

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8 mai 1945 de Guelma



Faculté Des Mathématiques, Informatique Et Sciences de la Matière
Département d'informatique

THÈSE DE DOCTORAT Troisième Cycle LMD

Option : Informatique

Présentée par

ZEDADRA Amina

THÈME

*Interprétation des traces dans les environnements
d'apprentissage collaboratif*

Soutenue publiquement le : 14/06/2015 devant le jury composé de :

Pr. Hamid SERIDI	Prof	U. 8 Mai 1945, Guelma	Président
Dr. Yacine LAFIFI	MCA	U. 8 Mai 1945, Guelma	Directeur de thèse
Pr. Hassina SERIDI	Prof	U. Badji mokhtar, Annaba	Examineur
Pr. Farid MOKHATI	Prof	U. Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi	Examineur

Année 2015

A mes Parents
A mon directeur du laboratoire Pr. SERIDI Hamid
A mon encadreur Dr. LAFIFI Yacine
A ma sœur Nawel
A ma sœur Hadjla
A mon Fiancé
A mes Frères
A mes Sœurs
A mes Collègues
A ma Famille
A mes Amies.

Remerciements

Je remercie en premier lieu mon grand DIEU qui m'a donné à la fois le courage, la volonté, et la patience afin d'élaborer cette thèse de recherche scientifique.

- *Je tiens à remercier, mon directeur de thèse Monsieur Yacine LAFIFI, Maître de conférences à l'université de Guelma pour l'encadrement de mon travail et pour son encouragement, ainsi que son soutien tout au long de la thèse. Je le remercie pour tout son aide. Son enthousiasme et sa patience ont beaucoup facilité et agrémenté mon travail. Il a été toujours disponible pour répondre aux questions que je lui posais. Ses remarques m'ont permis de faire progresser ce travail.*
- *Je tiens également à remercier les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir évaluer mon travail, et plus précisément :*
 - *Monsieur Hamid SERIDI, Professeur à l'Université de Guelma, pour l'honneur qu'il m'a fait, en acceptant la présidence de ce jury, son aide, ses inestimables conseils et ses orientations précises.*
 - *Madame Hassina SERIDI, Professeur à l'Université Badji Mokhtar Annaba pour avoir accepté de juger le présent document.*
 - *Monsieur Farid MOKHATI, Professeur à l'Université Larbi Ben M'Hidi Oum-El Bouaghi pour avoir accepté de juger le présent document.*
- *Je tiens à remercier mes parents pour leurs encouragements et soutiens pendant toute la période de la thèse en leurs souhaitant une belle vie.*
- *Je tiens à remercier ma sœur Ouarda ZEDADRA, pour ses agréables conseils et ses encouragements, en lui espérant une bonne continuation et une bonne chance.*
- *Je tiens à remercier Khaled HALIMI, Abderahmen et Amira pour ses agréables aides.*
- *Enfin, je tiens à remercier mes amies et mes collègues, en leurs espérant une bonne continuation et une bonne chance.*

ملخص

أجريت في السنوات الأخيرة عدة دراسات حول استخدام الآثار في بيئات التعليم الجماعي عن بعد لتشجيع التعاون والتفاعل بين المتعلمين. وقد تم تحديد بعض الأدوات واللغات لوصف و استعمال هذه الآثار، و هذه الأخيرة تتعلق أساسا بجميع الأنشطة التي يقوم بها المتعلمين في بيئة التعليم. تخضع هذه الآثار لعملية تحليل لاستخراج معلومات حول سلوك أو مسار المتعلمين. إن المعلومات المتحصل عليها والمتعلقة بسلوك هؤلاء المتعلمين تمنح بيانات لتحليل نشاطاتهم البيداغوجية. أما المعلومات المتعلقة بالمسار المنتهج تبين طبيعة منهجيتهم خلال تأديتهم لمختلف نشاطاتهم. لكن، العديد من المشاكل ظهرت بعد استخدام الآثار أهمها عددها الكبير جدا، أنواعها وأصنافها المختلفة وعدم وجود تفسيرات لها.

إذا كانت مراحل جمع واستعمال الآثار أكثر دراسة، فإن مرحلة تفسير هذه الآثار أقل دراسة. وفي هذا السياق يدخل هذا البحث، وهو تفسير هذه الآثار في بيئات التعليم الجماعي عن بعد.

في هذا العمل، قد اقترحت أولا طريقة جديدة باستعمال الآثار للكشف عن أخطاء المتعلمين أثناء نشاطاتهم لخفض كميتها في عملية التفسير من جهة و الاحتفاظ بتلك المهمة فقط من جهة أخرى. لتنفيذ هذه العملية، استخدمت آليات جهاز المناعة الاصطناعية لتصميم خوارزمية للكشف عن المسارات الخاطئة للمتعلمين خلال نشاطاتهم التعليمية. ثانيا، لقد استخدمت هذه الآثار المهمة لتفسير سلوك المتعلمين. هذا التفسير يساعد في فهم سلوكهم وتحليل النتائج المتحصل عليها (كما و نوعا) مما يخفف من أشغال الأساتذة و يسهل عملهم. و قد تم اجراء عملية التفسير باستعمال وكلاء المحادثة المتحركة.

لقد تم اختبار جميع هذه الأفكار مع طلاب الجامعة حيث سجلت نتائج جيدة. في الواقع، العديد من الأنظمة تم تنفيذها واختبارها في ظروف حقيقية. وتعتبر النتائج المتحصل عليها مشجعة و جد واعدة.

الكلمات الدلالية:

بيئات التعليم الجماعي، آثار التعليم، كشف المسارات الخاطئة، أنظمة المناعة الاصطناعية، تفسير الآثار، وكلاء المحادثة المتحركة.

RÉSUMÉ

Dans ces dernières années, plusieurs travaux ont été réalisés sur l'utilisation des traces dans les Environnements d'Apprentissage Collaboratif Assisté par Ordinateur (ACAO) afin de valoriser la collaboration et l'interaction entre les apprenants. Quelques outils et langages ont été définis pour la description et l'exploitation de ces traces. Ces dernières concernent toutes les activités réalisées par les acteurs humains. Les traces sont analysées pour faire ressortir des informations sur le comportement ou sur le parcours des apprenants. Les informations sur le comportement fournissent des données d'entrée en vue d'une analyse objective de l'activité des apprenants. Tandis que les informations sur les parcours montrent leurs stratégies au cours des activités pédagogiques. Mais, plusieurs problèmes sont apparus après l'utilisation de ces traces : leur nombre volumineux, leurs différentes natures et classes et le manque de leur aspect sémantique.

Si les processus de collecte et d'exploitation des traces ont été mieux étudiés, la phase d'interprétation de ces traces est peu étudiée. C'est dans ce contexte qu'entre ce travail de recherche qui consiste à interpréter les traces dans les environnements d'ACAO.

Dans ce travail, premièrement une nouvelle méthode a été proposée pour la détection des mauvais parcours des apprenants pendant leurs processus d'apprentissage afin de minimiser la quantité des traces à interpréter et ne garder que celles pertinentes. Afin d'effectuer cette tâche, des mécanismes des systèmes immunitaires artificiels ont été utilisés. En effet, un algorithme a été proposé pour détecter les traces pertinentes et par conséquent les bons et les mauvais parcours des apprenants. Deuxièmement, les traces pertinentes ont été utilisées pour l'interprétation des comportements des apprenants. Cette interprétation assiste les acteurs humains pour la compréhension du comportement des apprenants