une analyse vocale (communication non verbale) :

La plupart des recherches qui étudient l'état émotionnel des utilisateurs dans des systèmes de dialogues verbaux cherchent à isoler des paramètres acoustiques en contrôlant le texte verbal des énoncés. En effet, les études expérimentales ont montré l'existence d'un canal vocal parallèle aux paroles, par lequel l'information sur les émotions s'exprime indépendamment du contenu verbal.

2.3.1. La parole et prosodie : points de repères...

La parole, qui représente une voix articulée, est un moyen de communication extrêmement riche et subtile. Elle véhicule non seulement de l'information linguistique référentielle mais aussi entre autres de l'information sur la personnalité et sur l'état émotionnel du locuteur. En effet, dans la communication parlée, le locuteur exprime son intention communicative, sa personnalité et son état émotionnel dans la voix sans effort particulier, et l'auditeur les perçoit de manière inconsciente. Ces capacités expressive et perceptive paraissent naturelles au point de vue humain, mais en fait, elles impliquent un grand nombre de facteurs à être considérés et spécifiés au point de vue technique pour que la machine puisse imiter ou comprendre la parole humaine. Il est bien connu que la richesse ou la complexité de ces capacités est largement due à la *prosodie* qui est définie comme étant un ensemble de variations des traits acoustiques tels que la fréquence fondamentale, la durée et l'intensité.

L'importance de la *prosodie* dans les systèmes de la synthèse ou de la reconnaissance automatique de la parole a été souvent soulevée par les chercheurs mais l'implantation des traits prosodiques dans les systèmes pour la parole expressive (stylistique et émotionnelle) et la reconnaissance fiable à travers la variabilité inter- et

intra-locuteur, est encore très limitée à cause des problèmes non résolus aux niveaux conceptuel et pratique.

À partir d'un signal de parole, des informations de natures très différentes peuvent être extraites, à savoir :

- le locuteur,
- le message parlé,
- la langue du message,
- l'état émotionnel du locuteur

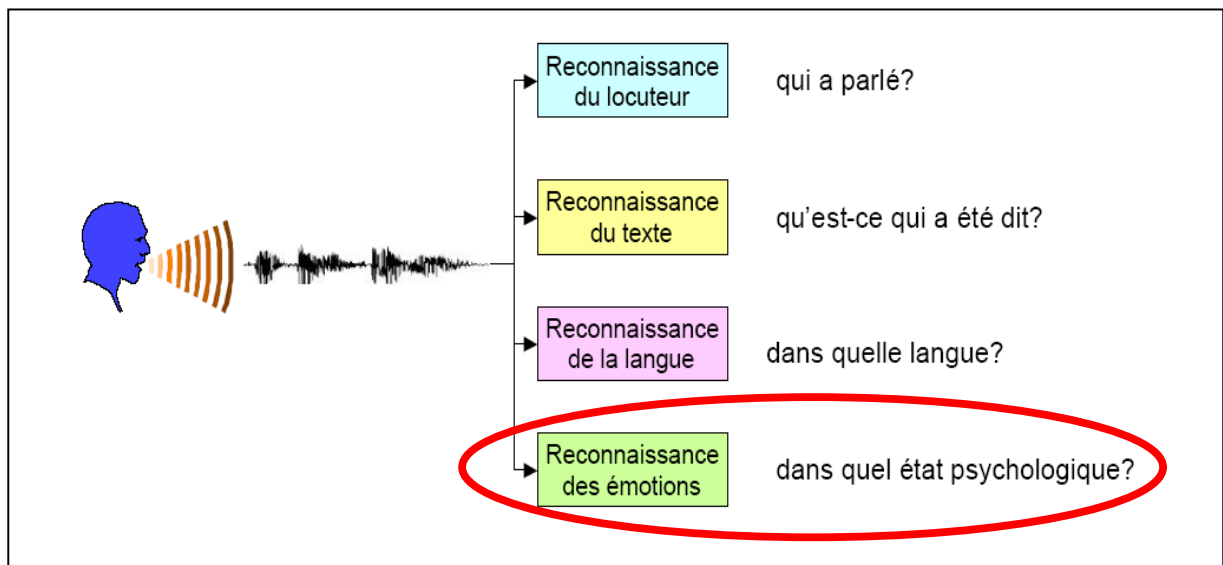


Figure 05 : les différents types d'informations véhiculées dans la parole

2.3.1.1. Les paramètres caractérisant la parole d'un locuteur :

Le signal de parole émis par un locuteur est conditionné par l'ensemble des facteurs intervenant dans le processus de la communication parlée. On peut distinguer dans ce signal différents niveaux d'information [B 04]:

- Les *niveaux bas* qui regroupent des informations liées principalement à des *traits physiques* de la personne (facteurs morphologiques et physiologiques).
- Les *niveaux hauts* qui sont relatifs à des informations qui représentent des *traits acquis* (facteurs socio-culturels).

BEN [B 04], a identifié six différents niveaux d'informations que nous présentons du plus bas niveau au plus haut :

- ✚ Niveau acoustique : Les paramètres acoustiques sont relatifs au contenu spectral du signal de la parole et sont liés aux caractéristiques physiques de l'appareil vocal. L'enveloppe du spectre caractérise principalement la morphologie du conduit vocal du locuteur et les harmoniques reflètent la fréquence fondamentale et la forme de l'onde glottale.

- ✚ Niveau prosodique : La prosodie désigne les caractéristiques d'un message parlé relatives à l'intonation, l'accentuation et les tons employés par le locuteur ainsi qu'au rythme d'élocution, aux pauses et à la durée des phonèmes. La distribution et les profils temporels de l'énergie et de la fréquence fondamentale sont par exemple caractéristiques de la prosodie employée par le locuteur.
- ✚ Niveau phonétique : Les caractéristiques phonétiques du signal de parole se rattachent à la façon de prononcer les différents sons identifiables d'une langue, les phonèmes. Chaque individu a une façon de prononcer ces phonèmes qui lui est propre. Il est donc possible de caractériser certains phonèmes d'un locuteur afin de les différencier des phonèmes des autres locuteurs.
- ✚ Niveau idiolectral : Les caractéristiques idiolectrales se rapportent aux particularités langagières propres à un individu. Il s'agit en particulier des habitudes liées à l'utilisation des mots. Certaines séquences de mots récurrentes, les « tics » de parole notamment, caractérisant la façon de parler d'un locuteur. Cependant, cette façon de parler peut être très variable en fonction du contexte dans lequel l'individu communique (interlocuteur connu ou pas, situation émotionnelle particulière,...).
- ✚ Niveau dialogal : Les caractéristiques dialogales définissent la façon de communiquer d'un individu. Ainsi, des indices de fréquences et de durée des prises de parole d'un locuteur dans une conversation peuvent servir à le caractériser (personne bavarde ou non par exemple). Ce type d'informations est également très dépendant du contexte de la conversation.
- ✚ Niveau sémantique : Les informations sémantiques contenues dans un message parlé ont trait au sens et à la signification de ce qui est prononcé. Les thèmes fréquemment abordés par un locuteur lors de conversations sont susceptibles de fournir une indication sur son identité. Ces informations de haut niveau sont difficiles à caractériser et à extraire de façon automatique.

Les paramètres de bas niveaux ont été les premiers utilisés dans les systèmes de reconnaissance automatique de la parole d'un locuteur. Cela est dû au fait qu'ils sont facilement extractibles, relativement robustes et qu'ils caractérisent bien la voix et la façon de parler d'une personne.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous limitons à l'extraction des paramètres acoustiques et prosodiques caractérisant l'état émotionnel du locuteur

2.3.1.2. Le signal vocal :

Le signal de la parole est d'abord un signal sonore. C'est donc une onde matérielle de faible puissance se déplaçant dans l'air. C'est un phénomène de nature acoustique porteur d'un message. L'information d'un message parlé réside dans les fluctuations de la pression de l'air, engendrées puis émises par l'appareil phonatoire. Ces fluctuations constituent le signal vocal. Avant leur détection par l'oreille qui procède à une certaine analyse, elles sont sujet à des perturbations importantes : bruit ambiant, résonance, phénomène d'écho,...etc. Les résultats sont transmis au cerveau qui les interprète [A 05].

Le signal vocal représente la combinaison d'éléments simples et brefs du signal sonore appelé les phonèmes, qui permettent de distinguer les différents mots. La parole est un signal réel, continu, d'énergie finie et non stationnaire. Sa structure est complexe et variable avec le temps. En effet, le signal est :

- pseudo-périodique pour les sons voisés (D),
- aléatoire pour les sons fricatifs (A),
- impulsionnel pour la phase explosive des sons occlusifs (C).

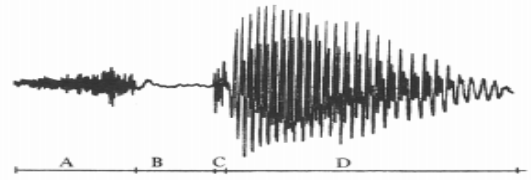


Figure 06 : Signal acoustique de la parole

En acoustique, le son se définit classiquement au moyen de son intensité, sa hauteur qui est déterminée par la fréquence de vibration des cordes vocales, appelée fréquence fondamentale (pitch). Deux sons de même intensité et de même hauteur se distinguent par le timbre qui est déterminé par les amplitudes relatives des harmoniques du fondamental. Ces amplitudes nommées formants se caractérisent par les maximums de la fonction du transfert (transmittance) du conduit vocal. En général, les trois premiers formants sont essentiels pour caractériser le spectre du signal vocal [A 05].

2.3.1.3. Complexité du signal vocal :

Le signal de parole est complexe, car sa structure résulte de l'interaction entre la production des sons et leur perception par l'oreille, avec comme objectif la transmission d'un message. En observant un signal de parole, on constate que les phonèmes n'apparaissent pas comme des éléments isolés, mais s'enchaînent et se modifient par des phénomènes dits de coarticulation. Par ailleurs, il y a une grande variabilité du signal, d'un locuteur à l'autre, ou en fonction des conditions d'enregistrement et de bruit de fond.

2.3.2. La communication vocale de l'émotion :

Les premières études empiriques relatives à la communication émotionnelle vocale remontent au début du 20^{ème} siècle. La recherche dans ce domaine a connu un développement considérable surtout ces quatre dernières décennies notamment dans les domaines de la psychologie de l'émotion, la linguistique et les technologies de la parole. Aujourd'hui, des hypothèses fortes de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie donnent aux émotions un statut central : traiter les émotions dans l'interaction homme machine n'ajoute pas seulement de la naturalité, mais peut faciliter l'efficacité même de la communication. En effet, et selon Aubergé [A 03], [AAR 06], différents niveaux de traitement cognitif de la parole véhiculent les informations relatives à différents niveaux d'affects parmi les quelles, les émotions qui sont déclenchées par un contrôle involontaire et sont exprimées dans et par la voix. Même quand le visage véhicule une information plafond dans la modalité visuelle, des informations sont spécifiquement véhiculées dans le canal vocal au delà des déformations faciales audible (sourire + dégoût) [AC 04].

2.3.2.1. Emotion vécue versus émotion actée :

Dans l'étude de l'émotion, deux types de données peuvent être distingués selon la manière de production : émotions exprimées par un sujet qui se trouve réellement dans un tel état émotionnel (l'émotion vécue) versus émotions exprimées par un acteur qui imite un tel état émotionnel (l'émotion stylisée ou actée). L'émotion vécue et la parole spontanée sont des données favorables pour capter la richesse de la réalité de l'expérience improvisée du locuteur, mais ces données de nature spontanée ne donnent que des possibilités très limitées au niveau du contrôle expérimental. Or, l'émotion stylisée et la parole lue ou actée sont des données plus fréquemment utilisées dans les études précédentes à cause de la facilité d'acquisition mais leur représentativité de la réalité naturelle est plus ou moins problématique. Dans le présent travail, nous avons choisi d'étudier le deuxième type de données (stylisées) pour examiner le phénomène émotionnel véhiculé par la parole.

2.3.2.2. Les paramètres acoustiques caractérisant l'émotion :

Les recherches en reconnaissance automatique de la parole [SJS 03], [S 88], [C 00] ont largement démontré que les changements d'états du locuteur modifient les paramètres acoustiques de sa parole de façon spécifique et consistante. Un accord est établi au niveau phonétique sur trois paramètres acoustiques de la prosodie : fréquence fondamentale, intensité et durée [C 00]. Mais si on accorde à la prosodie la fonction émotionnelle, on doit ajouter les paramètres spectraux du timbre et plus généralement de la qualité de voix [A 01].

- ❖ **La fréquence fondamentale (F0 ou pitch) :** En acoustique, le F0 est l'harmonique de premier rang d'un son qui détermine sa hauteur (aigüe ou grave). Il représente le paramètre le plus étudié dans les analyses acoustiques de l'émotion, à cause de sa représentativité du changement de la voix dû à l'effet émotionnel. En effet, il a été démontré que les émotions positive et négative sont distinguées de l'émotion neutre par le F0 maximum; l'émotion positive est distinguée des émotions négative et neutre par le F0 moyen; et l'émotion négative est distinguée des émotions positive et neutre par le F0 minimum [C 00]. Le signal est généralement modélisé comme la somme d'un signal périodique T et d'un bruit blanc. La fréquence fondamentale est l'inverse de la période T , $F0 = 1/T$. Il existe plusieurs méthodes pour l'estimation de la fréquence fondamentale : les méthodes d'estimation par maximum de vraisemblance, les méthodes reposant sur une analyse du cepstre, les méthodes temporelles (autocorrélation, fonctions de différences moyennées), etc. Les méthodes temporelles consistent à rechercher des ressemblances entre des versions décalées du signal observé s . Ces ressemblances sont évaluées par la fonction d'autocorrélation, définie de la manière suivante [C 07]:

$$r_s(m) = \begin{cases} \frac{\sum_{n=0}^{N-1-m} s(n) s(n+m)}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1-m} s(n)^2} \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1-m} s(n+m)^2}} & \text{si } m \geq 0 \\ r_s(-m) & \text{sinon} \end{cases}$$

La période T est estimée en recherchant la plus petite valeur de m pour laquelle $r_s(m)$ est maximale.

- ❖ **L'intensité** : qui correspond à la variation de l'amplitude de signal de parole causée par une énergie plus ou moins forte provenant du diaphragme et provoquant une variation de la pression de l'air sous la glotte. Ce paramètre permet de fournir une mesure de la force sonore de la voix (faible ou forte) [C 07]. Elle est calculée sur une portion de signal de longueur N de la manière suivante :

$$I = 10 \log \sum_{n=1}^N s(n)^2 w(n)$$

Où w est une fenêtre d'analyse gaussienne [C 07].

- ❖ **Le débit de la parole** : Le débit de parole est l'un des paramètres souvent notés, avec le F0, dans la description de l'émotion vocale. Il est généralement estimé par le nombre de syllabes par seconde dont le calcul mathématique peut être exprimé comme suit :

$$\text{Débit} = (\text{nombre de syllabes dans l'énoncé} \times 1000) / \text{durée de l'énoncé}$$

- ❖ **La qualité de la voix (timbre)** : La qualité de la voix des expressions émotionnelles est considérée comme essentielle dans l'expression et la perception de l'émotion mais sa mesure quantitative est largement limitée à l'heure actuelle [C 00]. Cependant, L'analyse spectrale peut servir à l'estimation de la différence qualité vocale entre les différentes expressions émotionnelles en se basant sur l'observation de la quantité d'énergie dans les différentes gammes fréquentielles.
- ❖ **La perturbation de F0 (jitter)** : La perturbation de F0 (*jitter*) réfère à la micro-variation du F0. La mesure de jitter est proposée par Lieberman (1961) en tant que description quantitative de la qualité de la voix, surtout en ce qui concerne la voix émotionnelle [C 00]. Il s'agit de la variation des périodes adjacentes dans un signal acoustique, dont l'estimation peut être accomplie à travers diverses méthodes d'analyse. Parmi lesquelles, l'estimation du pourcentage de la différence des valeurs de F0 entre les cycles adjacents, dont le calcul mathématique peut être exprimé comme suit :

$$\text{Jitter (\%)} = \frac{100 N \sum_{i=0}^{N-1} |F0_{i+1} - F0_i|}{(N-1) \sum_{i=0}^N F0_i}$$

- ❖ **La perturbation de l'intensité (Shimmer) :** La perturbation d'intensité montre la variation de l'intensité, cycle par cycle, dans une unité acoustique. Le shimmer, comme le jitter, varie selon les différentes phonations et influence la perception de la qualité de la voix, mais la variation du shimmer est moins pertinente dans l'expression et la perception de l'émotion que la variation du jitter. Dans les plupart des analyses, le shimmer est mesuré par l'estimation du pourcentage de la différence des valeurs d'amplitude entre les cycles adjacents, dont le calcul mathématique peut être exprimé comme suit [C 00] :

$$\text{Shimmer (\%)} = \frac{100 N \sum_{i=1}^{N-1} |A_{i+1} - A_i|}{(N-1) \sum_{i=1}^N A_i}$$

2.3.2.3. Les études expérimentales sur l'identification de l'émotion vocale :

Dans le but d'améliorer la communication entre un homme et une machine, plusieurs chercheurs s'intéressent à l'émotion vocale et plus particulièrement au processus de reconnaissance émotionnelle et cela en menant plusieurs études expérimentales portant sur des indices acoustiques et perceptifs de l'émotion vocale [C 00]. L'hypothèse de base de ces études est que « l'excitation émotionnelle cause des changements de la tension musculaire des appareils vocaux, de la salivation, de la respiration et du registre de phonation du locuteur. Ces changements pouvant être mesurés par des paramètres acoustiques, et ainsi les différentes émotions sont exprimées dans la voix et peuvent être identifiées par l'auditeur même en l'absence d'information lexicale ». Parmi ces études perceptives, repris du [C 00], nous citons celles menées par Hirschberg qui étudie la détection de la déception, Liscombe étudie la détection de la confiance, Known étudie la détection du stress, Zhang étudie la détection de la confusion, de la frustration et de la confiance. Batliner étudie la détection de l'ennui, Ang étudie la colère et la frustration. Notons que dans les expériences de la perception de l'émotion, les émotions négatives sont souvent mieux identifiées que les émotions positives (B 71), [C 95]. Ce phénomène semble être dû au fait que l'être humain fait attention, de manière prioritaire inconsciemment, aux stimuli négatifs, désagréables, pour une raison de protection. Autrement dit, l'être humain est plus apte à percevoir l'émotion négative que l'émotion positive dans les processus perceptifs.

L'étude expérimentale sur la voix émotionnelle consiste en deux types d'analyse: l'analyse acoustique et l'analyse perceptive. La plupart des études combinent les deux types d'analyse dans leurs méthodes. Cependant, nous distinguons les études orientées vers l'analyse acoustique et les études orientées vers l'analyse perceptive.


- ✚ Etudes acoustiques: qui cherche à identifier des traits acoustiques ou articulatoires qui varient en fonction de la différente signification émotionnelle, afin d'établir un système de traits prosodiques des émotions. Elle concerne la variation des trois paramètres principaux, la fréquence fondamentale (F0), l'intensité et la durée, de la voix émotionnelle par rapport à la voix dite neutre.

Une série d'études expérimentales [S 88, SJS 03, C 00] démontrent que les valeurs moyenne, maximale et minimale de F0, l'amplitude du signal, le rythme et le débit de la parole varient selon les différentes émotions. L'hypothèse de ces études est que la variation des valeurs acoustiques reflète directement des changements physiologiques du locuteur, qui ressent l'émotion dans une situation affective ou imite l'émotion dans un laboratoire, et leur but est de trouver la régularité de cette variation en fonction de l'émotion [C 00].

La variation des paramètres acoustiques de la voix émotionnelle est souvent décrite en termes du degré de déviation de leurs valeurs par rapport aux valeurs relevées dans la voix neutre. Quelques caractéristiques acoustiques des émotions, considérées comme primaires, sont présentées dans le Tableau ci-dessous :

	Domaine fréquentiel	Domaine temporel	Qualité de la voix
Joie	- F0 moyen élevé, - Variation de F0 dynamique.	- Débit rapide, - Structure rythmique avec accentuation régulière.	- Intensité élevée mais pas autant que pour la colère, - Voix légèrement aspirée.
Colère	- F0 moyen élevé ou modéré, - Variation du F0 dynamique, - Contour de F0 fortement descendant en fin de phrase	- Débit plus rapide que la voix neutre mais moins que pour la joie	- Intensité élevée - Voix aspirée et tendue - Grande énergie dans les hautes fréquences
Tristesse	- F0 moyen au niveau de la voix neutre, - diminution du F0 min - Peu de variation du F0	- Débit lent - Rythme avec des pauses régulières	- Intensité basse sans variation - Articulation moins précise
Peur	- F0 moyen légèrement élevé - Grande variation du F0 mais pas autant que pour la joie ou la colère	- Débit plus lent que pour la joie ou la colère mais plus rapide que la voix neutre - Pauses régulières	- Intensité basse - Articulation précise - Peu d'énergie dans les basses fréquences

Tableau 05 : Les indices acoustiques des différentes émotions primaires [C 00]

 Etudes perceptives : Les études perceptives de l'expression émotionnelle soulignent que l'auditeur peut reconnaître ou identifier les différentes émotions à travers la voix sans recours à l'information lexicale des phrases. Leurs expériences s'adressent à la perception émotionnelle avec des stimuli dont le contenu lexical n'est pas pertinent. Pour enlever l'influence de l'information lexicale de l'identification des émotions, les chercheurs se servent de trois techniques majeures :

- a) l'utilisation des énoncés sémantiquement neutres, par exemple les mêmes phrases (ou mots), les lettres alphabétiques, et la parole réitérée, pour les différentes expressions émotionnelles
- b) l'utilisation d'une langue inconnue des auditeurs dans les expressions émotionnelles
- c) la manipulation acoustique des énoncés au moyen de l'ajout du bruit, de la synthèse des stimuli, du filtrage électronique ou du découpage aléatoire de la phrase

Le but des études perceptives est de modéliser l'utilisation des paramètres acoustiques (les indices non-verbaux) par l'auditeur dans la communication vocale de l'émotion. Costanzo [C 00] propose que l'auditeur se base sur un ensemble d'indices acoustiques pour identifier l'émotion, appelé le *profil vocal* (*Vocie Quality Profil*). Ces indices sont différents selon le type d'émotion. Par exemple, l'auditeur identifie la tristesse et la tendresse d'après leur *profil fréquentiel*, la colère et le mépris d'après leur *profil d'intensité* et l'indifférence, en tant qu'émotion neutre, d'après son *profil temporel*. Les expériences de Scherer [S 74], [S 77], [S 88] mettent en évidence que l'auditeur attribue les différentes significations émotionnelles en fonction des valeurs du F0, du rythme et de l'amplitude.

Les facteurs externes de la perception de l'émotion, tels que la différence individuelle, le sexe et la connaissance linguistique et culturelle, ont été examinés par des expériences [C 00] avec de diverses techniques. Les résultats globaux indiquent que la perception des émotions primaires reste stable : les auditeurs identifient toujours les émotions avec une précision supérieure à celle qui pourrait être faite au hasard, mais il existe des différences dues aux facteurs externes dans la perception émotionnelle. Plusieurs chercheurs suggèrent la différence individuelle et la supériorité des femmes dans l'identification des émotions [C 00], [SJS 03].

Malgré le grand nombre d'expériences faites sur les expressions vocales de l'émotion, il est encore difficile d'établir un ensemble des indices vocaux qui différencie les diverses émotions et les caractérise de manière prototypique. Cette difficulté vient du fait suivant :

- D'une part, la nature complexe de l'émotion implique des facteurs physiologiques, psychologiques et sociologiques, dont les effets se manifestent dans des indices différents, même contradictoires.
- D'une autre part, différentes études utilisent différents termes et différentes méthodes d'analyse, ce qui rend difficile la comparaison ou la synthèse de leurs résultats [S 88].

2.4. La perception émotionnelle à partir d'une analyse textuelle (communication verbale) :

Plusieurs chercheurs de vocation linguistique [DV 03], [DV 05], [DRML 02], [DVM 03], [DVL 03], [P 99], qui s'intéressaient à la nature textuelle et aux descriptions

linguistiques que la structure de dialogue fournit, affirment que l'intonation fait passer des significations émotionnelles uniquement en interaction avec certaines propriétés linguistiques verbales, ce qui signifie que des paramètres intonatifs identiques peuvent s'interpréter très différemment selon le texte avec lequel elles sont utilisées. D'où l'importance de combiner les analyses : textuelle et vocale dans le processus de reconnaissance émotionnelle à partir du discours.

En effet, le langage naturel nous offre un large choix de termes permettant de dénommer et de nuancer les émotions. La perception émotionnelle à partir d'une analyse textuelle des phrases écrites ou prononcées se base sur le repérage et l'extraction des termes d'émotion. Cette extraction est basée sur des indices linguistiques textuels de type lexical, morphologique, syntaxique, sémantique et dialogique.

2.4.1. Les niveaux linguistiques et les modèles émotionnelles :

Plantin [P97], [P98], [PDT99] dans sa définition de l'orientation émotive du discours à partir des indices textuels a précisé quatre niveaux linguistiques, à savoir:

- ✦ le niveau lexical, dans lequel l'émotion se marque et se gère par l'utilisation d'une série de moyens :
 - Vocabulaire particulier,
 - Injures et mots,
 - Exclamation,
 - Interjections (ah, mais, beuf,...)
- ✦ Au niveau morphologique, certains suffixes sont porteurs d'une attitude émotionnelle.
- ✦ Au niveau syntaxique et sémantique, l'extraction des termes se base sur la construction de modèle émotionnel de la phrase appelé énoncé émotionnel. Cette construction de modèle est basé sur trois notions fondamentale, à savoir, le *terme d'émotion*, de *lieu psychologique* ou *siège* de l'émotion) et de *source* de l'émotion [21]. L'énoncé d'émotion attribue une émotion à une personne (lieu), et, dans certains cas, mentionne la source de l'émotion. Ce modèle est linguistiquement fondamental, dans la mesure où la relation d'émotion (source - lieu - émotion) correspond à la structure sémantique d'une familles d'énoncés élémentaires prédéfinis. Il assigne à l'analyse une tâche fondamentale de déterminer d'abord *qui* éprouve *quoi* et éventuellement *pourquoi*.

On peut distinguer ces modèles selon que s'y expriment ou non le lieu et la source de l'émotion. Le terme étant obligatoire.

1. Modèles exprimant le terme et le lieu d'émotion :

- modèle adjectival de type « lieu est terme »
Exp. : « il est heureux »

- modèle de type « lieu est en terme »
Exp. : « il est en colère »
 - modèle de type « lieu a terme »
Exp. : « il a peur »
2. Modèles exprimant le terme, le lieu et la source d'émotion : le terme d'émotion ici, représente un verbe psychologique
- modèle de type « lieu terme source »
Exp. : « Omar aime les fruits »

Le lieu est sujet et La source objet. Les verbes suivants sont des terme d'émotion de ce modèle : *mépriser, aimer, adorer, admirer, détester, déplorer, supporter, redouter, regretter, estimer, apprécier...*

- modèle de type « source terme lieu »
Exp. : « ce sujet ennuie Nadia »

Les verbes suivants sont des terme d'émotion de ce modèle : *dégoûter, amuser, intéresser, agacer, ennuyer, effrayer, gêner, terrifier, horrifier, humilier, surprendre, étonner, impressionner, préoccuper...*

Pour construire le modèle émotionnel d'une phrase, il faut tout d'abord étudier les relations sémantiques existantes entre ses constituants en établissant la structure interne de la phrase reflétant le sens véhiculé.

2.4.2. Les approches existantes de la reconnaissance de l'émotion textuelle :

Les approches de reconnaissance de l'émotion textuelle peuvent être regroupées dans les trois catégories suivantes [LLS 03] :

2.4.2.1. Repérage des mots-clés (Keyword Spotting) :

Cette approche est la plus naïve et aussi la plus utilisée dans le processus de reconnaissance émotionnelle à partir du texte. Le repérage des mots-clès est basé sur la comparaison des mots du texte avec ceux prédéfini dans des bases de données émotionnelles. La faiblesse de cette approche se résume en :

- une faible précision de reconnaissance lorsqu'une négation est introduite dans le texte,
- une reconnaissance restreinte à des phrases contenant des mots émotionnels. Mais en pratique, beaucoup de phrases véhiculent des émotions par le sens, par exemple, la phrase « ils vont m'enlever la garde de mes enfants » véhicule des émotions fortes qui ne seront pas détecté par cette approche.

2.4.2.2. Affinité lexicale :

Cette approche qui est plus sophistiquée que le keyword spotting assigne aux mots prédéfinis dans des corpus linguistiques, une probabilité d'appartenance à une émotion particulière. Par exemple, le mot « accident » pourrait être assigné d'une probabilité de 75% indiquant une émotion négative comme dans « l'accident de voiture ». L'inconvénient de cette approche est qu'elle opère uniquement au niveau du mot, chose qui peut toucher à la validité et la précision de la reconnaissance. Par exemple devant des phrases comme « j'ai évité un accident » un autre sens émotionnel est donné.

2.4.2.3. Traitement statistique du langage naturel :

Cette approche est appliquée pour remédier aux problèmes de reconnaissance émotionnelle à partir du sens véhiculé dans le texte. En effet, en entraînant un grand corpus émotionnellement annoté dans une machine d'apprentissage, il est possible non seulement d'apprendre la valence émotionnelle des mots-clés émotionnelle mais aussi de tenir en compte de la valence émotionnelle des autres mots arbitraire, de la ponctuation et de la fréquence de co-occurrence des mots. Les méthodes statistiques telles que l'analyse sémantique latente (LSA) ont été utilisées pour la reconnaissance émotionnelle à partir du texte. Cependant, ces méthodes statistiques sont généralement sémantiquement faible, c.à.d. A l'exception des mots-clés émotionnels, les mots arbitraires dans les modèles statistiques ont une petite valeur prédictive. Les classifieurs statistiques de texte donnent une précision acceptable dans le cas où on introduit un texte suffisamment grand. Cette approche opère au niveau de page et de paragraphe et donne des résultats médiocres au niveau de phrase.

2.5. Les méthodes d'apprentissage pour la reconnaissance émotionnelle :

Les systèmes de classification automatique des émotions reposent sur les méthodes dites d'apprentissage, car elles sont basées sur une procédure d'apprentissage capable à partir d'une quantité de données suffisante, de caractériser les propriétés acoustiques de chaque classe d'émotion. Elles utilisent essentiellement des méthodes supervisées où les classes considérées sont des classes d'émotions souvent déterminées en fonction de l'application visée. Il existe de nombreuses techniques de classification qui sont détaillées dans [C 07].

2.5.1. Algorithmes d'apprentissage et performance :

Plusieurs études, qui s'intéressaient au processus de reconnaissance émotionnelle à partir de la parole, ont comparé les performances de plusieurs algorithmes d'apprentissage afin de déterminer ceux qui donnent les meilleurs résultats. Parmi lesquels nous citons l'étude réalisée par Schuller et al. [SRL 04] qui représente la confrontation de deux méthodes d'apprentissage l'une appartenant à la classe des algorithmes génératifs, les GMM (Gaussian Mixture Models), l'autre reposant sur une

approche discriminative les SVM (Support Vector Machine). Les deux méthodes obtiennent des performances similaires, 75% pour les GMM et 76% pour les SVM. Lee et al. dans [LNP 02], ont testé trois méthodes différentes: l'analyse discriminante (AD), les machines à vecteur support et les k plus proches voisins (Kppv). Les performances obtenues par les trois méthodes de classification sont relativement équivalentes. Petrushin [P 00] a comparé réseau de neurones et k plus proches voisins et obtient des performances nettement meilleures avec les réseaux de neurones (70% au lieu de 55%). Dans [D 05], des expériences ont été réalisées sur des données réelles (centres d'appel) avec différents algorithmes, principalement des SVM et des arbres de décision. Un tableau récapitulatif regroupant quelques études avec les résultats obtenus est donné dans (Tableau 06).

Etude	méthode	Nombre de locuteur	Base de données	Nombre de classe	Performance
Schuller	SVM	13	actée	7	76%
	GMM	13	actée	7	75%
Lee	SVM	1200	vécue	7	74%
	AD	1200	vécue	2	75%
	Kppv	1200	vécue	2	74%
Petrushin	RNA	700	actée	5	70%
	Kppv	700	actée	5	55%

Tableau 06. Performances selon la méthode de classification utilisée, selon le type de base de données, le nombre de locuteurs et le nombre de classes [C 07]

Les résultats n'ont pas montré de différences significatives entre les performances obtenues par les algorithmes. Il est donc difficile de dégager de ces résultats la supériorité d'une méthode de classification par rapport à une autre, les résultats semblant fortement dépendre de la base de données utilisée. Cependant, nous retiendrons pour la suite les SVM, qui ont été choisis pour notre système de classification émotionnelle.

2.5.2. Les machines d'apprentissage SVM :

Parmi les machines d'apprentissage dédiées à la classification émotionnelle et inspirées de la théorie statistique de l'apprentissage, les SVM constituent la forme la plus connue. SVM est une méthode de classification binaire par apprentissage supervisé, elle fut introduite par Vapnik en 1995. Cette méthode repose sur l'existence d'un classifieur linéaire (hyperplan) dans un espace approprié. Puisque le problème est un problème de classification à deux classes, cette méthode fait appel à un jeu de données d'apprentissage, représentées par un ensemble de couples d'entrées/sorties, pour apprendre les paramètres du modèle. Elle est basée sur l'utilisation des fonctions dites de noyau qui permettent une séparation optimale des données [C 02]. Les SVM sont, Initialement prévue pour résoudre des problèmes de classification à deux classes, il existe aujourd'hui des généralisations multi-classe [HL 02].

2.5.2.1. Hyperplan, marge et vecteur de support :

Pour deux classes d'exemples données, le but de SVM est de trouver un classificateur qui va séparer les données et maximiser la distance entre ces deux classes. Ce classificateur est un classificateur linéaire appelé **hyperplan** dont la fonction est donnée par l'équation suivante : $f(x) = w \cdot x + b$.

Les points de données les plus proches de l'hyperplan, qui seuls sont utilisés pour la détermination de l'hyperplan, sont appelés **vecteurs de support**. (Voir figure 07). Il est évident qu'il existe une multitude d'hyperplan valide mais la propriété remarquable des SVM est que l'hyperplan séparateur doit être optimal. Nous allons donc en plus chercher parmi les hyperplans valides, celui qui est optimal, c.à.d, celui qui passe au milieu des points des deux classes. Intuitivement, cela revient à chercher l'hyperplan le plus sûr. En effet, supposons qu'un exemple n'ait pas été décrit parfaitement, une petite variation ne modifiera pas sa classification si sa distance à l'hyperplan est grande. Formellement, cela revient à chercher un hyperplan dont la distance minimale aux exemples d'apprentissage est maximale. On appelle cette distance **marge** entre l'hyperplan et les exemples. L'hyperplan séparateur optimal est celui qui maximise la marge. Cela revient à minimiser $(1/2) \|w\|^2$ avec la contrainte $y_i (w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i$

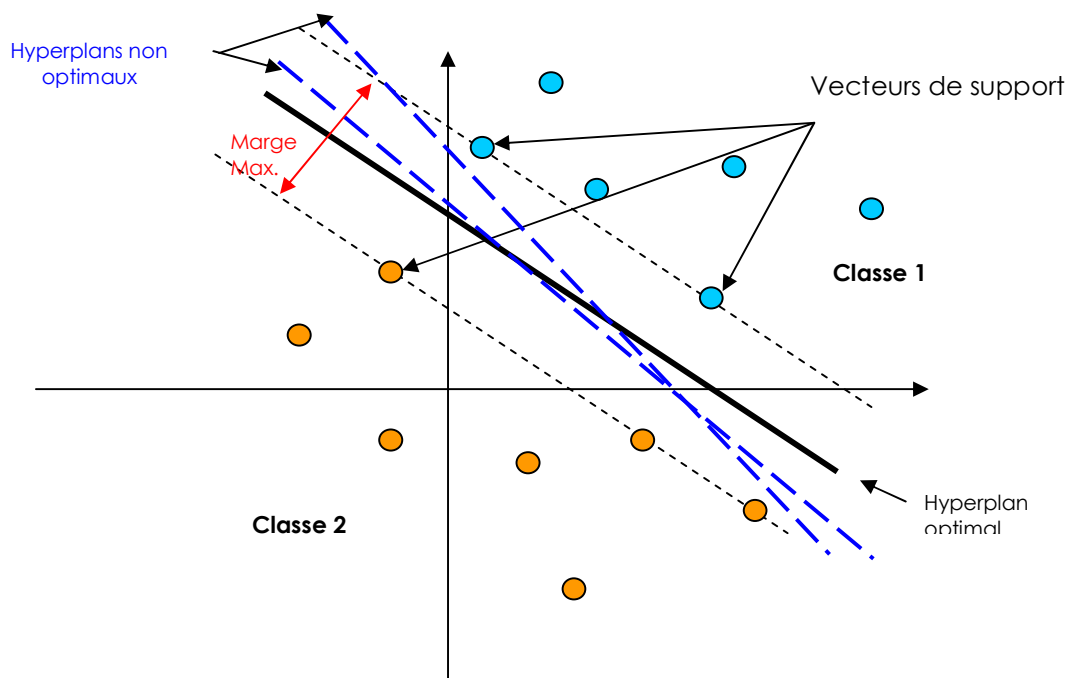


Figure 07 : Hyperplan qui sépare les données appartenant à deux classes

2.5.2.2. Pourquoi maximiser la marge :

Intuitivement, le fait d'avoir une marge plus large procure plus de sécurité lorsqu'on classe un nouvel exemple. De plus, si l'on trouve le classificateur qui se

comporte le mieux vis-à-vis des données d'apprentissage, il est clair qu'il sera aussi celui qui permettra au mieux de classer les nouveaux exemples. Dans la figure 08, présentée ci-dessous, la partie gauche nous montre qu'avec un hyperplan optimal, un nouvel exemple reste bien classé alors qu'il tombe dans la marge. Par contre, dans la partie droite qui représente un hyperplan avec une marge plus petite, l'exemple se voit mal classé.

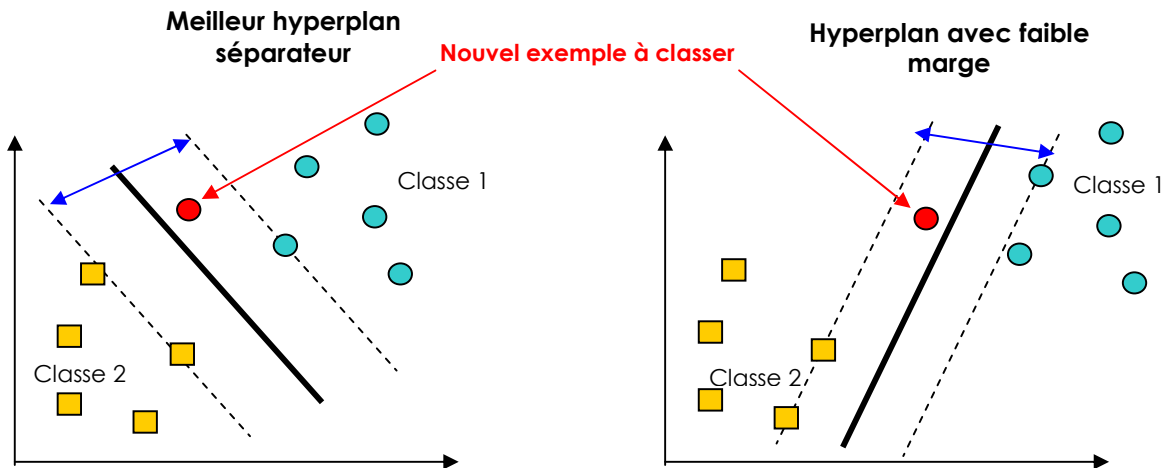


Figure 08. Deux hyperplans séparateurs pour les mêmes exemples d'apprentissage

En général, la classification d'un nouvel exemple inconnu est donnée par sa position par rapport à l'hyperplan optimal.

2.5.2.3. Linéarité et non-linéarité :

Parmi les modèles des SVM, on constate les cas linéairement séparable et les cas non linéairement séparable.

- Cas linéaire : le modèle le plus simple de SVM est celui appelé linéaire de marge maximale. Il fonctionne seulement si les classes de données d'apprentissage sont linéairement séparables. Ce SVM cherche à séparer deux classes de données par un hyperplan qui est équidistant des frontières de chaque classe.
- Cas non linéaire : Dans la plupart des problèmes réels, il n'y a pas de séparation linéaire possible entre les données, le classificateur de marge maximale ne peut pas être utilisé car il fonctionne seulement si les classes de données d'apprentissage sont linéairement séparables.

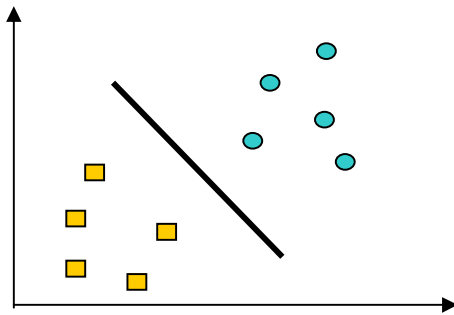


Figure 09. Les cas linéairement séparables

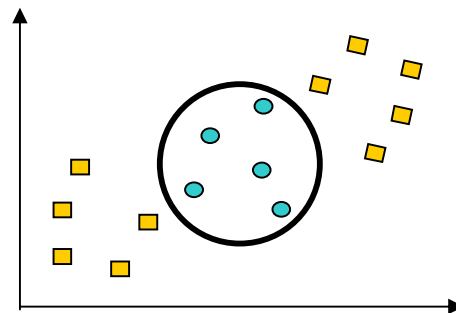


Figure 10. Les cas non linéairement séparables

Pour surmonter les inconvénients des cas non linéairement séparables, l'idée des SVM est de changer l'espace des données. En effet, la transformation non linéaire des données peut permettre une séparation linéaire des exemples dans un nouvel espace. Nous allons donc avoir un changement de dimension. Cette nouvelle dimension est appelé *espace de redescription* qui est plus grand que *l'espace de représentation* d'origine. Cette transformation non linéaire est réalisée grâce à une fonction $\Phi()$. En pratique, cette transformation est implicite dans fonction noyau (kernel) où : $K(x,y) = \Phi(x) \cdot \Phi(y)$. Parmi ces fonctions noyaux, nous pouvons citer : polynomiale, gaussien, sigmoïde et laplacien. Des détails sur le fondement mathématique des SVM sont représentés dans annexe 02.

2.5.2.4. Les SVM avec production des probabilités :

Les SVM traditionnels peuvent construire une frontière dure de décision sans aucune production de probabilité de classification. Chuang et Wu, dans leur étude relative à la reconnaissance émotionnelle en utilisant les SVM [CW 04], ont proposé des SVM avec la production de probabilité continue dont le principe se résume en :

Etant donné un échantillon de test z , la probabilité que z appartient à une classe C est donné par $P(C/z)$. Cette valeur est estimée à base des facteurs suivant :

- La distance entre les données de test et l'hyperplan

$$D = \frac{f(z) / \|w\|}{1 / \|w\|} = f(z)$$

Avec :

$f(z) = (\sum a_i y_i (x_i \cdot z) + b)$ est l'équation de l'hyperplan (Voir annexe 02)

- La distance du centroïde de la classe à l'hyperplan :

$$D' = \frac{D}{f(\bar{x})} = \frac{f(z)}{f(\bar{x})}$$

Où :

\bar{x} est le centroïde des données d'apprentissage dans une classe C

- La confiance de classification de la classe C

La précision de la classification évaluée à base des données d'apprentissage, est utilisée pour définir la confiance de la classification de la classe C.

$$P_c = \frac{\text{Nombre des phrases correctement reconnues comme appartenir à la classe C}}{\text{Nombre total des phrases de la classe C}}$$

Finalement, la probabilité de sortie du SVM est définie comme suit, selon les facteurs ci-dessus :

$$P(C/z) = \frac{P_c}{1 + \exp(1-D')}$$

2.5.2.5. Les SVM multi-classes :

A l'origine, les SVMs ont été conçus essentiellement pour la séparation de deux classes. Cependant, plusieurs approches permettent d'étendre cet algorithme aux cas de plusieurs classes [HL 02]. Donc, Pour pouvoir traiter plus de deux classes, comme c'est le cas pour la reconnaissance émotionnelle, il convient d'apporter des modifications nécessaires aux SVMs dont le principe général repose sur une combinaison des classifieurs bi-classes. Parmi les méthodes de combinaison, on dénote [GRC 03]:

La méthode « Un Contre Tous » (OAA : One Against All) :

Cette méthode a été la première réponse proposée pour faire face aux problèmes multi-classes. Pour chaque classe, on détermine un hyperplan séparant celle-ci de toutes les autres classes. Ainsi, pour M classes, on doit déterminer M fonctions de décision. Dans cette approche, tous les exemples d'apprentissage appartenant à la classe considérée sont étiquetés positivement (+1) et tous les exemples n'appartenant pas à la classe sont étiquetés négativement (-1). Pour chaque exemple de test, M valeurs de sortie sont disponibles. Ainsi, une donnée est affectée à la classe qui correspond à la valeur maximale des fonctions de décision.

✚ **La méthode « Un contre un » (OAO : One Against One) :**

Cette solution consiste à créer tous les classifieurs bi-classes envisageables du problème. Au lieu d'apprendre M fonctions de décisions, ici chaque classe est discriminée d'une autre. Ainsi $M(M-1)/2$ fonctions de décisions sont apprises et chacune d'entre elles effectue un vote pour l'affectation d'un nouveau point x . La classe de ce point x devient ensuite la classe majoritaire après le vote.

Hsu et Lin dans [HL 02] ont comparé les différentes méthodes proposées pour étendre les SVM binaires en multi-classes et ont trouvé que la technique « un contre tous » est la mieux convenable et donne les meilleurs résultats quant à la reconnaissance émotionnelle.

2.6. Conclusion :

Il est ainsi aujourd'hui possible de détecter et de mesurer les différentes manifestations ayant trait à l'apparition d'une émotion. Cette détection n'est certes pas parfaite, nous sommes encore loin de pouvoir déterminer concrètement les manifestations sous-jacentes à un type d'émotion donné. Du fait d'une part de la complexité des signaux et d'autre part de l'extrême variabilité intra et inter individuelle, il n'existe pas encore de modèle définitif des émotions, et diverses études ont associé le recueil de plusieurs données pour améliorer ce modèle. Toutefois, le module de reconnaissance prend en compte ces données parcellaires dans le but de rendre compte au mieux de l'état émotionnel du sujet. De fait, une fois que la machine a traduit les signaux de l'utilisateur en émotions, le système les enregistre, mais que faire de ce stock d'informations ? L'ordinateur va alors les intégrer dans un second module – dit « module de compréhension affective » - que nous allons détailler dans la partie suivante.

Partie 02 :

LA METHODE PROPOSEE :

**UNE IDENTIFICATION EMOTIONNELLE
BIMODALE A PARTIR DE LA VOIX ET LE TEXTE**

Chapitre 03 : CONCEPTION ET ARCHITECTURE DU SYSTEME

« Si je veux réussir à accompagner un être vers un but précis, je dois le chercher là où il est et commencer là, justement là ».

Kierkegaard



3.1. Introduction :

Pour améliorer la qualité d'apprentissage des apprenants dans des environnements de e-learning tel moodle[30], nous envisageons l'ajout d'une couche affective dans ces derniers par l'intégration d'un agent émotionnel. Celui-ci doit permettre le paramétrage par rapport à la stratégie d'apprentissage. Il joue ainsi un double rôle :

- D'une part, il doit identifier l'état émotionnel de l'apprenant,
- D'autre part, il doit produire un état émotionnel optimal pour maximiser la performance de l'apprenant.

Nous sommes conscients qu'une telle démarche ouvre plusieurs champs de recherche avec un effort considérable en temps. Par conséquent, une attention particulière sera accordée à l'approche adoptée par l'agent émotionnel pour la reconnaissance de l'état émotionnel courant de l'apprenant.

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement une description de l'architecture globale de notre système émotionnellement intelligent dédié à l'apprentissage, dont nous projetons la réalisation complète comme perspective. Nous nous focalisons plus particulièrement sur la fonction de reconnaissance émotionnelle de l'agent émotionnel dont l'architecture et le fonctionnement seront abordés plus en détail.

3.2. Cadre contextuel : le système EMOTORAT

Nous nous intéressons ici au traitement émotionnel en contexte d'apprentissage. En effet, pour assurer une meilleure interaction avec les apprenants et garantir une meilleure qualité d'apprentissage, les systèmes dédiés à l'apprentissage tels que les systèmes d'e-learning doivent respecter le fonctionnement cognitif et psychologique de l'apprenant et tenir compte des relations entre l'émotion, la cognition et l'action en contexte d'apprentissage en s'inspirant des modèles cognitifs et comportementaux. La thématique globale adoptée, pour un tel objectif, est de concevoir un système tutoriel émotionnellement intelligent (STEI) multi-agents, dédié à la reconnaissance et la gestion émotionnelle

des apprenants que nous baptisons *EMOTORAT*, l'architecture proposée est schématisée comme ci-dessous :

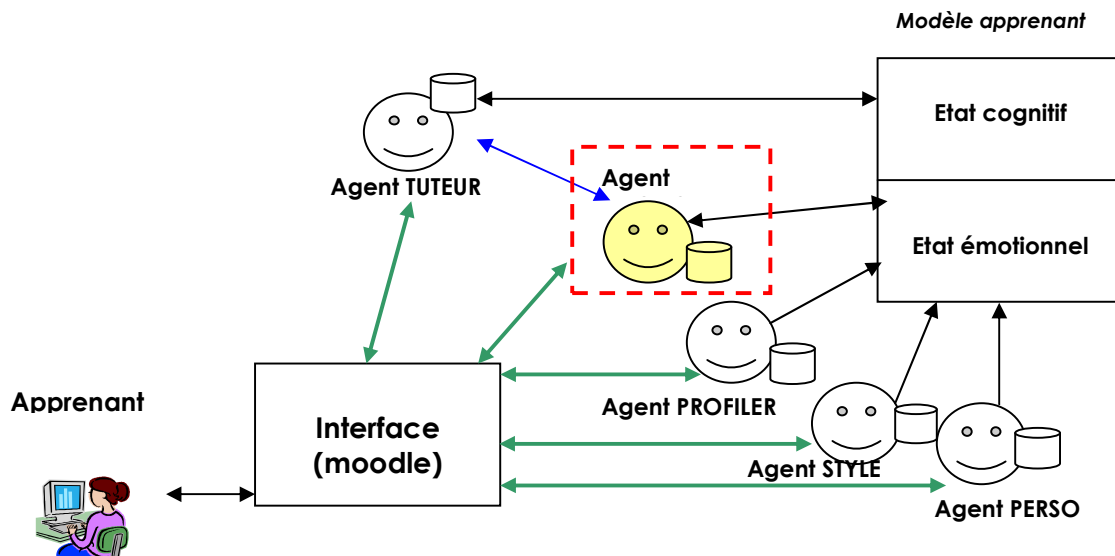


Figure 11. Architecture globale du système EMOTORAT

Notre système EMOTORAT intègre plusieurs agents conçus pour la gestion des émotions de l'apprenant et un **modèle apprenant** contenant un état cognitif (connaissances, compétences, historiques, parcours pédagogiques,...) et un état affectif (humeurs, émotions, profil psychologique, préférences, styles d'apprentissage,...). Ces états sont gérés par les agents du système. EMOTORAT intègre aussi, un module **interface** qui représente le lieu accessible par l'apprenant, il contient l'ensemble des outils d'interaction nécessaires pour l'apprentissage. Cette interface est représentée par la plate-forme de télé-enseignement moodle.

Pour garantir une meilleure qualité d'apprentissage, notre système a besoin de connaître l'apprenant pour respecter son fonctionnement cognitif et psychologique. Cela est assuré par :

- l'agent **PROFILER** dont le but est l'établissement du profil psychologique de l'apprenant,
- l'agent **PERSO** dont le but est la détermination du type de personnalité dominante de l'apprenant,

Le comportement de ces deux agents est régi par les modèles psychologiques de la méthode de *Process Communication* développée par KAHLER [26].

- l'agent **STYLE** dont le but est la détermination de style d'apprentissage préférentiel de l'apprenant utilise l'Inventaire des Styles d'Apprentissage ISALEM, mis en point par le Laboratoire d'Enseignement Multimédia (LEM) de l'Université de Liège [27]. Cet inventaire est sous forme d'un questionnaire (un test de 12 questions auto-évaluatif), basé sur la *théorie de l'apprentissage*

expérientiel de Kolb et le *learning-style inventory* (LSI) du même auteur, qui permet l'identification du style d'apprentissage dominant de l'apprenant [27].

- l'agent **TUTEUR** prend en charge le tutorat et la gestion de l'état cognitif de l'apprenant.
- La reconnaissance et la gestion émotionnelle sont assurées par l'agent **EMOTIO**, qui va s'interagir, coopérer et collaborer avec les autres agents pour identifier l'émotion actuelle de l'apprenant, ensuite l'analyser, l'interpréter, faire un diagnostic pour comprendre ce qu'il a induit et établir une stratégie de remédiation si elle est de nature négative.

Les trois premiers agents sont sollicités lors du premier contact de l'apprenant avec le système (lors de l'inscription). Ils se basent sur des questionnaires et des formulaires pour l'acquisition des connaissances.

Dans ce mémoire, nous nous limiterons à la démarche prise par l'agent EMOTIO pour la reconnaissance de l'état émotionnel courant de l'apprenant.

3.3. EMOTIO : un agent de reconnaissance et de gestion émotionnelle

3.3.1. Fonctionnement :

Le comportement de l'agent *EMOTIO* s'effectue comme suit :

1. lors d'une session d'apprentissage, l'agent TUTEUR détecte si il y a un problème d'apprentissage, par exemple, dans une situation où l'apprenant a mal répondu à une question dont les concepts sont préalablement acquises à priori, il va solliciter l'agent EMOTIO pour connaître l'état émotionnel courant de l'apprenant.
2. une fois sollicité, l'agent EMOTIO propose un questionnaire psycho-émotionnel à l'apprenant qui va y répondre ouvertement en langage naturel verbalement ou textuellement (selon la configuration définie).
3. La réponse peut provenir sous une des deux formes : soit des signaux de parole soit des phrases tapées. Elle est ensuite traitée et analysée pour en extraire le référent émotionnel, qui est l'un des cinq émotions de base étudiées, à savoir : joie, tristesse, peur, colère, neutre, et cela suivant le schéma classique d'un système de reconnaissance des formes : acquisition, traitement, extraction des indices linguistiques, classification puis reconnaissance. Nous détaillons dans le paragraphe [3.3.3] les différentes étapes de notre système de reconnaissance émotionnelle,
4. Dans le contexte éducatif, ce qui nous intéresse le plus n'est pas la nature de l'émotion exprimée (peur, colère,...) mais son interprétation dans le cadre éducatif, à savoir, satisfaction, confusion, frustration,...etc.

Cependant, devant des états négatifs comme la confusion et la frustration, le module de gestion émotionnelle de l'agent *EMOTIO* doit :

- diagnostiquer l'état émotionnel analysé pour déterminer les causes ayant menées à cette situation et cela en collaborant avec l'agent *TUTEUR*.
- prendre des actions pédagogiques appropriées à leur correction en se basant sur le profil psychologique, le type de personnalité et le style d'apprentissage préférentiel établies par les agents *PROFILER*, *PERSO* et *STYLE* lors du premier contact de l'apprenant avec le système, ceci permettra d'amener l'apprenant dans un état plus propice à l'assimilation des connaissances.

3.3.2. Démarche de perception de EMOTIO:

Dans sa démarche de reconnaissance émotionnelle, *EMOTIO* se base sur une perception bimodale (choix selon configuration) des expressions émotionnelles exprimées par l'apprenant lors d'une communication verbale ou non. Il détecte les émotions à partir de deux types d'informations : voix et texte, qui permettront une classification selon cinq types de base, *joie*, *tristesse*, *colère*, *peur*, *neutre* :

- D'une part, il se base sur une perception émotionnelle à partir de la parole représentant la réponse verbale de l'apprenant exprimée en langage naturel. Cette démarche se base sur une analyse à différents niveaux linguistiques : prosodique et lexical que la parole intègre.
- D'autre part, il se base sur une perception émotionnelle à partir du texte représentant la réponse tapée à partir du clavier par l'apprenant. Cette démarche se limite à une analyse basée sur des indices de type lexical et syntaxique, c.à.d, détecter les mots et les expressions à référent émotionnel. En effet, et selon Plantin [21], un texte fait référence à des émotions par des substantifs (*peur*, *joie*,...), des verbes (*énervé*, *pleurer*,...) ou par des adjectifs (*heureux*).

La démarche d'analyse se déroule en deux étapes :

1. Analyse vocale : la reconnaissance émotionnelle est assurée à partir des signaux de la parole en utilisant des indices acoustiques de types prosodiques.
2. Analyse textuelle : la reconnaissance émotionnelle est assurée à partir du texte (phrases prononcées ou tapées) en utilisant des indices textuels de types lexicaux et syntaxiques.

Cette analyse bimodale basée sur la voix et le texte, donnera plus de précision quant à la reconnaissance de l'état émotionnel courant de l'apprenant.

L'état émotionnel final est déterminé en combinant les résultats (sorties émotionnelles) des deux analyses vocale et textuelle avec l'historique des états émotionnels de l'apprenant.

3.3.3. Architecture de EMOTIO :

Elle est basée sur deux principaux modules, l'un dédié à la reconnaissance émotionnelle (RE) de l'apprenant, qui fait l'objet de ce mémoire, et l'autre dédié à la gestion émotionnelle (GE) pour garantir un apprentissage efficace.

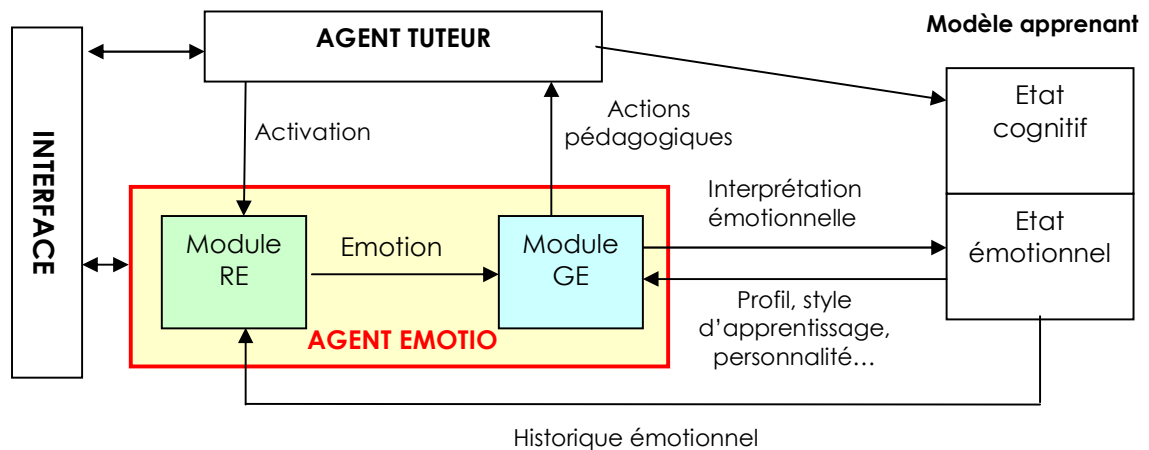


Figure 12. Architecture et environnement de l'agent EMOTIO

L'architecture du module de gestion émotionnelle (GE), dont nous projetons la réalisation comme perspective, est basée sur deux sous modules à savoir :

- un sous module d'analyse émotionnel, dont le but est de traduire le sens de l'émotion dans le contexte d'apprentissage. L'analyse est réalisée en se basant sur plusieurs facteurs dont : l'émotion reconnue, l'historique des actions réalisées avant l'apparition de l'émotion, l'état cognitif, l'évolution de l'émotion. Les expressions en entrée dans le module GE sont de type « joie », « peur », « tristesse », « colère » et l'analyse permet de déterminer si l'apprenant éprouve de la « satisfaction », de la « confiance », de la « confusion » ou encore de la « frustration ».
- un sous module de remédiation, contenant des règles pédagogiques destinées à la régulation émotionnelle, dont le but consiste à définir, s'il y a lieu, un ensemble d'actions pédagogiques permettant de remédier à l'état émotionnel observé, afin d'amener l'apprenant dans un état optimal plus propice à l'assimilation des connaissances.

L'architecture du module de reconnaissance émotionnelle (RE) est basée sur deux sous modules de reconnaissance (figure 13):

- Un sous module de reconnaissance émotionnelle par analyse vocale (REAV),
- Un sous module de reconnaissance émotionnelle par analyse textuelle (REAT).

Ces deux sous modules seront détaillés dans les sections suivantes.

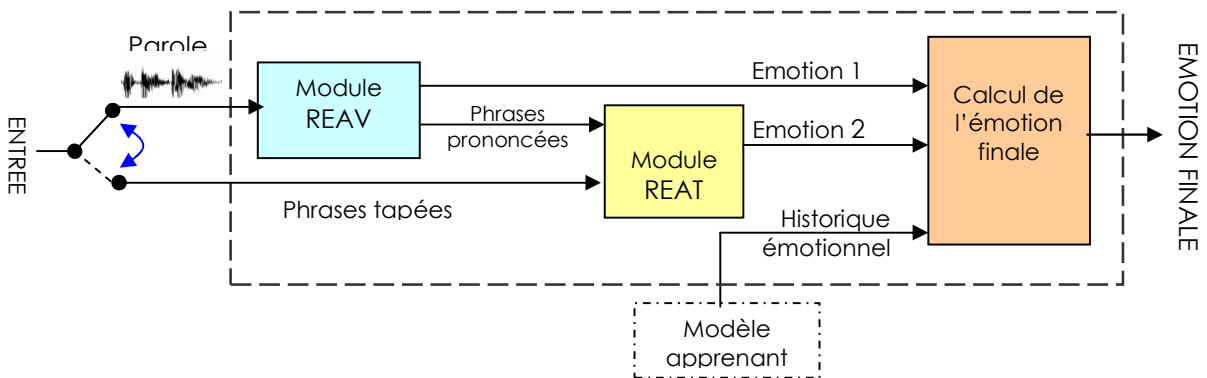


Figure 13. Architecture du module de reconnaissance émotionnelle (RE) de l'agent EMOTIO

3.3.3.1. Module de reconnaissance émotionnelle par analyse vocale (REAV):

Le module REAV consiste à identifier la charge émotionnelle exprimée dans la parole d'un locuteur par analyse de la voix. En effet, la voix transporte une information non linguistique qui peut traduire les états psycho-physiques du locuteur : émotion, état de stress momentané ou durable, fatigue physique par exemple. Les composants du module REAV sont représentés dans la figure ci-dessous :

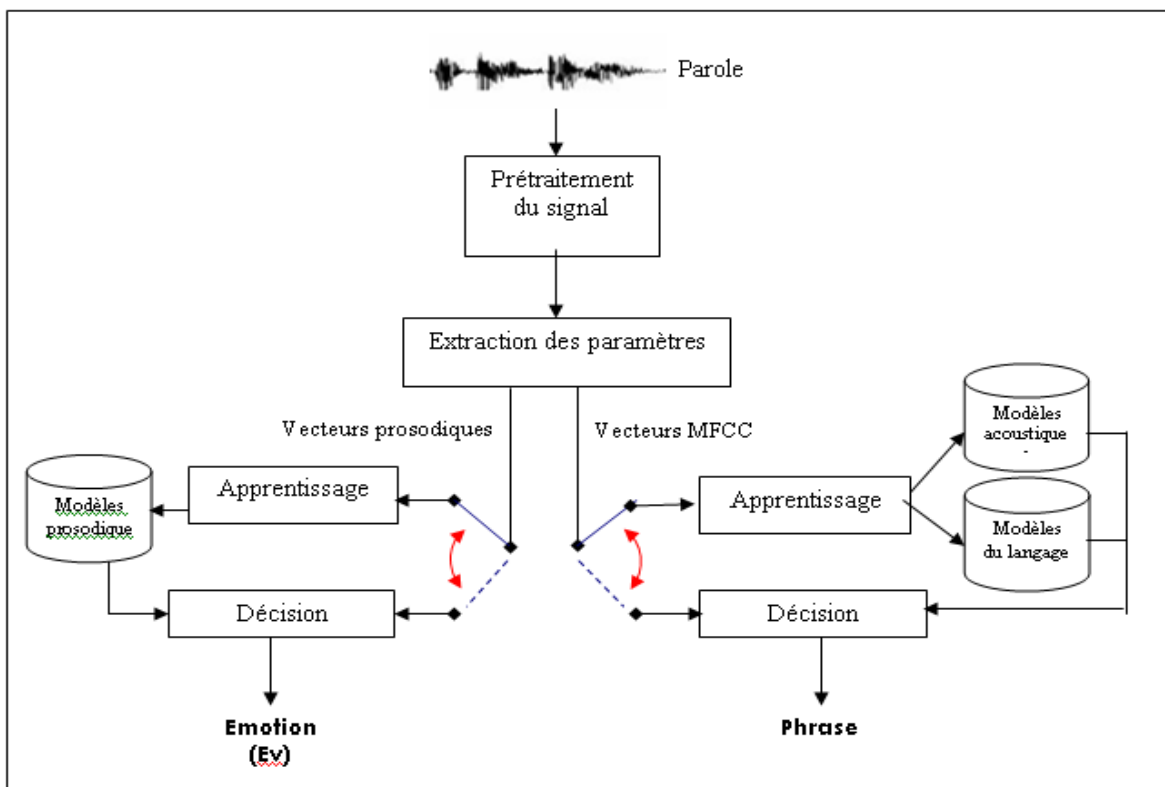


Figure 14 : Architecture du module REAV

✚ **Prétraitement du signal :**

Le signal de la parole, à la sortie du microphone, est une courbe temporelle très complexe et très dense en informations pertinentes. Le prétraitement du signal permet de préparer les données reçues du capteur à la phase suivante d'analyse consacrée à l'extraction des paramètres. Elle consiste en un filtrage analogique, une conversion analogique/numérique du signal, une élimination du bruit dû aux conditions d'acquisition, une normalisation de données ainsi qu'une suppression de la redondance. Le but essentiel du prétraitement du signal vocal est de donner une représentation moins redondante de la parole pour permettre une extraction précise des paramètres pertinents pour la reconnaissance émotionnelle.

✚ **Extraction des paramètres acoustiques (paramétrisation) :**

Le but de la paramétrisation est d'extraire les propriétés caractéristiques de l'émotion. En effet, choisir les caractéristiques acoustiques appropriées pour la reconnaissance émotionnelle est une étape cruciale. Dans notre étude, et après une comparaison de plusieurs études [S 98], [SJS 03], [C 00], [A 03] sur la sélection de paramètres acoustiques pertinents caractérisant les profils acoustiques des émotions étudiées, vue dans le chapitre précédent, il ressort que les seuls caractéristiques pertinents et utilisables sont celles relatives à la hauteur (F0), l'énergie et leurs dérivées. Dans l'approche proposée, nous extrayons deux types de paramètres acoustiques à savoir :

➤ Les paramètres prosodiques, qui se basent essentiellement sur des mesures et des estimations du pitch (F0) et de l'énergie. Ils servent comme seules données représentant la voix émotionnelle :

- La hauteur moyenne (F0 moy)
- La hauteur minimale (F0 min)
- La hauteur maximale (F0 max)
- La hauteur médiane (F0 med)
- La plage de F0 (= F0 max – F0 min)

Vu le différent repérage des émotions par la variation des hautes valeurs de F0 et celle des basses valeurs de F0, nous avons calculé un autre type de F0 moyen en ne prenant en compte que 20% des valeurs les plus basses de F0 repérées à partir d'un histogramme des valeurs de F0 de l'énoncé. Le F0 Moy Bas peut rendre une meilleure estimation globale des valeurs de F0 de l'énoncé que le F0 moyen.

- La moyenne de 20% des valeurs les plus basses de la hauteur (F0 moy bas)
- Le maximum de variation de F0 entre deux segments consécutifs (max delta F0)
- L'énergie moyenne (E moy)

- L'énergie minimale (E min)
- L'énergie maximale (E max)
- L'énergie médiane (E med)
- La plage de E (= E max – E min)
- La moyenne des formants F1, F2 et F3
- Le débit de la parole ou Vitesse d'articulation
- Rapport du nombre d'échantillon de la pente en haut sur le nombre d'échantillon de la pente en dessous pour le contour de F0 qui représente la forme de chaque vibration dans le contour (les contours intonatifs : montant, descendant, montant-descendant et plat)

Les mesures de F0 et de l'énergie sont estimées sur les segments de courte durée (fenêtres de déplacement temporelles de courtes durées de 10 à 30 ms) à l'aide du logiciel PRAAT [34]. Les contours de caractéristiques acoustiques sont utilisés pour représenter la caractéristique de variation de temps.

- Les paramètres spectraux, qui sont représentés par les coefficients spectrales MFCC (Mel Frequencies Cepstrals Coefficients). Ces coefficients sont calculés par le logiciel HTK ToolKit [35].

A l'issue de cette étape, le signal est représenté par des vecteurs de paramètres acoustiques qui permettent de discriminer les différents types d'émotions de base étudiées. Ce qui permet de réduire l'information en quantité et en redondance.

La figure suivante montre le diagramme de l'extraction des paramètres acoustiques :

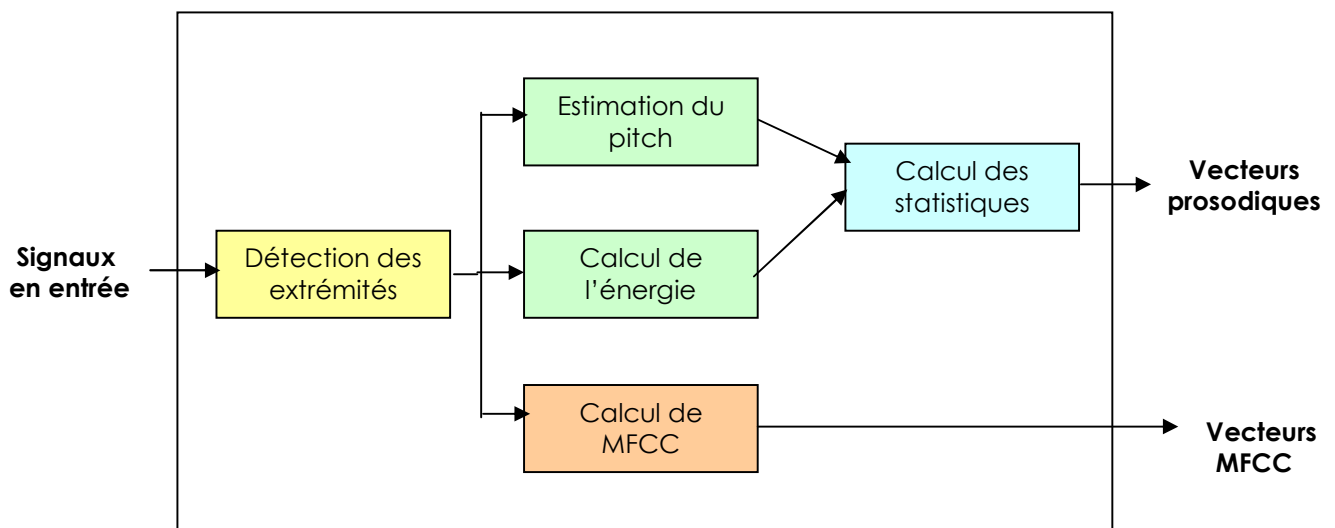


Figure 15. Le diagramme de l'extraction des paramètres acoustiques

Le pitch est ici extrait à l'aide du logiciel Praat [34], suivant la méthode autocorrélation vue dans le chapitre précédent (§ 2. 3.2.2). Pour chaque fenêtre des signaux de la parole, nous estimons le pitch et l'énergie puis nous calculons les cinq statistiques du pitch (moyenne, min, max, médiane, plage) et la moyenne de 20% des valeurs les plus basses du pitch ainsi que les cinq statistiques de l'énergie (moyenne, min, max, médiane, plage).

La dimension d'un vecteur prosodique est constituée de 17 paramètres pour chaque enregistrement. La représentation obtenue servira de base aux étapes ultérieures d'apprentissage et de reconnaissance. En effet, ces vecteurs acoustiques vont servir à l'élaboration éventuelle d'un modèle et sont introduits dans un classifieur.

✚ **Reconnaissance émotionnelle par SVM :**

Le rôle de cette étape est d'identifier l'émotion véhiculée dans la voix à partir de l'apprentissage réalisé. Cette étape de reconnaissance regroupe les deux tâches d'apprentissage et de décision. En effet, à partir de la même description de la forme (émotion) en paramètres, elles tentent, toutes les deux d'attribuer cette forme acoustique à un modèle (classe) de référence. Le résultat de l'apprentissage est soit la réorganisation ou le renforcement des modèles existants en tenant compte de l'apport de la nouvelle forme soit la création d'un nouveau modèle de l'apprentissage. Le résultat de la décision est un « avis » sur l'appartenance ou non de la forme aux modèles de l'apprentissage. Cet avis peut être :

- un succès si la réponse est unique (un seul modèle répond à la description de l'image acoustique),
- une confusion si la réponse est multiple (plusieurs modèles correspondent à la description), ou
- un rejet de la forme si aucun des modèles ne correspond à sa description.

Dans les deux premiers cas, la décision peut être accompagnée d'une mesure de vraisemblance appelée aussi *score* ou *taux de reconnaissance*.

Dans ce contexte, l'approche SVM est adoptée pour la classification émotionnelle. Cette étape consiste à trouver, étant donné une série de données appartenant à deux classes, l'hyperplan optimal qui peut distinguer complètement deux classes différentes. Cependant, traiter des données multi-classes, comme c'est le cas dans la reconnaissance émotionnelle, requiert la combinaison d'un ensemble de SVM. Le schéma de combinaison utilisé dans notre système est l'approche « un contre tous » vu dans le chapitre précédent (§ 2.5.2.5). Dans notre étude qui traite cinq types d'émotions de base ($k=5$), cinq classifieurs sont construits, un pour chaque classe. Le i ème classifieur construit un hyperplan entre la classe i et les $k-1$ classes restantes. Ici, la sortie de chaque SVM est sous forme d'une probabilité de classification dont la formule est vue dans le chapitre précédent (§ 2.5.2.4).

Le résultat de cette étape de reconnaissance émotionnelle à partir de la voix est sous forme d'un vecteur (E_v) :

$$E_v = (ev1, ev2, ev3, ev4, ev5)$$

e_{vi} : représente la probabilité de classification d'une classe émotionnelle i

🚧 **Reconnaissance de la parole par HMM:**

La reconnaissance automatique de la parole nécessite l'utilisation imbriquée de modèles acoustiques et de modèles de langage. Les modèles acoustiques permettent de prendre en compte des contraintes acoustiques au niveau d'un son ou d'un groupe de sons alors que les modèles de langage définissent les contraintes syntaxiques et sémantiques au sein d'un groupe de mots ou d'une phrase. Les techniques stochastiques sont actuellement les plus utilisées pour la modélisation acoustique de la parole. Dans notre étude, nous avons adopté les modèles HMM comme modèles acoustiques et nous avons utilisé le logiciel HTK [35] pour la reconnaissance automatique des mots prononcés par le locuteur apprenant.

Les Modèles de Markov Cachés (HMM) constituent une méthode statistique puissante pour caractériser les échantillons de données observés d'un processus à temps discret. Elle apporte non seulement un moyen efficace de construction de modèles paramétriques, mais elle incorpore aussi le principe de programmation dynamique pour unifier la segmentation et la classification de séquence de données variant dans le temps. Dans la modélisation d'un processus par les HMM, les échantillons peuvent être caractérisés par un processus paramétrique aléatoire dont les paramètres peuvent être estimés dans un cadre de travail bien défini. Dans une chaîne de Markov, chaque état correspond à un événement à observation déterministe (la sortie de ses sources pour un état donné n'est pas aléatoire). Une extension naturelle à la chaîne de Markov introduit un processus non déterministe qui génère des symboles de sortie pour chaque état. L'observation est donc une fonction probabiliste de l'état. Le nouveau modèle est appelé HMM, pouvant être vu comme deux processus stochastiques imbriqués dont l'un (la séquence d'états) est non observable directement. Ce processus sous-jacent est donc associé de façon probabiliste à un autre processus produisant la séquence de trames, qui elle, est observable.

3.3.3.2. Module de reconnaissance émotionnelle par analyse textuelle (REAT):

Ce module a comme but de détecter les émotions à partir des informations lexicales et les classer selon cinq types de base, à savoir, joie, tristesse, colère, peur, neutre. Pour cela, nous supposons que l'orientation émotionnelle d'une phrase en entrée est essentiellement représentée par l'apparence de deux types de mots :

- Les mots-clés à référence émotionnelle, qui fournissent une description fondamentale de l'émotion d'une phrase. Par exemple, dans la phrase « أنا سعيد بنتائجي », le mot-clé سعيد fait référence à l'émotion de la joie.
- Les mots de modification émotionnelle, qui peuvent intensifier ou éliminer l'état émotionnel. Par exemple, les trois phrases suivantes, ont des états et des degrés émotionnels différents :

«أنا سعيد»
«أنا لست سعيد»
«أنا جد سعيد»

La seule différence entre ces trois phrases est dans les mots de modification émotionnelle « لست » et « جد ».

Ces mots sont définis manuellement et utilisés pour extraire l'orientation émotionnelle d'une phrase. Pour chaque mot-clé correspond un descripteur émotionnel et pour chaque mot de modification émotionnelle correspond une valeur de modification émotionnelle. Dans notre approche, nous supposons que chaque phrase en entrée inclue un ou plusieurs mots-clés et mots de modification émotionnelle. Donc pour identifier l'émotion de sortie, pour chaque phrase en entrée, les descripteurs émotionnels sont moyennés et modifiés en utilisant les valeurs de modification émotionnelle.

L'architecture du module REAT est représentée dans le schéma suivant :

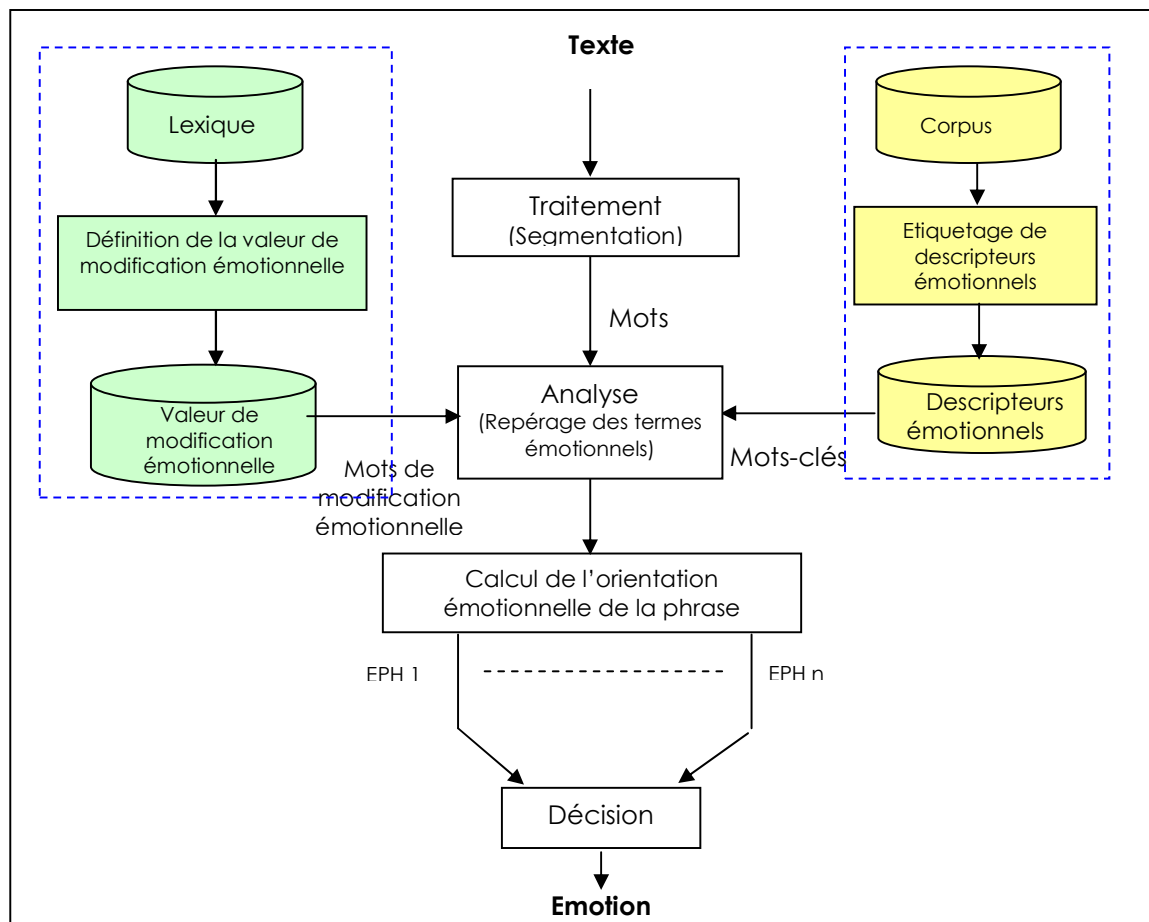


Figure 16. Architecture du module REAT de EMOTIO

✚ Acquisition et Traitement :

Une fois acquise par le module REAV ou saisie dans un éditeur de texte, le texte en entrée subit une segmentation en phrases (par détection des ponctuations délimitantes (ex. .?!;) et de l'article de concaténation « و » (et) assemblant plusieurs phrases), puis en mots (par détection des blancs séparant les mots). Cette segmentation est basée sur une analyse lexicale et syntaxique.

✚ Extraction des termes émotionnels :

C'est une étape clé pour ce système qui permet d'extraire les termes d'émotion d'une phrase en se basant sur des indices linguistiques textuels. Dans notre approche, nous nous limitons aux indices textuels de type lexical. L'extraction des termes émotionnels se base sur un système de repérage des mots-clés et des mots de modification émotionnelle (Keywords spotting). Ce système va comparaître le mot de la phrase en entrée avec ceux qui sont prédéfinis a priori dans des bases de données relatives aux descripteurs émotionnels et aux valeurs de modification émotionnelle.

- Définition des mots-clés émotionnels: pour chaque mot-clé émotionnel correspond un descripteur émotionnel représentant un ensemble de descriptions des réactions d'émotions correspondantes aux mots-clés. Fondamentalement, il contient l'étiquette de l'état émotionnel, qui peut être l'une des cinq étiquettes suivantes : (1) joie, (2) tristesse, (3) colère, (4) peur, (5) neutre, et une valeur d'intensité qui s'étend de 0 à 1 et qui décrit la force d'appartenance du mot-clé à cet état émotionnel. Par exemple, le descripteur du mot-clé « راض », qui fait référence à la joie, est : $\{(1, 0.3)\}$. Les niveaux d'intensité émotionnelle des mots-clés à référence émotionnelle, sont estimés en se basant sur un corpus d'émotions collectés.

Dans beaucoup de cas, un mot-clé peut contenir un ou plusieurs réactions émotionnelles. En conséquence, il peut y avoir plus d'un descripteur d'émotion pour un mot-clé émotionnel. Par exemple, deux états émotionnels, *tristesse* et *colère*, sont impliqués dans le mot-clé émotionnel « *مستاء* déçu ». Donc les descripteurs d'émotion sont : $\{(2, 0.2), (3, 0.6)\}$. La valeur de l'intensité de la colère (0.6) est plus grande que celle de la tristesse (0.2) parce que le mot déçu fait référence à une colère plus qu'à une tristesse.

Les descripteurs d'émotion de chaque mot-clé sont définis manuellement par des annotateurs en se basant sur un corpus d'émotions collectés. Afin d'éliminer les erreurs dues au jugement subjectifs, tout les mots sont étiquetés par deux annotateurs. Pour chaque mot-clé, si les résultats étiquetés sont proches, la moyenne de ces valeurs sera considérée comme descripteur d'émotion du mot. Et si les deux annotateurs ne peuvent pas atteindre un accord commun, un troisième annotateur est invité à étiqueter le mot et le résultat sera pris en compte.

- Définition des valeurs de modification émotionnelle: outre, les mots-clés émotionnels, les mots de modification émotionnelle jouent un rôle important dans la reconnaissance émotionnelle. Tous les mots de modification émotionnelle peuvent être classés dans deux groupes :
 - Positif, qui renforce l'état émotionnel courant,
 - Négatif, qui inverse l'état émotionnel courant.

La valeur de modification émotionnelle est manuellement définie pour chaque mot de modification émotionnelle. Elle consiste en un signe (+) ou (-) et un nombre indiquant la puissance du mot de modification émotionnelle. Par exemple :

$$\text{جد} = +1 \qquad \text{ليس} = -1$$

🔧 Calcul de l'orientation émotionnelle de la phrase :

Pour identifier l'émotion de sortie (EPH), pour chaque phrase en entrée, les descripteurs émotionnels sont moyennés et modifiés en utilisant les valeurs de modification émotionnelle selon le principe suivant :

« Etant donnée une phrase en entrée S , la réaction émotionnelle obtenue du contenu textuel de la phrase S est représentée par le vecteur $EPHs$ de cinq dimensions :

$$EPHs = (et1, et2, et3, et4, et5)$$

Les éléments eti , où $i=1..5$, représentent la relation entre la phrase S et les cinq états émotionnels. Chaque valeur de eti , relative à l'émotion i , est calculée comme suit [C 00] :

$$et_i = \left(\prod_{x=1}^N u_x \right)^{1/N} \left(\frac{\sum_{y=1}^M \sum_{z=1}^{Ry} S(l_z^y, i) v_z^y}{\sum_{y=1}^M \sum_{z=1}^{Ry} S(l_z^y, i)} \right)$$

$$1 \leq i \leq 5$$

La première parenthèse représente la moyenne géométrique de toutes les valeurs de modification émotionnelle. La deuxième parenthèse représente la moyenne des intensités qui appartiennent à l'état émotionnel i . Où :

- lyz : représente la z ème étiquette de l'état émotionnel i relative au y ème mot-clé de la phrase S
- vyz : représente la z ème valeur d'intensité relative au y ème mot-clé de la phrase S
- M : représente le nombre de mots-clés dans la phrase
- N : représente le nombre des mots de modification émotionnelle dans la phrase
- Ry : représente le nombre de descripteur émotionnel pour chaque mot-clé

U_x : représente la valeur du mot de modification émotionnelle

La fonction $S(l_{yz}, i)$ prend la valeur 1 si $l_{yz} = i$ et 0 sinon.

Par exemple, l'orientation émotionnelle de la phrase « أنا غاضب و جد مستاء من نتائجي » est calculée comme suit :

Ici, le y ème mot-clé émotionnel est représenté par K_y , $1 \leq y \leq M$, et pour chaque K_y , le descripteur d'émotion correspondant et le couple (l_{yz}, v_{yz}) où $1 \leq z \leq R_y$. On aura donc :

$$M = 2$$

Mot-clé 1 = « غاضب » → descripteur émotionnelle : $R1 = \{(3,1)\}$ où $l_{11} = 3$ et $v_{11} = 1$

Mot-clé 2 = « مستاء » → descripteur émotionnelle : $R2 = \{(2, 0.3), (3, 0.6)\}$ où $l_{21} = 2, v_{21} = 0.3$ et où $l_{22} = 3$ et $v_{22} = 0.6$

$$N = 1 (u_1(\text{جد}) = +1)$$

La relation entre la phrase et les différents émotions est calculée comme ci-dessous :

$$et1 = [s(l_{11},1) * v_{11} + s(l_{21},1) * v_{21} + s(l_{22},1) * v_{22}] / [s(l_{11},1) + s(l_{21},1) + s(l_{22},1)]$$

$$= [s(3,1) * 1 + s(2,1) * 0.2 + s(3,1) * 0.6] / [s(3,1) + s(2,1) + s(3,1)] = \mathbf{0}$$

$$et2 = [s(3,2) * 1 + s(2,2) * 0.2 + s(3,2) * 0.6] / [s(3,2) + s(2,2) + s(3,2)] = 0.2/1 = \mathbf{0.2}$$

$$et3 = [s(3,3) * 1 + s(2,3) * 0.2 + s(3,3) * 0.6] / [s(3,3) + s(2,3) + s(3,3)] = 1.6/2 = \mathbf{0.8}$$

$$et4 = [s(3,4) * 1 + s(2,4) * 0.2 + s(3,4) * 0.6] / [s(3,4) + s(2,4) + s(3,4)] = \mathbf{0}$$

$$et5 = [s(3,5) * 1 + s(2,5) * 0.2 + s(3,5) * 0.6] / [s(3,5) + s(2,5) + s(3,5)] = \mathbf{0}$$

La réaction émotionnelle obtenue du contenu textuel de la phrase est représentée par le vecteur :

$$EPH = (0, 0.2, 0.8, 0, 0)$$

🚩 Décision émotionnelle :

Après que la réaction émotionnelle de chaque phrase en entrée est calculée, l'émotion finale du texte représentant la réponse de l'apprenant, qui est constitué d'une ou plusieurs phrases, est déterminée selon l'algorithme suivant :

Si texte = une phrase **alors**

Emotion = le vecteur EPH

$$Et = EPH$$

Sinon

1. Faire une combinaison linéaire de tous les vecteurs EPH_i

2. Emotion = le vecteur résultant de la combinaison

$$Et = (\prod EPH_i)^n \text{ où } n : \text{ le nombre de phrases du texte}$$

Fin

3.3.3.3. Calcul de l'émotion finale :

L'émotion finale (E) représentant l'état émotionnel courant de l'apprenant lors d'une session d'apprentissage, peut être calculée de deux façons différentes, selon la nature de la communication entreprise, parlée ou écrite, dans l'interaction du système avec l'apprenant.

➤ Entrée = signaux de parole :

Dans une communication parlée, l'émotion finale (E) est une combinaison linéaire des deux sorties :

- Le résultat de la reconnaissance émotionnelle de l'analyse vocale (E_v),
- Le résultat de la reconnaissance émotionnelle de l'analyse textuelle (E_t).

$$E = (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5)$$
$$e_i = \alpha e_{vi} + (1 - \alpha) e_{ti}$$
$$\alpha = \max (e_{vi})$$

➤ Entrée = texte tapé :

Dans une communication écrite, l'émotion finale (E) est le résultat de la reconnaissance émotionnelle de l'analyse textuelle (E_t).

Selon la supposition que l'état émotionnel courant est influencée par les états émotionnels précédents, le vecteur de l'émotion courante E(t) doit être modifié par la moyenne de ses vecteurs émotionnels précédents E(t-1). Le calcul de l'historique d'émotion est défini comme suit :

$$E_{histo}(t) = \delta E(t) + (1-\delta) E(t-1)$$

Où :

δ : le coefficient combinatoire (= 0.75)

E_{histo}(t) : est un vecteur indiquant l'état émotionnel final qui prend en considération l'historique émotionnel.

L'émotion finale représentant l'état de l'apprenant est l'émotion dont la valeur est la plus grande dans le vecteur E_{histo}(t). Par exemple, dans le vecteur émotionnel E_{histo}(t) = (0, 0.2, **0.8**, 0, 0), nous pouvons conclure que l'apprenant éprouve de la **colère**.

3.4. Conclusion :

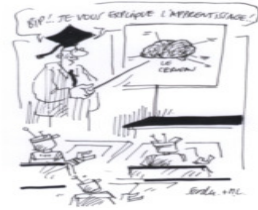
Ce chapitre résume notre contribution dédiée à la reconnaissance émotionnelle, en proposant un système de reconnaissance émotionnelle à partir d'une analyse bimodale des indices vocaux et textuels que la parole intègre. Ce système constitue un module de perception intégré dans un agent émotionnel qui, se trouvant dans un système multi-agent dédié à l'apprentissage, s'interagit et se

collabore avec les autres agents pour garantir un apprentissage certain et optimale aux apprenants.

Le chapitre suivant représente une implémentation du système proposé. Une validation de l'apport de l'analyse bimodale pour l'amélioration de la précision de reconnaissance émotionnelle est donnée en menant plusieurs études expérimentales sur la parole émotionnelle.

Chapitre 04 : ETUDE EXPERIMENTALE ET IMPLEMENTATION

*« Mettre
des mots
sur nos
émotions
est la
première étape de l'apprentissage
de la grammaire émotionnelle »*



4.1. Introduction :

Ce chapitre présente notre étude expérimentale composée de deux étapes, l'une portant sur le processus de reconnaissance de la voix émotionnelle qui est un ensemble d'analyses acoustiques sur un corpus arabe dont le but est d'étudier comment l'état émotionnel du locuteur est exprimé dans la parole actée en identifiant les changements acoustiques de la voix émotionnelle par rapport à la voix neutre, et l'autre étape étudie l'apport de l'information lexical quant à l'amélioration de la qualité de reconnaissance émotionnelle à partir de la parole. Une implémentation du module de reconnaissance émotionnelle à partir du texte est réalisée sous la plate-forme moodle.

4.2. Etude expérimentale :

4.2.1. Objectif de l'étude expérimentale :

Les objectifs de l'étude expérimentale sont les suivants :

- apprendre à quel point, nous pouvons identifier des émotions dans la parole;
- identifiant les changements acoustiques de la voix émotionnelle,
- étudier l'apport de l'information lexical dans l'amélioration de la précision de la reconnaissance émotionnelle en comparant les performances de la reconnaissance vocale avec celles d'une reconnaissance bimodale basée sur la voix et le texte prononcé.

4.2.2. Méthodologie de travail :

Pour effectuer l'étude expérimentale, nous avons suivie la méthodologie suivante :

- Etablir un corpus oral pour l'expérimentation,
- Réaliser une analyse acoustique en extrayant les différents paramètres prosodiques vu dans le chapitre précédent,

- Diviser le corpus en deux parties selon la répartition suivante, 70% des enregistrements du corpus pour le processus d'apprentissage et 30% pour le test,
- Lancer le processus d'apprentissage pour générer les modèles pour les classes émotionnelles en étude,
- Valider les modèles générés avec les enregistrements de test selon le critère suivant : Si le taux de reconnaissance est grand alors le modèle est valide sinon refaire l'apprentissage
- Lancer le processus de reconnaissance de l'orientation émotionnelle d'un nouveau enregistrement analysé acoustiquement en utilisant les différents classifieurs émotionnelles. L'émotion choisie est celle dont le classifieur a donné le taux de reconnaissance le plus élevé.

4.2.3. L'établissement du corpus oral de l'expérimentation :

Dans notre expérimentation, nous avons choisi comme support vocal, un corpus de 320 enregistrements de parole actée par trois locuteurs (deux hommes et une femme) qui ont simulé et produit les différents états émotionnels en prononçant chacun cinq phrases en langue arabe : « اناسعيد », « اناغاضب », « اناحزين », « خائف », « انا », « انا اراجع » (chaque phrase est prononcée 20 fois et fait référence à un état émotionnel). Dans notre étude, nous avons considéré quatre états émotionnels de base, à savoir : joie, colère, tristesse et peur ainsi que l'état neutre qui ne désigne aucune émotion. Les différents enregistrements ont été réalisés en utilisant un microphone et le logiciel GOLDWAVE.

Pour s'assurer de la qualité des enregistrements qui seront utilisés dans l'étude, une présélection des enregistrements, basée sur la qualité acoustique et sur la bonne simulation émotionnelle, a été faite par trois auditeurs qui n'ont retenu que ceux qui ont obtenu un bon jugement. Ce qui a réduit le nombre des enregistrements à 300 triées par émotions exprimées.

4.2.4. Analyse acoustique :

Notre tâche ici est de décrire le changement prosodique des enregistrements en fonction de l'état émotionnel des locuteurs avec des mesures acoustiques. Nous avons utilisé le logiciel PRAAT (voir annexe 01), qui est un produit dédié au traitement prosodique de la parole, pour extraire les paramètres acoustiques servant à la reconnaissance émotionnelle. Ces paramètres sont des mesures du pitch (F0), de l'énergie, de formants (F1, F2, F3), du jitter et du shimmer qui sont estimées sur des segments de courte durée (fenêtres de déplacement temporelles de courtes durées 30 ms). La figure 26, montre les contours des différents paramètres extraits du signal segmenté par le module SoundEditor du logiciel PRAAT.

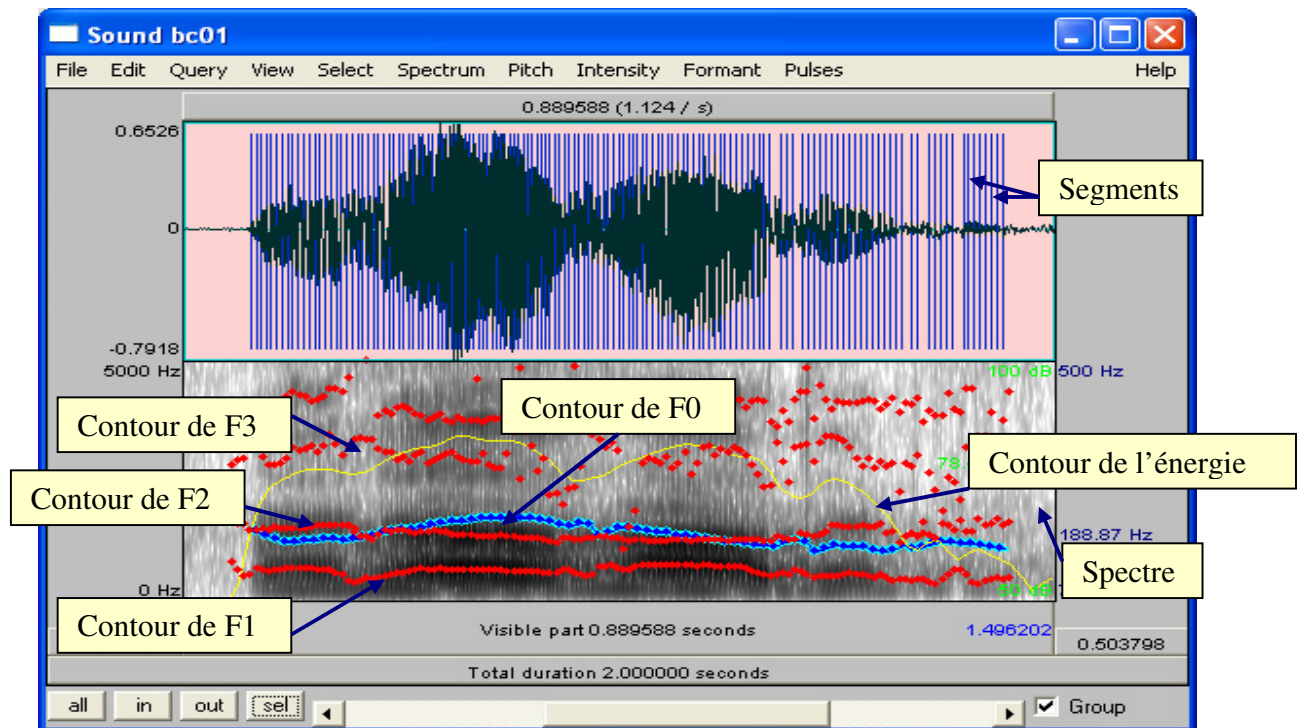


Figure 17. Le module SoundEditor du logiciel PRAAT

Des statistiques ont été calculées pour chaque paramètre par des programmes (Voir annexe 04) que nous avons écrits dans le langage Matlab, qui lisent à partir du logiciel PRAAT, les différentes valeurs relatives aux courbes des différents paramètres prosodiques. Les statistiques calculées sont :

- moyenne, minimum, maximum, médiane, plage et la moyenne de 20% des valeurs les plus basses de F0.
- moyenne, minimum, maximum, médiane, plage de l'énergie
- moyenne des trois premiers formants F1, F2 et F3

En tout, nous avons calculé 16 paramètres, qui vont constituer les vecteurs acoustiques, pour chaque enregistrement. Dans la figure 18, sont montrées les courbes relatives à la fréquence fondamentale (ligne bleu) et à l'énergie (ligne gaue) ainsi que les spectres des différents enregistrements relatifs aux différentes émotions en étude.

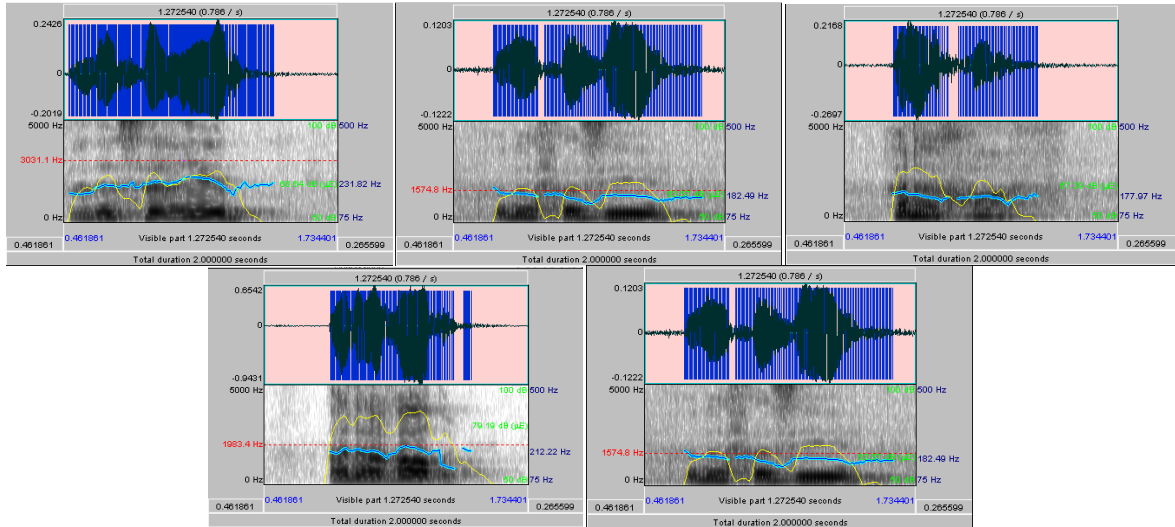


Figure 18. les contours de F0 (bleu) et de l'énergie (jaune) relatifs, respectivement, aux émotions de joie, neutre, peur, tristesse et colère.

Le tableau 07 représente la moyenne des statistiques calculées pour les différents paramètres extraites des enregistrements du corpus pour chaque type d'émotion.

		Emotions				
		Neutre	Joie	Colère	Tristesse	Peur
Caractéristiques acoustiques	F0 moy.	178.313	252.666	211.785	182.331	192.843
	F0 min.	128.026	168.784	96.275	102.431	99.145
	F0 max.	232.839	298.392	265.935	243.793	244.257
	F0 med.	180.911	249.087	211.502	184.037	189.621
	F0 déviation	28.768	30.667	14.076	11.292	12.647
	F0 plage	104.813	129.607	169.66	141.362	145.112
	F0 moy. bas	177.995	206.902	141.078	124.860	136.510
	E. moy.	55.68	60.961	64.951	51.620	47.759
	E. min.	37.216	39.522	38.727	40.282	39.354
	E. max.	72.644	78.641	86.962	69.740	70.371
	E. med.	56.661	43.907	52.968	47.066	42.772
	E. plage	35.428	39.118	48.235	29.458	31.017
	Jitter (%)	2.57	2.196	2.057	2.298	2.375
	Shimmer (%)	9.22	8.353	11.898	12.689	12.313
	F1 moy.	563.615	602.115	596.468	533.170	656.975
	F2 moy.	1412.914	1708.166	1518.8011	1612.181	1574.167
	F3 moy.	2644.223	2768.725	2649.656	2936.184	2941.098

Tableau 07: Statistiques des paramètres pour chaque émotion

D'après les résultats obtenus de l'analyse acoustique de notre corpus (tableau 07), nous remarquons que :

- l'excitation émotionnelle de l'émotion positive (joie) et de l'émotion négative (colère, tristesse et peur) est distinguée de l'état émotionnellement neutre par l'élévation du F0 maximum.
- L'émotion positive est distinguée des émotions neutre et négative par l'élévation du F0 moyen, tandis que l'émotion négative est distinguée des émotions neutre et positive par l'abaissement du F0 minimum et du F0 Moy Bas.
- L'élévation de la plage de F0 semble être pertinente pour indiquer l'apparition de l'émotion négative dans la voix.
- Les émotions de joie et de colère enregistrent une intensité plus élevée qu'aux autres émotions.
- Les valeurs de jitter ne varient guère entre les émotions positive, neutre et négative.
- Les valeurs de shimmer de l'émotion négative sont plus élevées que celles des émotions positive et neutre, mais cette élévation n'est pas statistiquement significative.
- Les trois premiers formants (F1, F2, F3) ne semblent pas être pertinents pour indiquer l'apparition de l'émotion positive et négative.

4.2.5. Reconnaissance émotionnelle par SVM :

Après un traitement acoustique et une extraction des paramètres, une étape de classification émotionnelle par SVM est effectuée afin de trouver les classifieurs qui discriminent le mieux les différentes émotions objet de notre étude. Cette classification est basée sur une étape d'apprentissage suivi d'une étape de test. Pour améliorer la qualité d'apprentissage, une technique de validation croisée est effectuée, dans laquelle on estime la performance du système en la mesurant empiriquement sur des exemples n'ayant pas été utilisés en cours d'apprentissage. Pour cela, nous avons divisé notre corpus en 200 enregistrements pour l'apprentissage et 100 enregistrements pour le test. On n'aura donc pour chaque type d'émotion un jeu d'apprentissage constitué de 40 enregistrements et un jeu de test constitué de 20 enregistrements. Le jeu d'apprentissage de chaque classe émotionnelle va être utilisé pour l'établissement d'un modèle de cette classe tandis que le jeu de test va valider ce modèle.

Dans cette expérimentation, nous avons utilisé l'environnement *SVM^{light}* version 6.01, qui est une implémentation des machines à vecteurs de support (SVM) dans le langage C, pour sa facilité d'utilisation et sa disponibilité.

Processus d'apprentissage :

Pour l'apprentissage des exemples (jeu d'apprentissage) et l'établissement du classifieur de chaque émotion, nous avons utilisé la commande suivante :

```
svm_learn [options] Fichier_apprentissage Fichier_modèle
```

Où :

[options] : représente les différents options d'apprentissage **-z** (classification **c** , régression **r**,...) ainsi que les différentes fonctions **-t** : linéaire (**0**) et noyaux [polynomiale (**1**), rbf (**2**), sigmoïdale (**3**)] avec leurs paramètres.

Fichier_apprentissage : contient les données pour l'apprentissage, il est composé de 20 enregistrements, relatif à l'émotion à classer, libellés positivement (**+1**) et 20 enregistrements relatifs aux autres différents types d'émotion (5 enregistrements pour chaque émotion), libellés négativement (**-1**)

Fichier_modèle : contient le modèle de la classe de l'émotion à classer, il est généré par la commande `svm_learn`.

Nous avons testé manuellement les différents noyaux des SVM et nous avons fait varier les différentes valeurs de leurs paramètres afin d'obtenir le noyau optimal qui donne la meilleure classification. Un extrait des résultats est présenté dans le tableau suivant :

Fonction du noyau	paramètres	Erreur	rappel	précision
linéaire	-	30	82,35	82,35
polynomiale	d=0.05	100	0	0
polynomiale	d=1	30	82,35	82,35
polynomiale	d=2	25	88.24	83.33
polynomiale	d=3	100	0	0
rbf	g=2	45	55	55.3
rbf	g=5	45	55	55.3
rbf	g=100	45	55	55.3
sigmoïdale	r=0.2	30	25	45.6
sigmoïdale	r=2	30	25	45.6
sigmoïdale	r=20	25	15	40.2

Tableau 08: Résultats de la classification émotionnelle

D'après les résultats, nous avons trouvé que le noyau polynomial avec d=2 présente le plus petit taux d'erreur et la meilleure précision. Ce qui va donner le meilleurs taux de reconnaissance dans la phase de test.

Processus de test :

Pour le test, nous avons utilisé la commande suivante :

`svm_classify [options] Fichier_test Fichier_modèle Fichier_résultat`

Où :

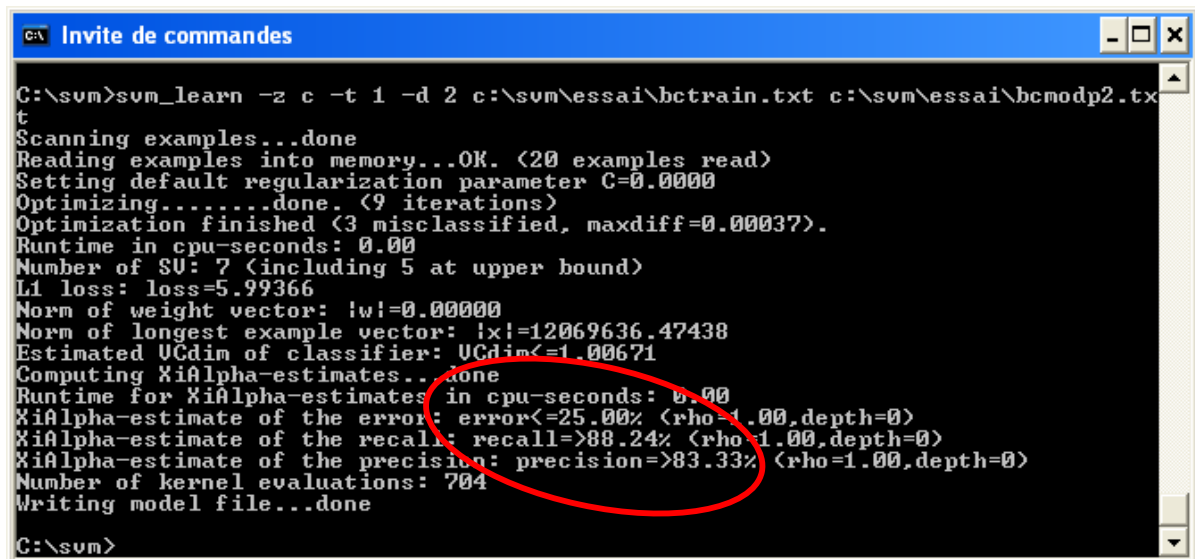
[options] : représente les différents options de classification : **-v [0..3]** (niveau de verbosité) et **-f [1..2]** (le format de sortie)

Fichier_test : contient les données pour le test, il est composé de 10 enregistrements, relatif à l'émotion à classer, libellés positivement (+1) et 10 enregistrements, relatifs aux autres différents types d'émotion, libellés négativement (-1)

Fichier_modèle : contient le modèle de la classe de l'émotion à classer établi lors de la phase d'apprentissage

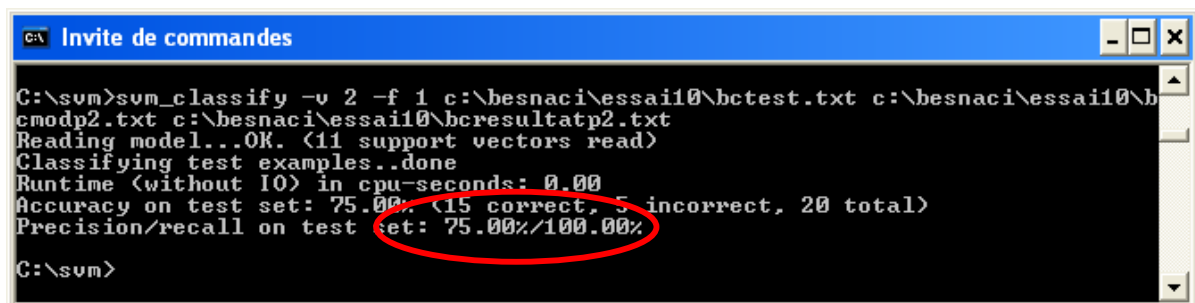
Fichier_résultat : contient le résultat de la classification (taux de reconnaissance)

Un exemple illustratif, sous l'environnement SVM^{light}, montrant les résultats de l'apprentissage (figure 19) et de la classification (figure 20) de l'émotion de colère est présenté ci-dessous :



```
C:\svm>svm_learn -z c -t 1 -d 2 c:\svm\essai\bctrain.txt c:\svm\essai\bcmoldp2.txt
Scanning examples...done
Reading examples into memory...OK. (20 examples read)
Setting default regularization parameter C=0.0000
Optimizing.....done. (9 iterations)
Optimization finished (3 misclassified, maxdiff=0.00037).
Runtime in cpu-seconds: 0.00
Number of SV: 7 (including 5 at upper bound)
L1 loss: loss=5.99366
Norm of weight vector: |w|=0.00000
Norm of longest example vector: |x|=12069636.47438
Estimated UCdim of classifier: UCdim=1.00671
Computing XiAlpha-estimates...done
Runtime for XiAlpha-estimates in cpu-seconds: 0.00
XiAlpha-estimate of the error: error=>25.00% (rho=1.00,depth=0)
XiAlpha-estimate of the recall: recall=>88.24% (rho=1.00,depth=0)
XiAlpha-estimate of the precision: precision=>83.33% (rho=1.00,depth=0)
Number of kernel evaluations: 704
Writing model file...done
C:\svm>
```

Figure 19 : les résultats du processus d'apprentissage de l'émotion de colère



```
C:\svm>svm_classify -v 2 -f 1 c:\besnaci\essai10\bctest.txt c:\besnaci\essai10\bcmoldp2.txt c:\besnaci\essai10\bcreresultatp2.txt
Reading model...OK. (11 support vectors read)
Classifying test examples..done
Runtime (without IO) in cpu-seconds: 0.00
Accuracy on test set: 75.00% (15 correct, 5 incorrect, 20 total)
Precision/recall on test set: 75.00%/100.00%
C:\svm>
```

Figure 20 : les résultats du processus de reconnaissance de l'émotion de colère

D'après les résultats nous avons trouvé que le noyau polynomial avec $d=2$ présente la meilleure classification avec un taux de reconnaissance moyen de 63.98%. Les résultats obtenus, pour les différentes émotions, sont rapportés dans le tableau 09 suivant :

	joie	tristesse	colère	Peur	neutre
Taux de reconnaissance	61,1%	68,5%	75%	49%	66,3%

Tableau 09 : Les taux de reconnaissance relatifs aux différentes émotions

De cette expérience, nous avons remarqué que le degré de perception des différents émotions à partir du canal vocal n'est pas le même. La colère est l'émotion la plus perceptible tandis que la peur est moins perceptible par la voix. Nous avons remarqué aussi que la performance de reconnaissance émotionnelle dépend largement des paramètres extraits et du corpus élaboré.

5.3. Implémentation du module de reconnaissance émotionnelle par analyse textuelle :

Dans la plateforme moodle, nous avons intégré un module dédié à la reconnaissance émotionnelle par analyse textuelle (REAT). Ce module, dont l'architecture et le fonctionnement a été expliqué dans le chapitre précédent, est accessible en mode administration seulement, c.à.d, seule l'administrateur peut y accéder.

Pour l'implémentation de ce module, nous avons fait recours au langage PHP et au système de gestion des bases de données MYSQL qui sont les ressources utilisées pour le développement et la mise en place de la plate-forme Moodle.

Pour reconnaître l'état émotionnel d'un apprenant en cours d'une session d'apprentissage, il faut tout d'abord vous identifier comme étant un administrateur de la plate-forme ou un responsable du cours et cela en cliquant sur *connexion* et en tapant le nom d'utilisateur et le mot de passe comme suit :

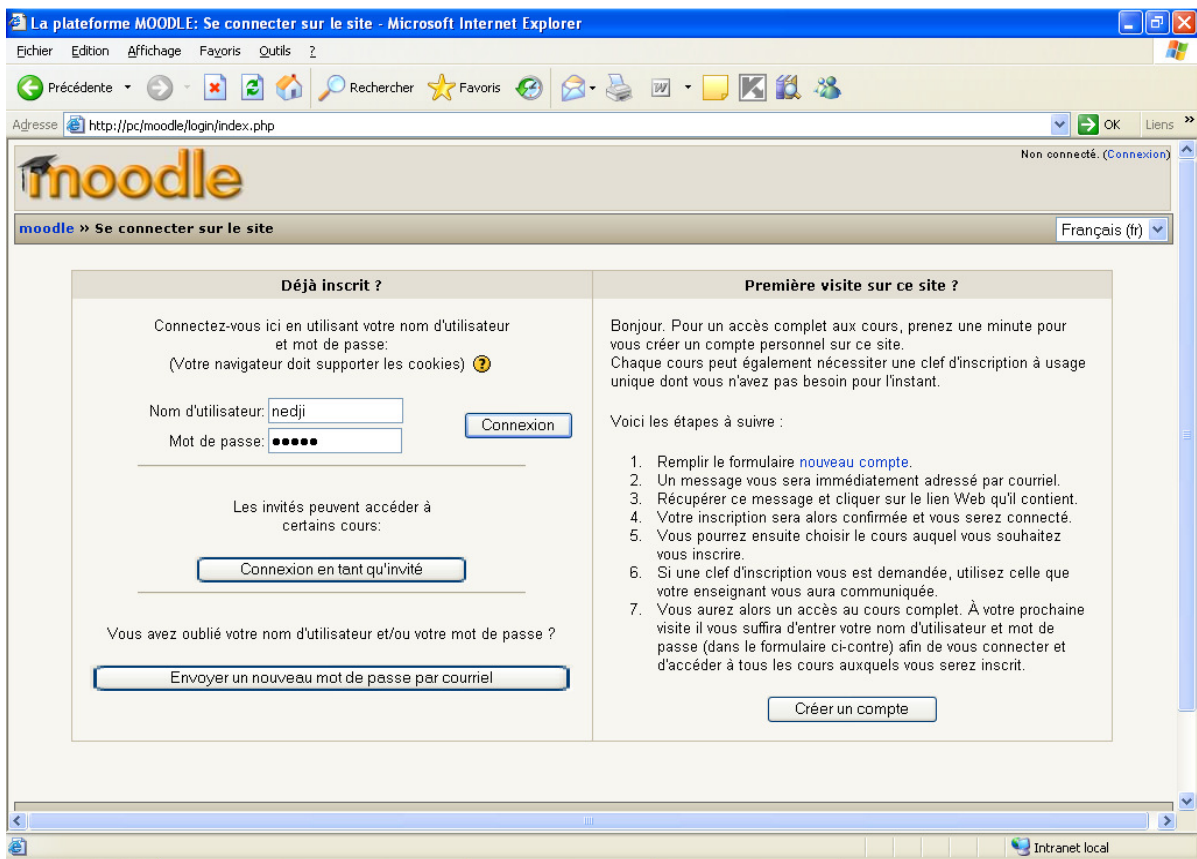


Figure 21 : Page d'identification dans la plate-forme moodle

Après l'identification, la page principale de moodle, comme montré ci-dessous, apparaît. Dans l'onglet *Administration*, une commande *Reconnaissance émotionnelle* apparaît qui permet d'activer l'agent EMOTIO dont le comportement se résume à l'extraction de l'état émotionnel courant d'un apprenant en cours de connexion et cela en se basant sur la réponse de ce dernier à des questions pré-établies.

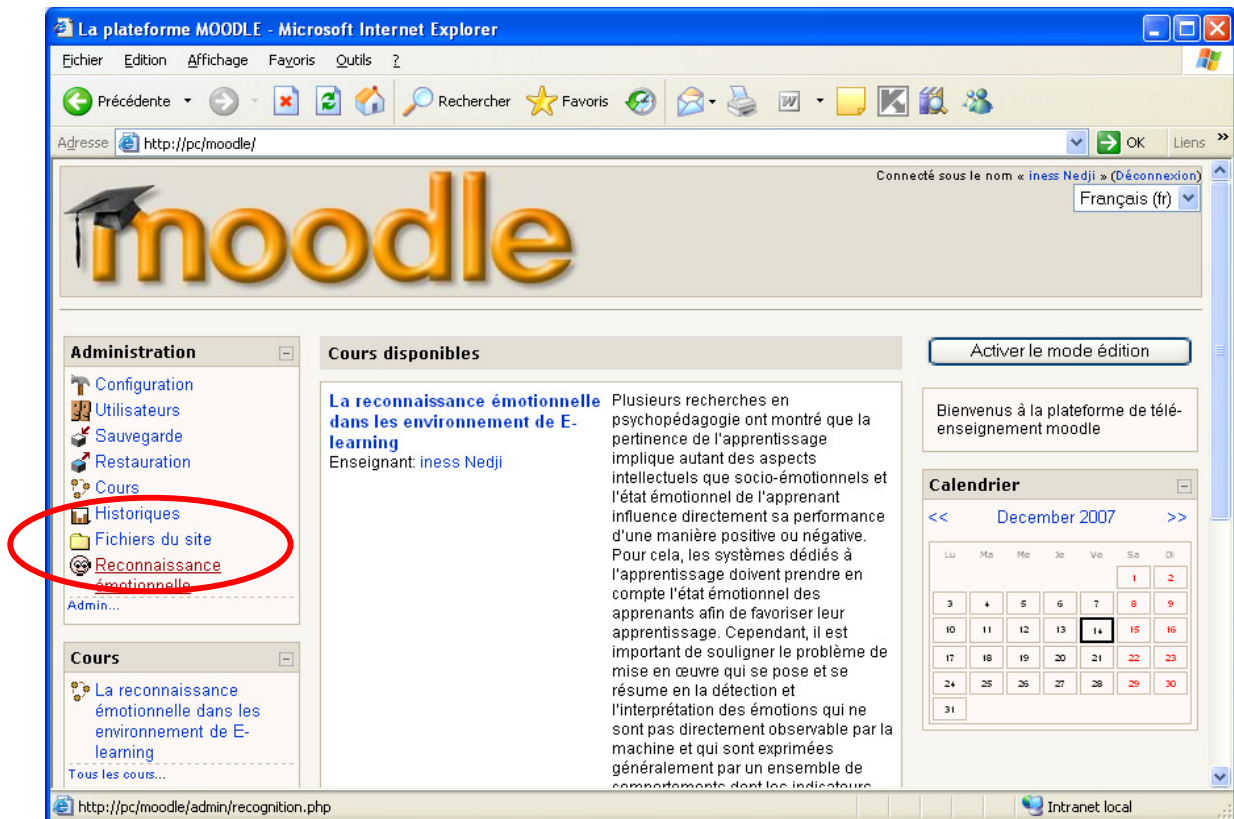


Figure 22 : Page principale de l'administrateur de moodle

Pour déclencher le processus de reconnaissance, sélectionner la commande 'Reconnaissance émotionnelle'.

La page *Participants* apparaît comme présentée ci-dessous. Cette page permet à l'administrateur ou au responsable du cours de sélectionner l'apprenant qu'on veut reconnaître l'état émotionnel en cours. Sélectionner un apprenant en cours de connexion (Ep. Milat Hafid)

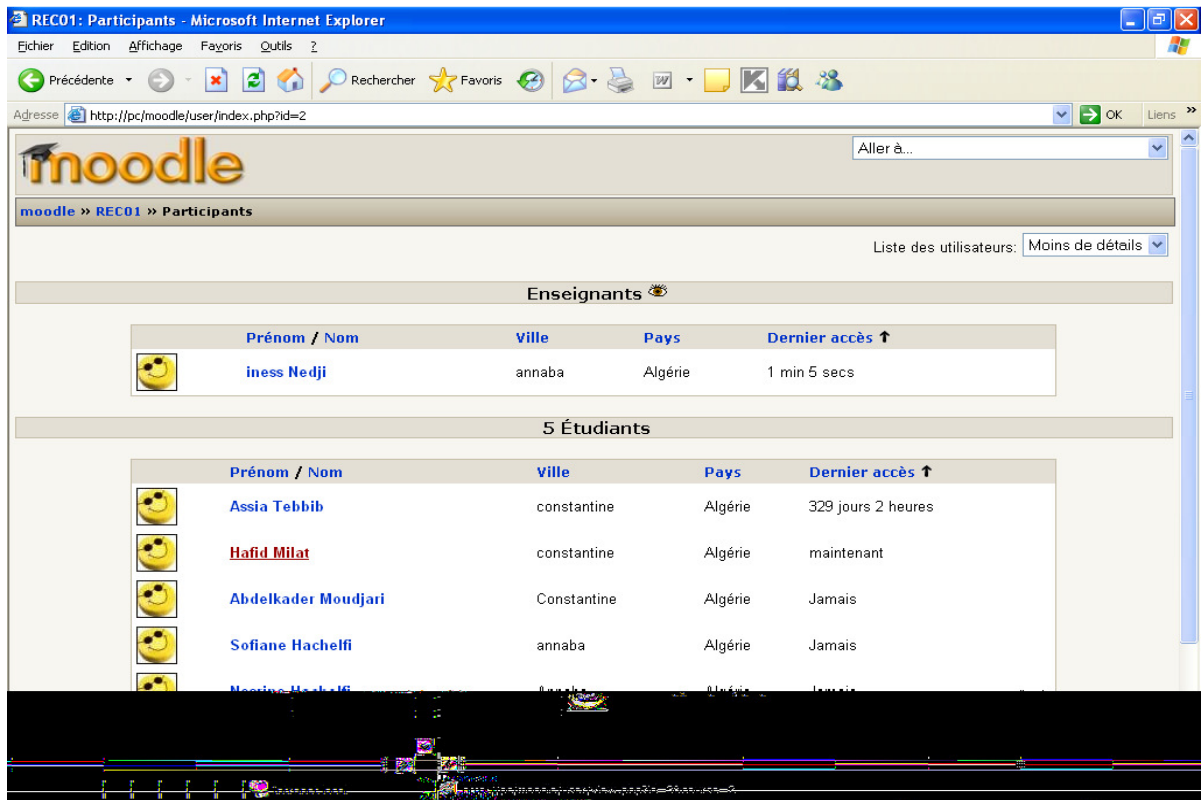


Figure 23 : Page des participants inscrits dans un cours

Après avoir sélectionné l'apprenant à l'agent EMOTIO, ce dernier va poser des questions à l'apprenant qui va y répondre ouvertement et textuellement en langage naturel en français ou en arabe selon son choix. Cette réponse est ensuite analysée selon un processus de traitement émotionnel afin d'en extraire le référent émotionnel.

Le code relatif à ce processus de traitement émotionnel est expliqué en annexe 03.

Deux exemples illustratifs, montrant le processus de reconnaissance émotionnelle par analyse textuelle, l'un exprimées en français et l'autre en arabe sont donnés ci-après.

Exemple 01 : Dans l'exemple où la langue sélectionnée est le français, la réponse de l'apprenant et son orientation émotionnelle sont comme présentée dans les figures 24 et 25 :

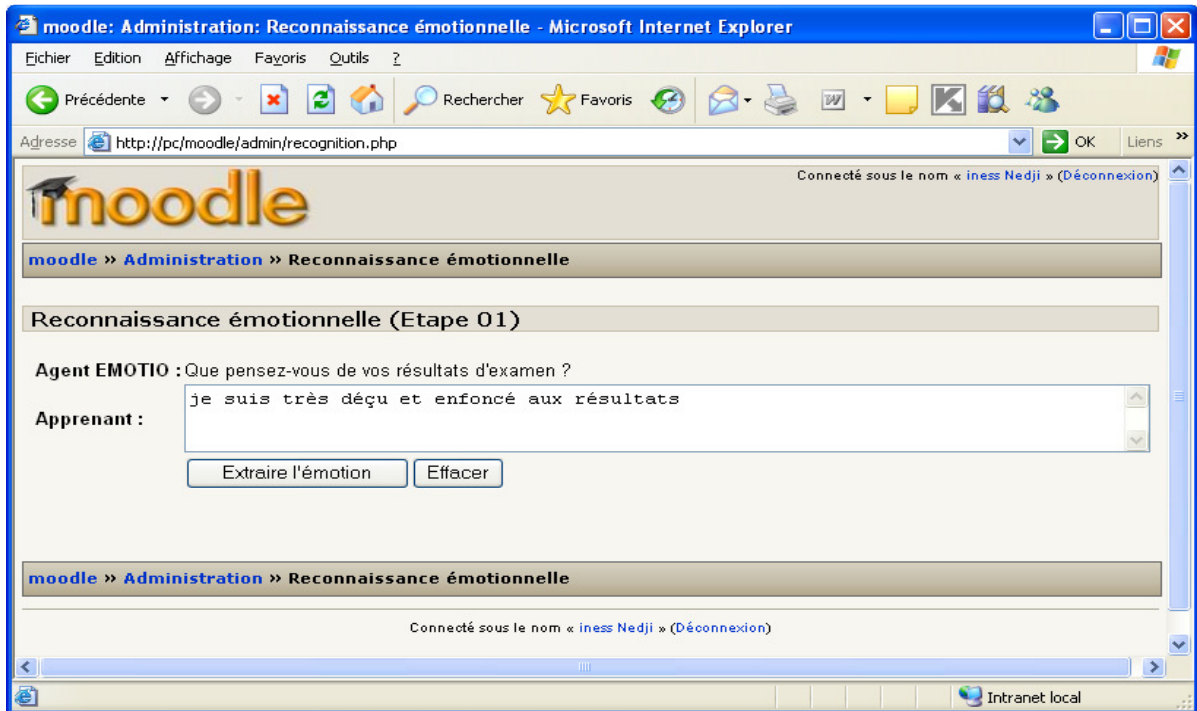


Figure 24 : Page indiquant la question de EMOTIO et la réponse de l'apprenant éditée en français

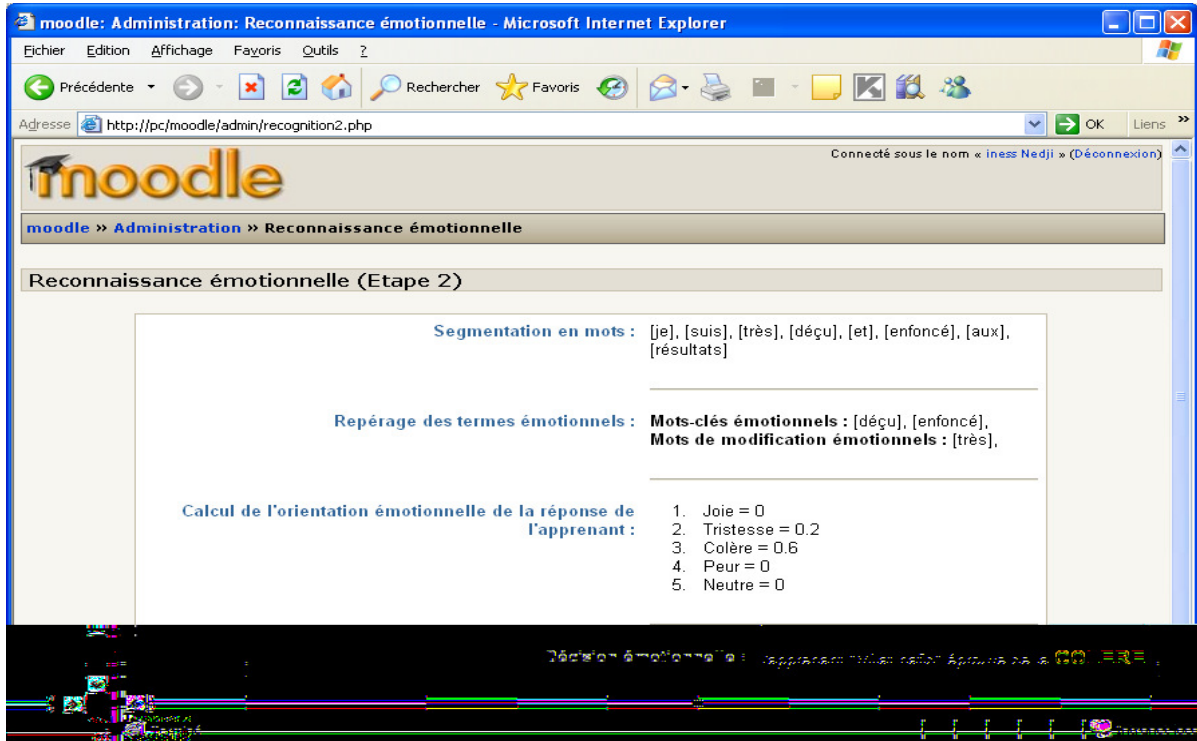


Figure 25 : Page indiquant l'orientation émotionnelle de la réponse de l'apprenant

Exemple 02 : Dans l'exemple où la langue sélectionnée est l'arabe, la réponse de l'apprenant et son orientation émotionnelle sont comme présentée dans les figures 26 et 27 suivantes :

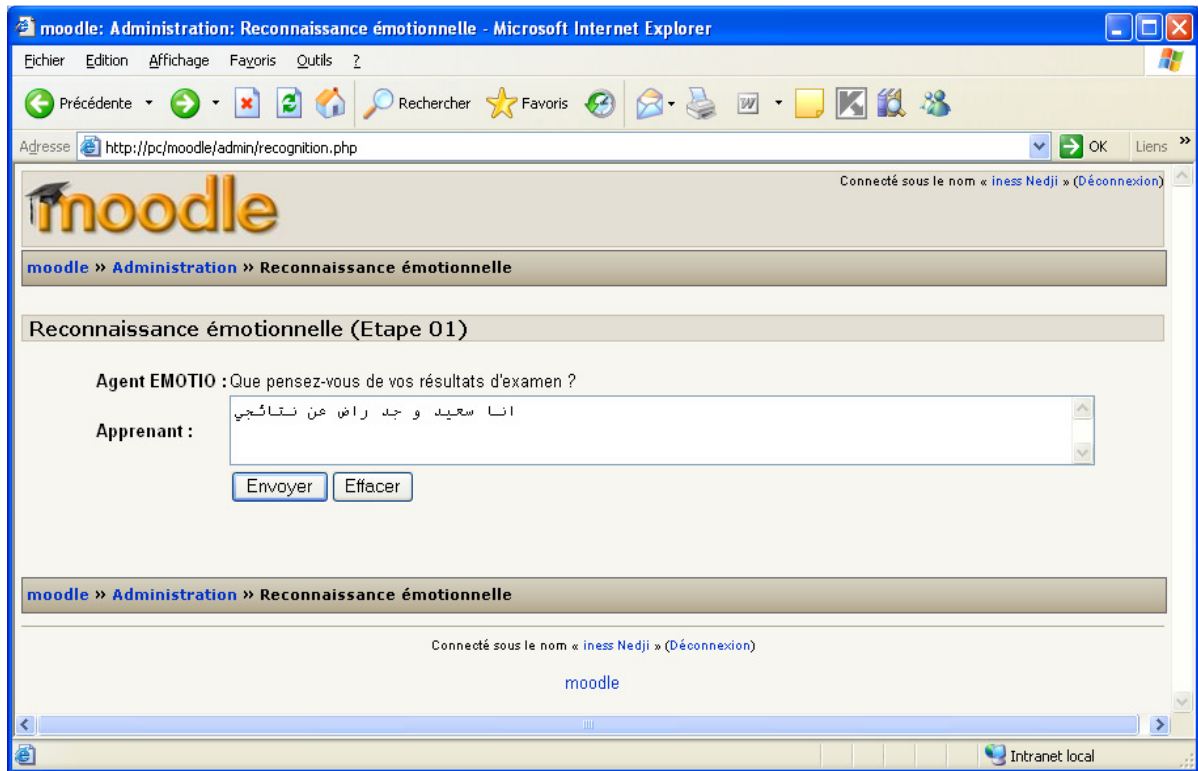


Figure 26 : Page indiquant la question de EMOTIO et la réponse de l'apprenant éditée en arabe

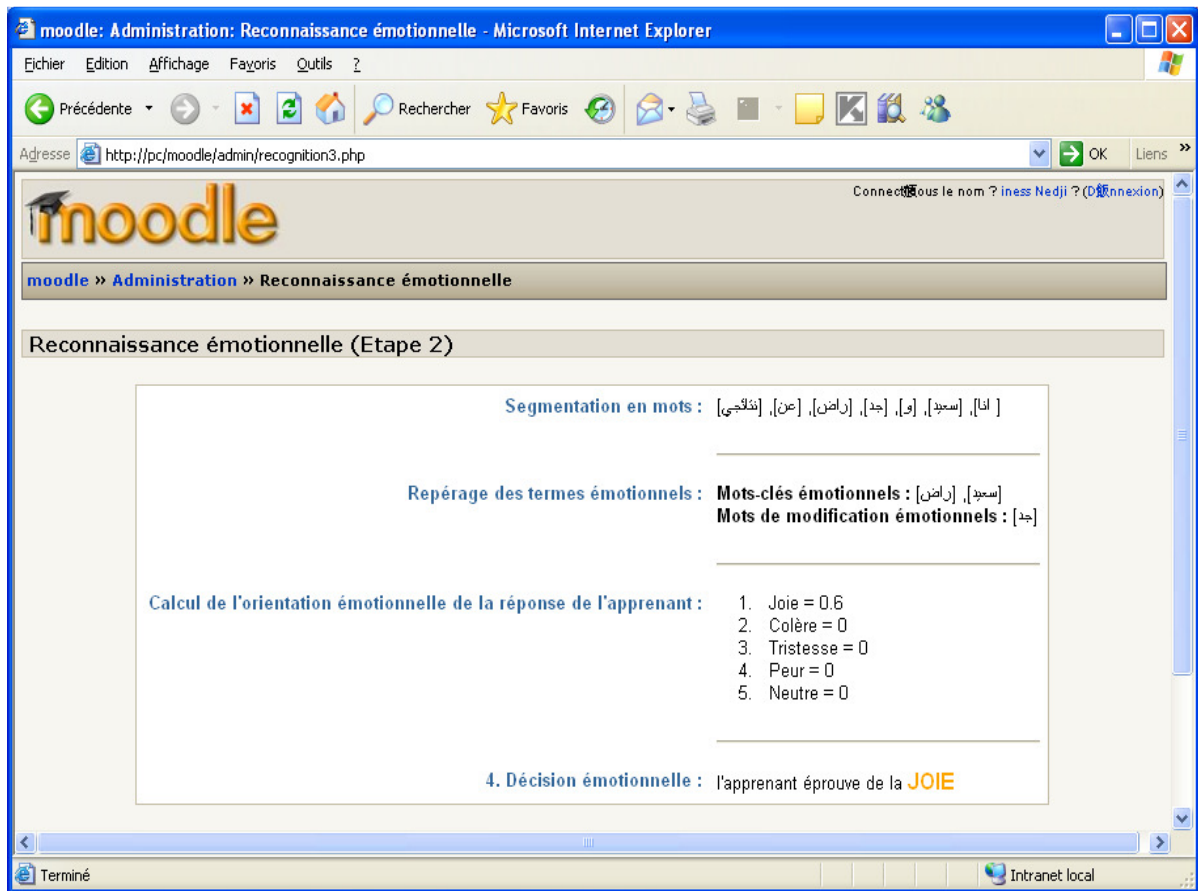


Figure 27 : Page indiquant l'orientation émotionnelle de la réponse de l'apprenant

CONCLUSION

Plusieurs travaux de recherche ont essayé d'apporter des réponses plus ou moins complètes quant à la détection et l'évaluation des états émotionnels des apprenants et de leurs influences sur le processus d'apprentissage à travers les expressions faciales, la parole et même à partir du texte en utilisant différentes approches. Toutes fois ces travaux ont buté à la mise au point des systèmes d'aide à l'apprentissage qui ne sont pas intégrés à des plates-formes de e-learning donc pas dessinés au grand public à cause de leurs coût de mise en oeuvre tant au matériels utilisés que le temps nécessaire pour la reconnaissance émotionnelle ce qui peut limité leurs rentabilités.

Les expérimentations de la méthode que nous proposons nous semblent prometteuses, avec implémentation dans la plate-forme de télé-enseignement moodle.

Comme perspective, nous aurons à terminer la réalisation de la partie relative à la reconnaissance automatique de la parole en utilisant les HMM. Nous projetons également, l'étude des émotions complexes, qui se présentent comme étant un mélange d'émotions élémentaires. Nous prévoyons pour l'analyse l'utilisation de l'approche connexioniste pour déterminer l'émotion élémentaire dominante. Nous prévoyons aussi à prendre en considération les métaphores dans notre analyse des phrases pour en extraire la dimension affective.

ANNEXES

ANNEXE 01 :

PRAAT : un outil pour l'analyse prosodique

PRAAT (<http://www.praat.org>) est un logiciel d'analyse de la parole qui a été développé à l'Institut des Sciences Phonétiques de l'Université d'Amsterdam par Paul Boersma et David Weenink et qui fonctionne sur plusieurs plates-formes. Ce programme offre la possibilité d'effectuer de multiples tâches :

- Enregistrer des fichiers audio qui peuvent être ensuite analysés sous PRAAT. Ces fichiers peuvent être codés selon une multitude de formats audio;
- Segmenter, transcrire et annoter des fichiers audio dont la taille peut aller jusqu'à 2 GB, c'est à dire 3 heures d'enregistrement stéréo de qualité CD ou 16 heures d'enregistrement mono à 22 kHz. Ces enregistrements peuvent avoir été effectués sous PRAAT ou peuvent provenir d'autres fichiers audio aux formats divers;
- Effectuer des analyses phonétiques et acoustiques au niveau segmental. Le logiciel permet de calculer des paramètres prosodiques comme l'intensité, la fréquence fondamentale, le voisement, etc., et ceci selon plusieurs algorithmes, de mener des analyses spectrographiques et de donner des mesures précises telles que la durée du VOT des plosives, les valeurs des différents formants d'une voyelle, etc. ;
- Le programme PRAAT fonctionne sur les systèmes suivants : Windows (et plus précisément Win 95, 98, NT4, ME, 2000 et XP), Macintosh (systèmes 7.1 à 9.2), Linux, Sparc SOLARIS, HP Unix et Silicon Graphics IRIX (et plus précisément Indigo, Indy, O2, Onyx et autres).
- L'enregistrement des données audio peut se faire sous plusieurs formats qui sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :
- Étudier les paramètres prosodiques (F0, durée et intensité) et modifier par stylisation des courbes de fréquence fondamentale et d'intensité ;
- Effectuer des manipulations et des modifications du signal de parole (utilisation de filtres ; analyse-synthèse, etc.) ;
- Construire des outils d'apprentissage (Réseau de neurones et élaboration de grammaires dans le cadre de la Théorie de l'Optimalité (OT : Optimality Theory) ;
- Écrire des scripts pour effectuer plus rapidement certaines tâches d'analyse, d'extraction d'information ou d'édition, etc.

Le logiciel PRAAT propose une interface utilisateur assez déroutante au premier abord, dans la mesure où elle est différente de celle fréquemment rencontrée. Ainsi, au lancement du programme PRAAT, deux fenêtres s'ouvrent à l'écran

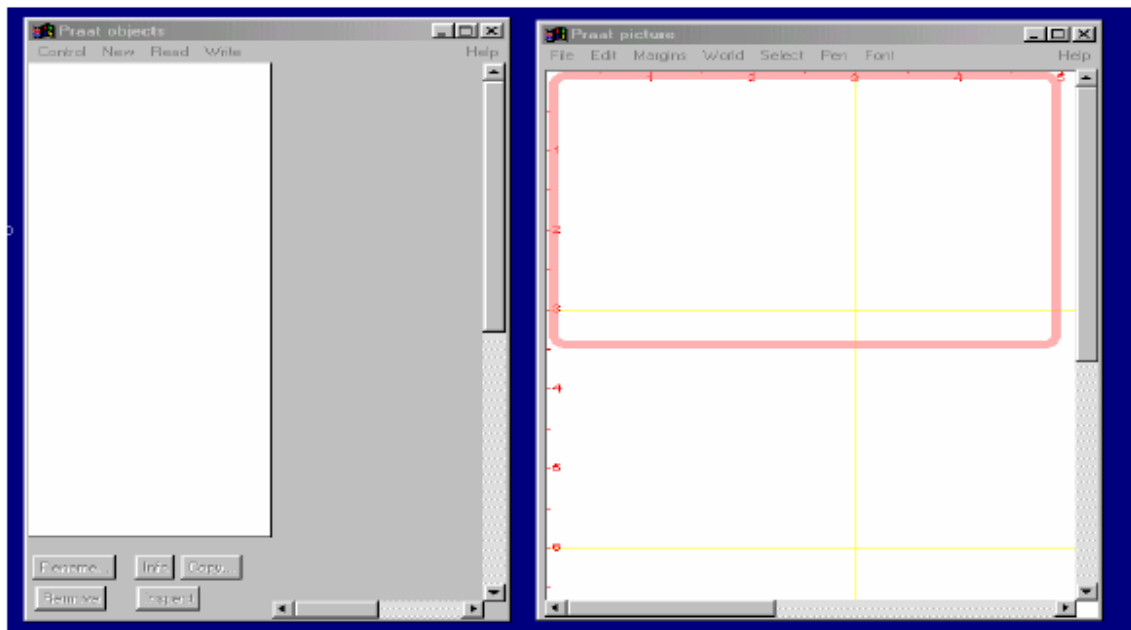


Figure 01. Écran à l'ouverture de PRAAT

La fenêtre de gauche est intitulée "**Praat objects**" et sert à "lister" les différents objets (fichiers sons, fichiers d'annotation, etc.) à partir desquels sont effectuées les analyses ou qui en sont le résultat. La fenêtre de droite, intitulée "**Praat picture**", est utilisée pour reproduire des figures (sonagramme, courbe de F0, etc.) qui pourront être exportées vers d'autres logiciels (traitement de texte, etc.).

Les menus déroulants [Control], [New], [Read], [Write] et [Help] sont accessibles à partir de la fenêtre "**Praat objects**". Une description des fonctions accessibles par ces menus est donnée ci-dessous :

- [Control] Édition de scripts, Lancement de scripts, Configuration (taille des buffers, etc.),
- [New] Création de fichiers divers (enregistrement audio, création de sons, fichiers d'annotation), création de grammaires OT, création de sons par synthèse articulatoire, etc.
- [Read] Ouverture de fichiers existants (annotation, fichiers audio, fichiers d'annotations effectuées sous XWaves, etc.)
- [Write] Sauvegarde des fichiers sous des formats particuliers (fichiers binaires, fichiers texte, etc.)
- [Help] Accès au manuel et à plusieurs tutoriels (introduction à Praat, introduction à l'édition de scripts, etc.), accès à des informations pratiques (FAQ, Éditeurs, etc.).

Il est important de comprendre que tout le fonctionnement de PRAAT est basé sur la notion d'objet : les fichiers audio, les fichiers de transcription et les manipulations du

signal sont des objets. Dès qu'ils sont ouverts ou créés par l'utilisateur, ils apparaissent dans une fenêtre listant les objets ("**Praat objects**") et peuvent être sélectionnés afin que des opérations soient effectuées. Ainsi, par exemple, pour établir une analyse acoustique d'un fichier son, l'utilisateur doit tout d'abord appeler ce fichier. Ensuite, il doit sélectionner cet objet "son" dans la fenêtre "**Praat objects**" et, une fois la sélection effectuée, il doit cliquer sur le bouton "Edit" afin d'ouvrir la fenêtre "**soundEditor**"

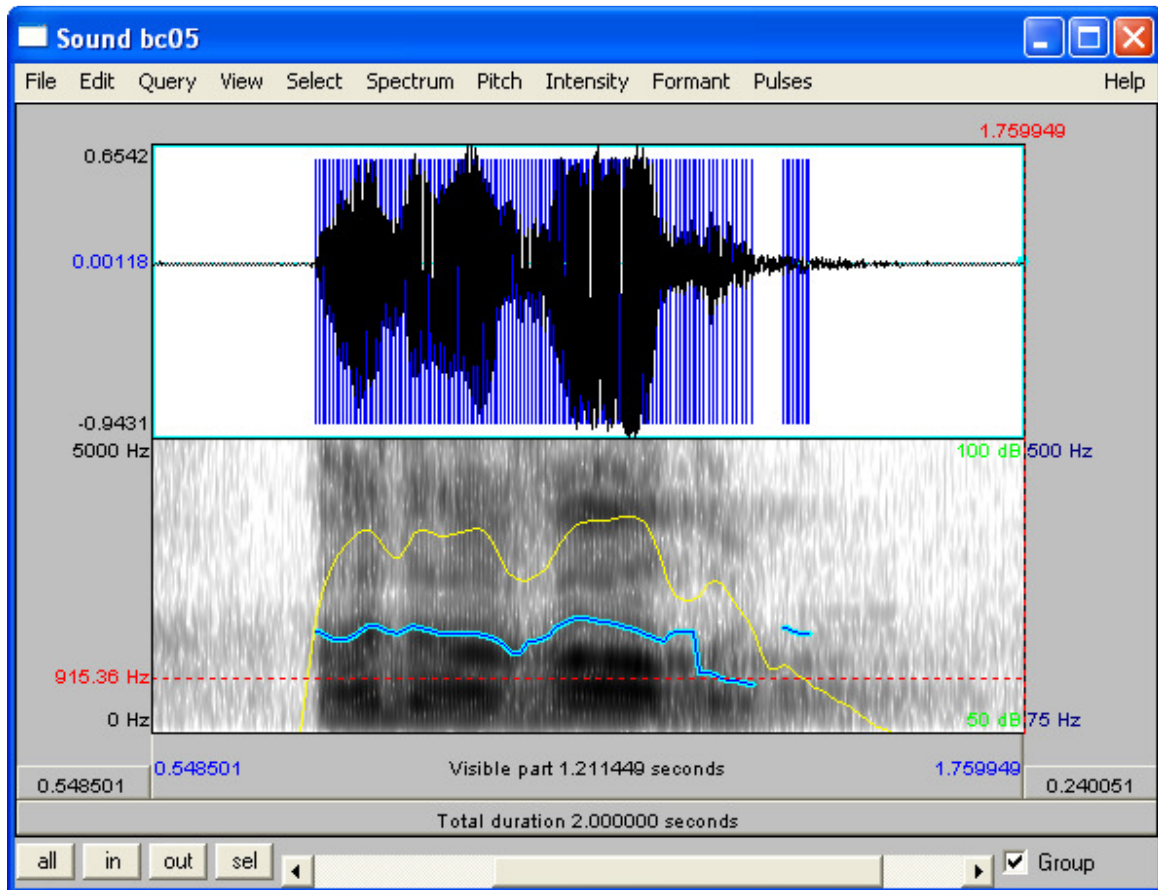


Figure 02. Fenêtre Sound Editor de PRAAT

Cette fenêtre permet de lire, éditer et visualiser le signal, afficher le spectre et les contours des différents paramètres prosodiques (pitch, intensité, formants,...etc.), paramétrer les méthodes d'estimation de ces paramètres (figure 03), générer les listes des différents valeurs dans paramètres acoustiques (figure 04) éditer de requêtes de sélection sur le signal, et générer un rapport résumant les paramètres caractéristiques du signal (figure 05)

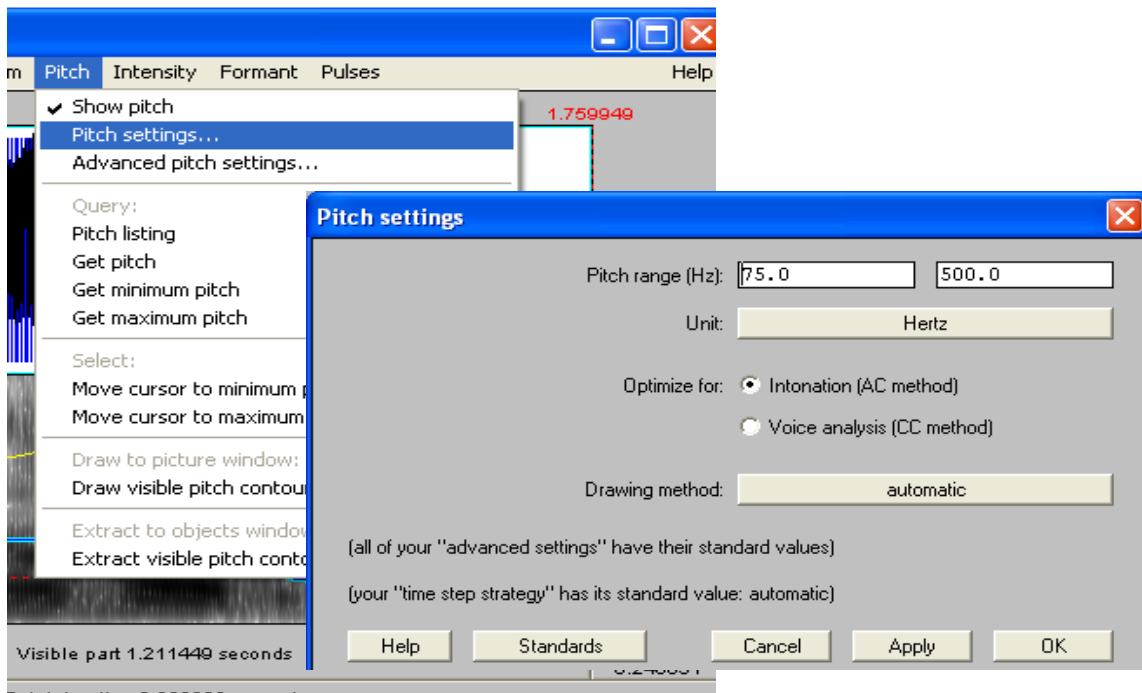


Figure 03. Configuration des paramètres d'estimation du pitch

Time_s	Intensity_dB
0.743552	41.975685
0.754219	46.271214
0.764885	59.727322
0.775552	69.023262
0.786219	74.521622
0.796885	77.955009
0.807552	80.320007
0.818219	81.909454
0.828885	83.310455
0.839552	84.221306
0.850219	84.238892
0.860885	83.067398
0.871552	81.000076
0.882219	79.750473
0.892885	79.740982
0.903552	81.738525
0.914219	83.928558
0.924885	84.454155
0.935552	83.863457
0.946219	83.228569
0.956885	83.185928
0.967552	83.542664
0.978219	83.967087
0.988885	84.458801

Figure 04. Liste des valeurs de l'intensité du signal

```

Praat: Info
File Edit Search Help
-- Voice report for Sound bc05 --
Date: Mon Apr 28 05:54:53 2008

WARNING: some of the following measurements may be
For more precision, go to "Pitch settings" and

Time range of SELECTION
  From 0.742645 to 1.281490 seconds (duration: 0.538845)
Pitch:
  Median pitch: 218.777 Hz
  Mean pitch: 219.058 Hz
  Standard deviation: 11.387 Hz
  Minimum pitch: 186.974 Hz
  Maximum pitch: 239.794 Hz
Pulses:
  Number of pulses: 109
  Number of periods: 107
  Mean period: 4.589081E-3 seconds
  Standard deviation of period: 0.314718E-3
Voicing:
  Fraction of locally unvoiced frames: 5.556
  Number of voice breaks: 0
  Degree of voice breaks: 0 (0 seconds / 0)
Jitter:
  Jitter (local): 2.302%
  Jitter (local, absolute): 105.658E-6 seconds
  Jitter (rap): 1.224%
  Jitter (ppq5): 1.128%
  Jitter (ddp): 3.673%
Shimmer:
  Shimmer (local): 9.480%

```

Figure 05. Rapport vocale

ANNEXE 02 :

Fondements mathématiques des SVM

Dans le fondement mathématique des SVM, on s'intéresse à un phénomène f qui, à partir d'un certain jeu d'entrée x , produit une sortie y tel que $y=f(x)$. Le but de l'apprentissage par SVM est de trouver cette fonction f à partir de la seule observation d'un certain nombre de couples entrée-sortie $\{(x_i, y_i) : i=1..n\}$ afin de prédire d'autres événements. Seul le cas $y = \{-1, 1\}$ (classification) nous intéresse ici.

Sachant qu'on observe un échantillon $S = \{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)\}$ de n copies indépendante de (X, Y) , on veut construire une fonction $f : X \rightarrow Y$ telle que $P(f(X) \neq Y)$ soit minimale.

Formellement, il s'agit de trouver une frontière de décision qui sépare l'espace en deux régions et qui classe correctement tous les points. Cette frontière doit être assez éloignée des points des différentes classes. Autrement dit, il s'agit de trouver l'hyperplan séparateur avec une marge maximale. La marge est définie comme étant la distance entre deux points de classes différentes les plus proches à l'hyperplan.

A2.1. Linéarité (SVM à marge maximale) :

Dans un modèle linéaire, on a $f(x) = w \cdot x + b$. L'hyperplan séparateur (frontière de décision) a donc pour équation : $w \cdot x + b = 0$. w correspond au vecteur normal à l'hyperplan. Cet hyperplan sépare deux classes qui sont définies comme suit :

$$\begin{cases} w \cdot x_i + b \geq +1 \text{ si } y_i = +1 \\ w \cdot x_i + b \leq -1 \text{ si } y_i = -1 \end{cases}$$

Ce qui s'écrit :

$$y_i(w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i \dots \dots \dots (1)$$

➤ Maximisation de la marge :

La distance $D(x)$ d'un point à l'hyperplan est donnée par l'équation suivante :

$$D(x) = \frac{|w \cdot x + b|}{\|w\|}$$

Soient x_1 et x_2 deux points de classes différentes : $f(x_1) = +1$ et $f(x_2) = -1$. On a :

$$D(x_1) = D(x_2) = \frac{1}{\|w\|}$$

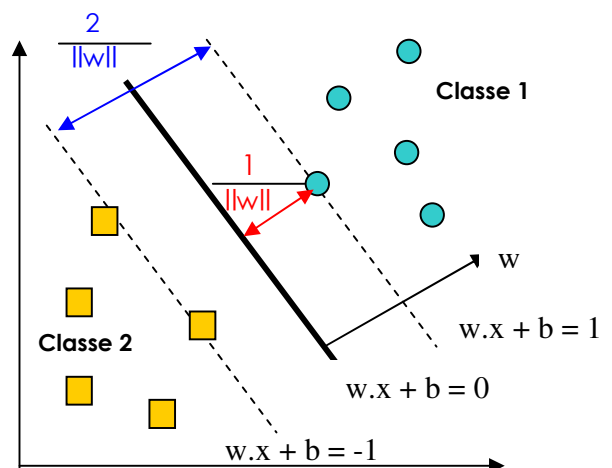


Figure 01. L'interprétation géométrique

La distance de l'hyperplan aux deux points les plus proches est donnée par l'équation suivante :

$$m = \frac{1}{\|w\|} + \frac{1}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|}$$

L'hyperplan optimal est celui pour lequel la distance aux points les plus proches (marge) est maximale. On peut donc déduire que maximiser la marge revient à minimiser $\|w\|$. Par la suite, on cherche à minimiser $(1/2)\|w\|^2$ pour simplifier les calculs. Il s'agit donc d'un problème de minimisation (optimisation) sous contraintes.

➤ **Problème d'optimisation :**

Afin de maximiser le pouvoir de généralisation, il faut déterminer w et b qui minimisent $(1/2)\|w\|^2$ sous la contrainte $y_i(w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \dots \forall i$

➤ **Transformation du problème d'optimisation :**

Un problème de minimisation avec contrainte peut être formulé en utilisant une méthode des multiplicateurs de Lagrange :

$$\begin{cases} L(w,b,a) = (1/2)\|w\|^2 - \sum a_i[(w \cdot x_i + b)y_i - 1] \\ \forall i \quad a_i \geq 0 \end{cases}$$

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0 \implies \frac{\partial L}{\partial w} = w - \sum a_i y_i x_i = 0 \implies \mathbf{w} = \sum \mathbf{a_i y_i x_i} \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = 0 \implies \sum \mathbf{a_i y_i} = \mathbf{0} \dots \dots \dots (3)$$

On substituant (2) dans $L(w,b,a)$ on obtient la forme duale du problème d'optimisation :

$$\begin{cases} L(a) = \sum a_i - \sum \sum a_i a_j y_i y_j x_i \cdot x_j \dots \dots \dots (4) \\ \sum a_i y_i = 0 \end{cases}$$

Maintenant, il s'agit de résoudre (4) et trouver les paramètres a_i . On passe de l'expression du lagrangien L en terme de w et b (forme primale) à son expression en terme de a_i (forme duale) sous contraintes $\sum a_i y_i = 0$.

Il s'agit d'un problème d'optimisation quadratique convexe avec des contraintes linéaires (3) qui limite l'espace de recherche des solutions. En effet, selon la condition de Karush-Kuhn-Tucker (KKT), deux valeurs de a_i sont possibles pour les vecteurs d'apprentissage :

- Soit ils sont à l'extérieur de la contrainte $y_i(w \cdot x_i + b) - 1 > 0$, donc $a_i = 0$,
- Soit ils se trouvent dans la frontière $y_i(w \cdot x_i + b) - 1 = 0$, donc $a_i > 0$

Cette condition KKT implique que seuls les vecteurs x_i à une distance '1' de l'hyperplan possédant un paramètre $a_i > 0$ sont pris en compte pour le calcul de w . ces vecteurs x_i sont appelés *vecteurs de support*. Les vecteurs qui ne sont pas support n'ont aucune influence dans la solution

➤ **Solution du problème d'optimisation :**

En déterminant a_i de l'équation (4), on peut déduire w et b en substituant a_i par sa valeur dans (2) et $L(w,b,a)$ respectivement, nous aurons donc :

$$\begin{cases} w = \sum a_i y_i x_i \\ b = y_s - \sum_{i=1..n_s} a_i y_i x_i \cdot x_s \end{cases}$$

Avec :

n_s : nombre de vecteurs de support

(x_s, y_s) : un point représentant un vecteur de support quelconque

La fonction de décision pour la classification de vecteur inconnu z est donnée par :

$$f(z) = \text{signe}(\sum a_i y_i (x_i \cdot z) + b) \quad i=1..n_s$$

Si $f(z) = +1$ alors z est classer des la classe1, classe2 sinon.

A2.2. Non linéarité :

➤ **SVM à marge douce :**

Le classificateur de marge maximale ne peut pas être utilisé dans la plupart des problèmes réels. Dans ce cas le problème d'optimisation ne peut pas être résolu. Pour surmonter ces inconvénients, de nouvelles mesures de la marge ont été proposées. Ces mesures tolèrent le bruit (erreurs) et prennent en compte les données d'apprentissage en plus de celles qui sont dans les frontières de la classe (vecteurs de support).

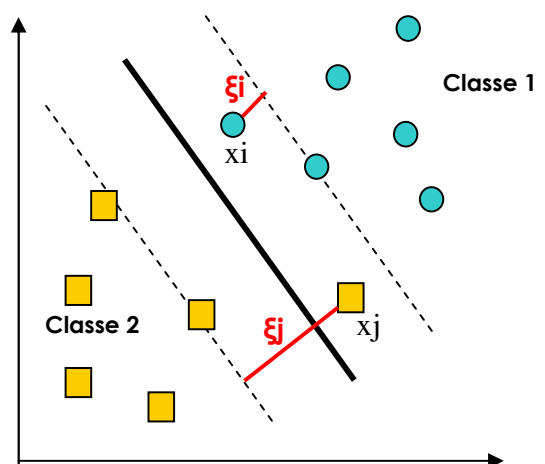


Figure 02. L'interprétation géométrique d'un classificateur à marge douce

Le problème d'optimisation initiale était :

- minimiser $(1/2) \|w\|^2$

avec la contrainte : $y_i (w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \quad \forall i$

Il s'agit dans ce nouveau cas, dit classificateur de marge douce, de relâcher et d'assouplir les contraintes de la marge en introduisant des variables d'écart (ressort) $\xi_i \geq 0$ dans la définition des contraintes :

$$\begin{cases} w \cdot x_i + b \geq +1 - \xi_i & \text{si } y_i = +1 \\ w \cdot x_i + b \leq -1 + \xi_i & \text{si } y_i = -1 \end{cases}$$

Ce qui s'écrit :

$$y_i (w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i \quad \forall i$$

Quand une erreur de classification intervient, la valeur de ξ_i a une valeur plus grande que 1, donc $\sum \xi_i$ est une borne supérieure du nombre d'erreurs à l'apprentissage. De là un moyen naturel pour pénaliser les erreurs est de remplacer la fonction précédente à minimiser par :

$$(1/2) \|w\|^2 + C \sum \xi_i$$

Avec C, paramètre de compromis entre l'erreur et la marge.

Le fait de choisir une valeur pour le paramètre C revient à définir une valeur pour $\|w\|$ en minimisant ξ_i pour cette valeur de w.

Le problème d'optimisation devient :

$$(1/2) \|w\|^2 + C \sum \xi_i$$

Avec la contrainte :

$$y_i (w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i \quad \forall i, \quad \xi_i \geq 0$$

La forme duale de problème d'optimisation est :

$$\begin{cases} L(\alpha) = \sum \alpha_i - (1/2) \sum \sum \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i \cdot x_j \\ 0 \leq \alpha_i \leq C \\ \sum \alpha_i y_i = 0 \end{cases}$$

La seule différence avec le cas linéairement séparable est qu'il existe une limite supérieure C aux α_i

➤ SVM non linéaire :

En général, la plupart des applications ont besoin de fonctions plus complexes que les fonctions linéaires pour faire de la classification. Une stratégie de prétraitement peut être utilisée pour simplifier la tâche [C 02]. Il s'agit de changer l'espace d'entrées original en un nouvel espace appelé espace de caractéristique, ce qui implique de trouver une fonction Φ , telle que :

$$\Phi : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^N$$

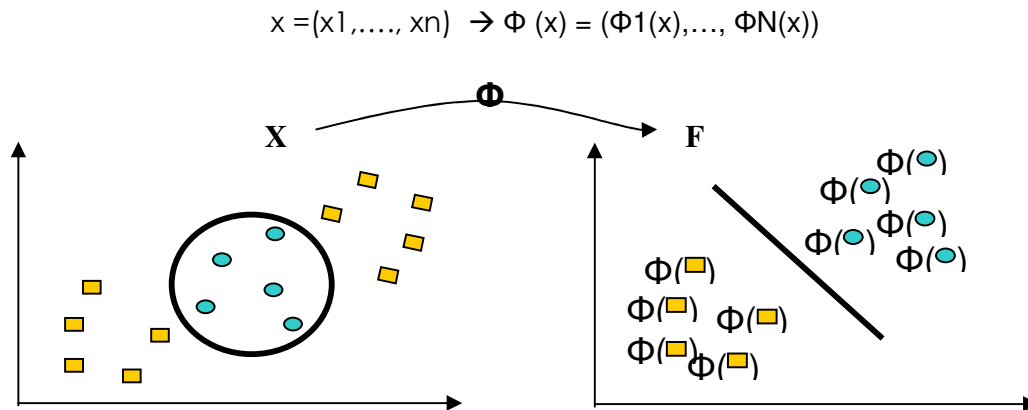


Figure 03. Un changement de représentation pour une classification linéaire

Avec cette logique deux étapes se dégagent pour construire un SVM non linéaire :

1. une transformation non linéaire pour placer les données dans l'espace de caractéristique,
2. utiliser un SVM linéaire pour classer les vecteurs.

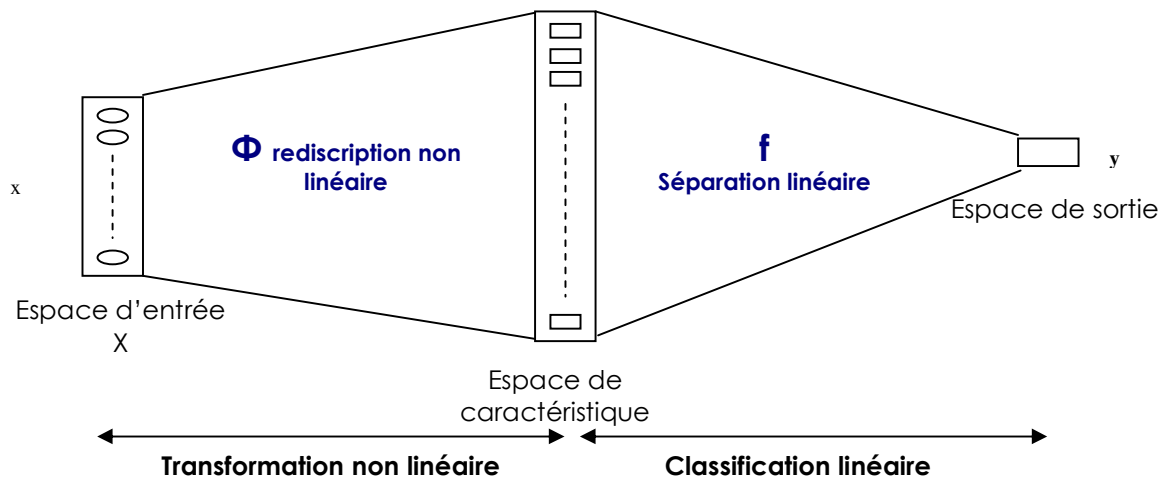


Figure 04 : les étapes de construction des SVM non linéaires

En substituant x par $\Phi(x)$, l'apprentissage devient :

$$\begin{cases} L(a) = \sum a_i - (\frac{1}{2}) \sum \sum a_i a_j y_i y_j \Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j) \\ 0 \leq a_i \leq C \\ \sum a_i y_i = 0 \end{cases}$$

Les a_i doivent être calculés dans l'espace de caractéristique. La normale de l'hyperplan séparateur dans le nouvel espace devient :

$$w = \sum a_i y_i \Phi(x_i) \text{ avec } i=1..n_s$$

Pour le test, les nouvelles données z sont classées dans la classe1 si $f = +1$, ou dans la classe2 sinon.

$$F = \text{signe}(w \cdot \Phi(z) + b) = \text{signe}(\sum a_i y_i \Phi(x_i) \cdot \Phi(z) + b)$$

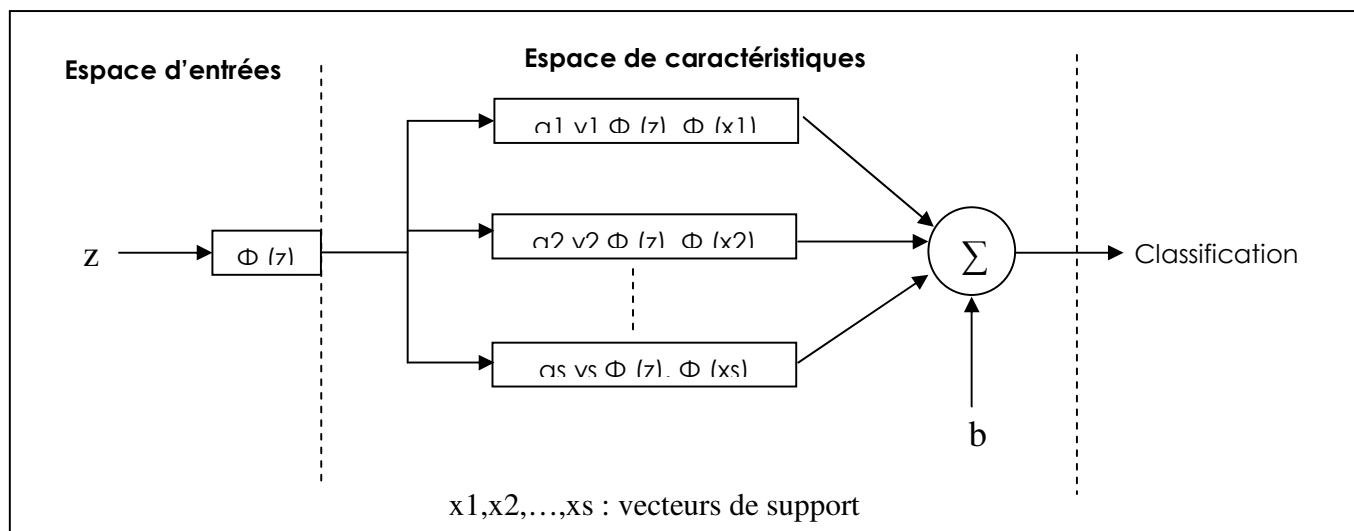


Figure 05 : Classification du vecteur z . le vecteur est transformé dans un espace de caractéristiques. Un hyperplan séparateur construit dans le nouvel espace détermine la sortie de la classification.

Néanmoins, avec cette transformation non linéaire (trouver $\Phi()$) surgissent des problèmes potentiels tels qu'un grand effort de calcul et une difficulté d'obtenir un bon estimé de $\Phi()$. Une solution pour résoudre ces problèmes est de faire appel aux SVM à fonction noyau K telle que :

$$K(a,b) = \Phi(a) \cdot \Phi(b)$$

La connaissance de K utilise $\Phi()$ indirectement sans avoir le connaître. Cependant K doit satisfaire certaines conditions appelées conditions de Mercer pour que $\Phi()$ correspondant existe.

Conditions de Mercer :

Si on prend une fonction K symétriques, il existe une fonction Φ tel que :

$$K(a,b) = \Phi(a) \cdot \Phi(b)$$

Si et seulement si, pour toute fonction g telle que :

$$\int g(a)^2 da \text{ est fini}$$

On a :

$$\int \int K(a,b) g(a) g(b) da db \geq 0$$

Fonctions noyaux :

Grâce à la fonction noyau, il est possible de transformer les vecteurs d'entrée de manière implicite vers l'espace de caractéristiques. Il existe plusieurs fonctions noyaux qui satisfont les conditions de Mercer, Parmi ces fonctions, nous citons :

- Polynômes : $K(a,b)=(a.b + 1)^n$
- Gaussiennes : $K(a,b)= \exp(-\|a.b\|^2 / 2\sigma^2)$
- Sigmoides : $K(a,b)= \tanh (\kappa(a.b) + \rho)$

Le nouveau problème d'optimisation devient :

$$\begin{cases} L(a) = \sum a_i - (\frac{1}{2})\sum\sum a_i a_j y_i y_j K(x_i,x_j) \\ 0 \leq a_i \leq C \\ \sum a_i y_i = 0 \end{cases}$$

En plus de paramètre C de pénalisation des erreurs, chaque noyau doit déterminer un certain nombre de paramètres pour ajuster sa forme à la distribution des données d'apprentissage. Le choix des paramètres adaptés est une étape cruciale, un ensemble très encadré peut ne pas parvenir à séparer les données initiales, et au contraire un ensemble trop libre peut aboutir à l'incapacité de généraliser. La méthode de validation croisée est utilisée pour trouver les valeurs les plus adaptées. La fonction de décision du SVM devient :

$$f=\text{signe}(w \cdot \Phi(z) + b) = \text{signe}(\sum a_i y_i \Phi(x_i) \cdot \Phi(z) + b)= \text{signe}(\sum a_i y_i K(x_i,z) + b)$$

ANNEXE 03 :

Code de l'implémentation du module REAT

Le code relatif au processus de l'extraction de l'orientation émotionnelle d'un texte écrit en PHP est comme présenté ci-dessous :

- **Etape de segmentation en mots :** dans cet étape EMOTIO va segmenté la réponse de l'apprenant en mots et cela en se basant sur la détection des blancs limitant les mots. Le programme de segmentation mis en place est comme suit :

```
$longueur = strlen ($reponse); // définir la longueur de la réponse de l'apprenant
If ($longueur != 0)
{
    $liste_mots = "";
    $mot = "";
    For ($i =0; $i <= $longueur; $i++)
    {
        $c= substr ($reponse,$i,1); //lire un caractère
        if ($c!=' ' and $c!=" ")
            $mot = $mot. $c;
        Else
        {
            $liste_mots = $liste_mots. "[" . $mot. "]";
            If ($i != $longueur)
                $liste_mots = $liste_mots. ", ";
        }
    }
}
$table->data [] = array ("<p> <font size =\"2\" color= \"#336699\"> <b> Segmentation
en mots : </b> </font> </p>","<p> $ liste_mots </p> <hr>");
```

- **Etape d'extraction des mots émotionnels :** dans cet étape EMOTIO va repérer les mots clés et les mots de modification émotionnelles se trouvant dans la réponse de l'apprenant en comparant tout les mots de la réponse avec les mots émotionnels se trouvant dans la base de données. Le programme d'extraction est comme suit :

```

$motclé="";
$motmodif="";
$mot="";
//connexion à la base de données émotionnelle
include "connect.php";
// Repérage des mots clés émotionnels
$req1=mysql_query("select * from `mot_clé` where `mot_clé`.`mot`='$mot',$connexion);
$at1=mysql_num_rows($req1);
if ($at1!=0)
{
    $motclé = $motclé ."[" . $mot ."]" ;
    if ( $!=$longueur) $motclé=$motclé . " , ";
    $co1=$co1+$at1;
    if ($co1!=0) $k=$co1-1; else $k=0;
    while ($k<$co1)
    {
        // Extraction des descripteurs émotionnels relatifs aux mots clés
        $en= mysql_fetch_object($req1);
        $etiquette[$k][0] = $k+1;
        $etiquette[$k][1]=$en->etiquette;
        $intensité[$k][0] = $k+1;
        $intensité[$k][1]= $en->intensité;
        $k++;
    }
    $co=$co1;
}
}

```

- **Etape de calcul de l'orientation émotionnelle de la réponse de l'apprenant :**
dans cet étape EMOTIO va calculer le vecteur émotionnel indiquant la relation entre la réponse de l'apprenant et les différents émotions de base en étude et cela selon le programme suivant :

```

// Repérage des mots de modification émotionnelles
$req2=mysql_query("select * from mot_modif where mot='$mot',$connexion);
$at2=mysql_num_rows($req2);
if($at2!=0)
{
    $motmodif=$motmodif ."[" . $mot ."]" ;
    if ( $!=$longueur)
        $motmodif=$motmodif . " , ";
    $co2=$co2+1;
    for($h=0;$h<$at2;$h++)
    {
        //Extraction des valeurs des mots de modification émotionnelles
        $en2= mysql_fetch_object($req2);
        if($en2->signe=='positif')
            $valeur[$h]=(integer)+".$en2->valeur;
        else
            $valeur[$h]=(integer)-".$en2->valeur;
    }
}
}

```

```

if ($motclé=="") $motclé="aucun";
if ($motmodif=="") $motmodif="aucun";
$table->data[] = array("<p> <font size =\"2\" color= \"#336699\"> <b> Repérage des
termes émotionnels : </b> </font> </p>", "<p> <b> Mots-clés émotionnels : </b> $motclé
<br> <b> Mots de modification émotionnels : </b> $motmodif </p> <hr>");
For ($e=1; $e<=5; $e++)
{
    For ($y=0; $y<$co; $y++)
    {
        If ($etiquette[$y][1]==$e)
            $s=1;
        Else
            $s=0;
        $b[$y]=$s*$intensité[$y][1];
        $a[$y]=$s;
    }
    $d=$f=0;
    For ($g=0;$g<$co1;$g++)
    {
        $d=$d+$b[$g];
        $f=$f+$a[$g];
    }
    If ($f!=0)
        $EPH[$e]=$d/$f;
    Else
        $EPH[$e]=0;
}
$table->data[] = array("<p> <font size =\"2\" color= \"#336699\"> <b> Calcul de
l'orientation émotionnelle de la réponse de l'apprenant :</b> </font> </p>", " <p> <ol>
<li> Joie = $EPH[1] </li> <br> <li> Tristesse = $EPH[2] </li> <br> <li> Colère = $EPH[3] </li>
<br> <li> Peur = $EPH[4] </li> <li> Neutre = $EPH[5] </li> </ol> </p> <hr>");

```

- **Etape de décision émotionnelle** : dans cet étape EMOTIO va décider de l'état émotionnel courant de l'apprenant et cela en choisissant l'émotion dont la valeur est la plus grande dans le vecteur émotionnel de la réponse.

```

$max=1;
$i=2;
While ($i<=5)
{
    if ($EPH[$max]< $EPH[$i]) $max=$i;
    $i++;
}
Switch ($max)
{
    Case 1 : $emotion="épreuve de la <font size =\3\ color=\orange\> <b>
JOIE</b> </font>";
    break;
    Case 2 : $emotion="épreuve de la <font size =\3\ color=\orange\> <b>
TRISTESSE </b> </font>";
    break;
    Case 3 : $emotion="épreuve de la <font size =\3\ color=\orange\> <b> COLERE
</b> </font>";
    break;
    Case 4 : $emotion="épreuve de la <font size =\3\ color=\orange\> <b> PEUR
</b> </font>";
    break;
    Case 5 : $emotion="n'épreuve aucune émotion, il est dans un état <font size
=\3\ color=\orange\> <b> NEUTRE </b> </font>";
    break;
}
$table->data[] = array(" <p> <font size =\2\ color= \#336699\> <b> Décision
émotionnelle : </b> </font> </p>","<p> l'apprenant \Milat hafid\ $emotion </p>");

```

TABLE DES FIGURES

Figure 01. Les étapes du montage d'un projet E-learning	16
Figure 02. Les différentes fonctions des plates-formes	18
Figure 03. La neuroimagerie des émotions	34
Figure 04. La relation entre personnalité et émotion	37
Figure 05. Les différents types d'informations véhiculées dans la parole	40
Figure 06. Signal acoustique de la parole	42
Figure 07. Hyperplan qui sépare les données appartenant à deux classes	52
Figure 08. Deux hyperplans séparateurs pour les mêmes exemples d'apprentissage	53
Figure 09. Les cas linéairement séparables	54
Figure 10. Les cas non linéairement séparables	54
Figure 11. Architecture globale du système EMOTORAT	59
Figure 12. Architecture et environnement de l'agent EMOTIO	62
Figure 13. Architecture du module de reconnaissance émotionnelle (RE) de l'agent EMOTIO	63
Figure 14. Architecture du module REAV	63
Figure 15. Le diagramme de l'extraction des paramètres acoustiques	65
Figure 16. Architecture du module REAT de EMOTIO	68
Figure 17. Le module SoundEditor du logiciel PRAAT	76
Figure 18. Les contours de F0 (bleu) et de l'énergie (jaune) relatifs, respectivement, aux émotions de joie, neutre, peur, tristesse et colère.	77
Figure 19. Les résultats du processus d'apprentissage de l'émotion de colère	80
Figure 20. Les résultats du processus de reconnaissance de l'émotion de colère	80
Figure 21. Page d'identification dans la plate-forme moodle	82
Figure 22. Page principale de l'administrateur de moodle	83
Figure 23. Page des participants inscrits dans un cours	84
Figure 24. Page indiquant la question de EMOTIO et la réponse de l'apprenant éditée en français	85
Figure 25. Page indiquant l'orientation émotionnelle de la réponse de l'apprenant	85
Figure 26. Page indiquant la question de EMOTIO et la réponse de l'apprenant éditée en arabe	86
Figure 27. Page indiquant l'orientation émotionnelle de la réponse de l'apprenant	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Les inconvénients des types d'enseignement classiques	10
Tableau 02 : Modèles de e-learning	12
Tableau 03 : <i>Domaines de développement de e-learning</i>	15
Tableau 04 : Un comparatif de quelques plates-formes	30
Tableau 05 : Les indices acoustiques des différentes émotions primaires	46
Tableau 06 . Performances selon la méthode de classification utilisée, selon le type de base de données, le nombre de locuteurs et le nombre de classes	51
Tableau 07 : Statistiques des paramètres pour chaque émotion	77
Tableau 08 : Résultats de la classification émotionnelle	79
Tableau 09 : Les taux de reconnaissance relatifs aux différentes émotions	81

BIBLIOGRAPHIE

- [A 97] J.P. ASTOLFI, *Représentation émotionnelle*, revue Résonances, n°8, avril 1997.
- [A 01] V. AUBERGE, *Prosodie et émotion*, Actes des Journées Prosodie 2001, Grenoble, 2001
- [AAR 03] N. AUDIBERT, V. AUBERGE, A. RILLIARD, *Synthèse vocale des émotions : Donner la parole émue à C-Clone*
- [ARA 00] V. AUBERGE, A. RILLIARD & N. AUDIBERT, *De E-Wiz à E-Clone : méthodologie expérimentale pour la modélisation des émotions et affects authentiques*
- [A&al 04] S. ABRILIAN, L. DEVILLERS, S. BUISINE, J.C. MARTIN, *EmoTV1: Annotation of Real-life Emotions for the Specification of Multimodal Affective Interfaces*
- [B 01] S. BELLIER, *Le e-Learning : pédagogie contenus modalités acteurs*, Collection Entreprise & Carrières, Editions Liaisons, Cegos, Rueil-Malmaison, 2001.
- [B97] E.BRULLARD, *Les machines à enseigner*, HERMES, 1997.
- [BB 02] E. BRANGIER, M.E BOBILLIER-CHAUMON. &al., *Analyse psycho-ergonomique de l'interaction entre l'homme et les NTIC : introduction à une psychologie de l'environnement digitale*, éditions INRS, Paris, vol 4, numéro 189, pp. 15-26, 2002.
- [BL96] C.BESLILE, M. LINARD, *Quelles nouvelles compétences des acteurs de la formation dans le contexte des TIC ?*, in Revue Education Permanente n°127, 1996.
- [BM01] C. BOTHOREL & E. MARQUOIS, *Agir sur la motivation des apprenants*, 2001
- [BP04] L. BISOGNIN, S. PESTY, *Agents, Langage et Emotions : un prototype d'agent émotionnel*, AGENTAL « Agents et Langue », Journée ATALA, Paris, 13 mars 2004
- [BR&al.05] H. BONNEAU-MAYNARD, S. ROSSET, C. AYACHE, A. KUHN, D. MOSTEFA and the MEDIA consortium, *Semantic annotation of the French Media dialog corpus*, INTERSPEECH, 2005
- [C90] P.CHEVALIER, *Multimédia et formation : des mots et des concepts*, Centre INFFO, ORAVEP, CNAM C2F, 1990.
- [C 00] S-J. CHUNG, *L'expression et la perception de l'émotion extraite de la parole spontanée : évidences du coréen et de l'anglais*, Thèse de doctorat, juillet 2000
- [C 02] A. CORNUEJOLS, *Une nouvelle méthode d'apprentissage : Les SVM. Séparateurs à vaste marge*, bulletin de l'AFIA, Numéro 51, juin 2002
- [CG 95] J.CRINON, C.GAUTELLIER, *Apprendre avec le multimédia*, Retz CEMEA, 1995.
- [CJ 02] H. CHORFI, M. JEMNI, *télé-enseignement, état de l'art et perspectives*, JTEA 2002, 21-22-23 mars 2002, Sousse Nord, Tunisie
- [CJ 94] C. CAFFI, R.W. JANNEY, *Involvement in Language*, Journal of pragmatic, 1994
- [CJ 94b] C. CAFFI, R.W. JANNEY, *Toward a pragmatics of emotive communication*. Journal of pragmatics 22, p. 325-373. 1994
- [CW 04] Z.J. CHUANG, C.H. Wu, *Multi-Modal Emotion Recognition from Speech and Text*, Computational Linguistics and Chinese Language Processing Vol. 9, No. 2 , August 2004
- [D 90] J.M. DIGMAN, *Personality Structure*, Revue de psychologie 41- p: 417-440, 1990

- [D 01] S. DE PATOUL, *L'audiovisuel et la participation de l'apprenant à distance: Contribution Expérimentale*, Journal of Distance Education/Revue de l'enseignement à distance, 2001
- [DGM 98] C. DEPOVER, M. GIARDINA et P. MARTON, *Les environnements d'apprentissage multimédia : analyse et conception*, Collection Education et Formation, éditions l'Harmattan, Paris, 1998.
- [DL 97] J. DÉSAUTELS, M. LAROCHELLE, *Exprimer ses représentations, dans Alternier pour apprendre - entre pédagogie de projet et pédagogie de l'écoformation*, Réseau Ecole et Nature, 1997.
- [DRML 02] L. DEVILLERS, S. ROSSET, H. MAYNARD, L. LAMEL, (2002), *Annotations for Dynamic Diagnosis of the Dialog State*, LREC , Las Palmas, 2002
- [DRW 99] S.D. DURBIN, J.N. RICHTER, D. WARNER, *A system for affective rating of texts*
- [DV 03] L. DEVILLERS, I. VASILESCU, *Prosodic cues for emotion characterization in real-life spoken dialogs*, Eurospeech,, Genève. 2003
- [DV 05] L. DEVILLERS, I. VASILESCU, *Détection des émotions à partir d'indices lexicaux, dialogiques et prosodiques dans le dialogue oral*, INTERSPEECH 2005
- [DVM 03] L. DEVILLERS, I. VASILESCU, C. MATHON, *Prosodic cues for perceptual emotion detection in task-oriented Human-Human corpus*, ICPHS, Barcelone 2003
- [DVL 03] L. DEVILLERS,, I. VASILESCU, L. LAMEL, *Emotion Detection in a task oriented Dialog Corpus*, IEEE, ICME, Baltimore, 2003.
- [F 97] J. FLESSAS, *L'impact du style cognitif sur les apprentissages*, Les difficultés d'apprentissage, Volume XXV N° 2, automne-hiver 1997.
- [F 98] I. FILLIOZAT, *L'intelligence du cœur: Rudiments de grammaire émotionnelle*, Edition Marabout, 341 pages, 1998
- [F 04] C. FRASSON, *Agents coopératifs émotionnels et apprentissage*, DIVA, Le bulletin d'information - Numéro 5 - 15 novembre 2004
- [FC 03] C.FRASSON & S. CHAFFAR, *Architecture pour des systèmes tuteurs émotionnellement intelligents*, 2003
- [FC 04] C.FRASSON & S. CHAFFAR, *l'utilisation d'un agent émotionnellement intelligent dans les systèmes de e-learning*, 2004
- [G 95] R. GREGOIRE, *Principes centrés sur l'apprenant ou l'apprenante. Des orientations pour redéfinition et une réforme de l'école*, Juillet 1995
- [G 00] P. GIL, *e-formation : NTIC et reengineering de la formation professionnelle*, éditions Dunod, Paris, 2000.
- [G 02] S. GAGNON, *E-learning : guide pratique de l'apprentissage virtuel en entreprise*, TechnoCompétence, avril 2002
- [G 04] P-D. GAUTHIER, *La dimension cachée de e-learning : de la motivation à l'abondan... ?*, 2004
- [G 04a] S. George, *Analyse automatique de conversations textuelles synchrones d'apprenants pour la détermination de comportements sociaux*, Revue Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation (STICEF), pp. 165-193, jan. 2004
- [GG 00] S. GOVAERTS, J. GREGOIRE, *Quelle place les émotions positives et négatives occupent-elles dans l'apprentissage scolaire et dans le profil motivationnel des élèves?*

- [GRC 03] V. GUIGUE, A. RAKOTOMAMONJY, S. CANU, *SVM et k-ppv pour la reconnaissance d'émotions*, 19^e colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images, Paris, septembre 2003
- [HL 02] C.W. HSUANDC, J. LIN, *comparison of methods for multiclass support vector machines*. IEEE Transactions on Neural Networks, 2002
- [HP 01] L.E. HOLZMAN, W. M. POTTENGER, *Classification of Emotions in Internet Chat: An Application of Machine Learning Using Speech Phonemes*
- [J 93] G.JACQUINOT, *Apprivoiser la distance et supprimer l'absence ?*, in Revue Française de Pédagogie n°102, 1993.
- [K 02] K. KURKI, *L'expression des émotions dans la communication écrite médiée par ordinateur*, mémoire DEA, 2002
- [KCHL 03] O. W. KWON, K. CHAN, Jiucang HAO, Te-Won LEE, *Emotion Recognition by Speech Signals*, EUROSPEECH 2003 - GENEVA
- [KMS 04] W. KASSEM, A. MOUNAJED, N. SAADOUN, *Etat de l'Art du E-Learning*, Projet du Management et NTIC, soutenu le 16/02/2004
- [KS 99] N. KUSTCHER et A. STPIERRE, *Les technologies pédagogiques et le Web: un guide pratique pour l'utilisation des NTIC dans un contexte d'apprentissage*, éditions Vermette, Ottawa, 1999.
- [L 96] M. LINARD, *Des hommes et des machines: Apprendre avec les nouvelles technologies*, L'Harmattan, 1996.
- [L 01] G. LEVASSEUR, *Veille Technico-Industrielle Sur Les Nouveaux environnements De Formation Et D'apprentissage*, Juin 2001
- [LNP 02] C. LEE, S. NARAYANAN, et R. PIERACCINI. *Classifying emotions in human machine spoken dialogs*. ICME, Lausanne, 2002.
- [L&al. 05] G. LOOSLI, S-G. LEE, V. GUIGUE, S. CANU, et A. RAKOTOMAMONJY, *Perception d'états affectifs et apprentissage*, L'OBJET Numéro 8, 2005
- [LEM 04] LEM de l'Université de Liège, *Styles d'enseignement, styles d'apprentissage et pédagogie différenciée en sciences*.
- [LLS 03] H. LIU, H. LIEBERMAN, T. SELKER, *A Model of Textual Affect Sensing using Real-World Knowledge*, Proceedings of the 2003 International Conference on Intelligent User Interfaces, IUI 2003, Miami, FL, USA, January 12-15, 2003
- [LR 03] T. LAMY & M. RICHER, *Table d'échanges d'expertises et d'expériences pédagogiques en formation à distance*, REFAD, ÉDITION 2002-2003
- [LRH 05] J. LISCOMBE, G. RICCARDI, D. HAKKANI-TUR, *Using Context to Improve Emotion Detection in Spoken Dialog Systems*, INTERSPEECH 2005
- [M 82] M. MINSKY, *Why People Think Computers Can't*, 1982
- [MCC 02] V. MAFFIOLO, D. CARDON, N. CHATEAU, *Analyse de l'expression multimodales d'émotion dans l'interaction homme-machine*
- [MRC 03] A. MBALA, C REFFAY, T CHANIER, *SIGFAD : un système multi-agents pour soutenir les utilisateurs en formation à distance*, Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Strasbourg 2003
- [NH 04] R. NKAMBOU, V. HERITIER, *Reconnaissance émotionnelle par l'analyse des expressions faciales dans un tuteur intelligents affectif*, 2004
- [O 06] K. O'REGAN, *Emotion and e-learning*. Journal of Asynchronous Learning Networks (JALN), volume 7-Issue 3, p. 78-92, 2003
- [OCF 87] A. ORTONY, G.L. CLORE, M. A. FOSS, *The referential structure of the affective lexicon*. Cognitive science 11, 341-364, 1987

- [P 94] H.PREVOST, *L'individualisation de la formation. Autonomie et/ou socialisation*. Lyon, Chronique sociale, 1994.
- [P 97] R. PICARD, *Affective Computing*, MIT Press, 1997. <http://affect.media.mit.edu/>
- [P 97a] J. PITRAT, *Reconnaître les émotions des êtres humains*, actes du colloque Intelligence Artificielle, Berder 1997
- [P 97b] C. PLANTIN, *L'argumentation dans l'émotion*, *Pratiques* 97, 81-100, 1997
- [P 99] C. PLANTIN, *Structures verbales de l'émotion parlée et de la parole émue*, CNRS
- [P 00] V. A. PETRUSHIN, *Emotion recognition in speech signal: experimental study, development, and application*, Sixth International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP), 2000
- [PDT 98] C. PLANTIN, M. DOURY, V. TRAVERSO, *Les émotions dans les interactions*. 1998
- [PFD 01] C.PARMENTIER, A. FOUAD, J. DELORS, *Tout savoir pour e-former*, Editions Organisation, PWC Golbal Learning, 2001.
- [PIR 00] M. POTHIER, A. IOTZ, C RODRIGUES , *Les outils multimédia d'aide à l'apprentissage des langues : de l'évaluation à la réflexion prospective*, ALSIC. Vol. 3, Numéro 1, pp 137 – 15, juin 2000
- [S 98] M. SCHRÖDER, *L'expression vocale de l'amusement : premières expériences audiovisuelles*, Mémoire de maîtrise en Sciences du Langage mention Industries de la Langue, Juin 1998
- [S 05] D. K. SCHNEIDER, *Choix, techniques et normes pour la FOAD*, TECFA, mai 2005
- [S 05a] D.SALINI, *La validation des apprentissages acquis dans des contextes non formels et informels*, Genève, décembre 2005
- [S 06] M. SELLAMI & al., *Étude et comparatif des plateformes de formation en ligne*, Projet POLLES, 2006
- [SC 04] M. SCHRÖDER & R. COWIE, *Towards emotion-sensitive multimodal interfaces*, HUMAINE, Réseau d'excellence. <http://emotion-research.net/aboutHUMAINE/>
- [SJS 98] K. R. SCHERER, T. JOHNSTONE, J. SANGSUE, *L'état émotionnel du locuteur: facteur négligé mais non négligeable pour la technologie de la parole*, Actes des Journées d'Études sur la Parole, pages 249–257, Matigny, 1998.
- [SM 90] P. SALOVEY, J. MAYER, *Emotional Intelligence. Imagination, cognition and personality*. Vol (9).3, 1990.
- [SRL 04] B. SCHULLER, G. RIGOLL, et M. LANG. *Speech emotion recognition combining acoustic features and linguistic information in a hybrid support vector machine-belief network architecture*. ICASSP, Montreal, 2004.
- [S&al. 04] M. SCHRÖDER & al., *Emotions for user friendly multimodal interfaces*, HUMAINE, Réseau d'excellence. <http://emotion-research.net/aboutHUMAINE/>
- [T&al. 00] V. TRAVERSO, C. PLANTIN, M. DOURY, *Les émotions dans les interactions*, PUL-ARCI Lyon, 2000.
- [Q 02] R. QUERREC, *Les Systèmes Multi-Agents pour les Environnements Virtuels de Formation*. Thèse, octobre 2002
- [Q 06] C-N. QUINN, *Making It Matter to the Learner : e-Motional e-Learning*. The elearning guild Ed., E-magazine : The elearning Guild's : Learning Solutions, 2006

WEBOGRAPHIE

- [1] <http://www.e-com-soft.com>
- [2] <http://www.thot.edu>
- [3] <http://inca.univ-mrs.fr>
- [4] <http://www.webetude.com>
- [5] <http://www.elearningagency.com>
- [6] <http://thot.cursus.edu>
- [7] <http://www.onlineformapro.com/espaces/formateur/>
- [8] <http://www.onlineformapro.com/espaces/formateur/eforma/eformation.asp>
- [9] <http://www.fse.ulaval.ca/mediatic/>
- [10] http://www.refad.ca/nouveau/guide_design/
- [11] <http://www.ymca-cepiere.org/guide/default.htm>
- [12] <http://www.geoeco.ulg.ac.be/lmg/competences/chantier/motivation>
- [13] http://www.ecole-et-nature.org/~ressourc/ouvrages/alterner_pour_apprendre/index.htm
- [14] <http://aptic.ulaval.ca/guidew3educatif/guide.php>
- [15] <http://www.acelf.ca/c/revue/revuehtml/25-2/r252-03.html>
- [16] <http://fr.wikipedia.org/wiki/E-learning>
- [17] <http://management.journaldunet.com/dossiers/0604130e-learning/guide.shtml>
- [18] <http://www.selfway.fr>
- [19] <http://www.cip-tramelon.ch>
- [20] <http://fr.wikipédia.org/wiki/process-communication>
- [21] <http://www.processcom.com>
- [22] <http://www.tact.fse.ulaval.ca/fr/html/principe.html>
- [23] <http://www.uqtr.quebec.ca/~perrault/RECHER/HYPER/LPREECE.HTM>
- [24] http://www.initiatives.refer.org/_notes/sess105.htm
- [25] http://www.alpha.cdeacf.ca/les_documents/HTML/benevoles/obstacles.htm
- [26] <http://tecfa.unige.ch/guides/tie/pdf/files/tie-talk05.pdf>
- [27] <http://www.edutools.com>
- [28] <http://www.psychodharma.org/IMG/pdf/emotions-2005.pdf>
- [29] http://www.biometrie-online.net/techno/voix/T-voi_index.htm
- [30] <http://www.Moodle.com/>
- [31] <http://www.sakaiproject.org/>
- [32] <http://www.Claroline.net/>
- [33] <http://www.wikipédia.fr>
- [34] <http://www.praat.org>
- [35] <http://hik.eng.cam.ac.uk/>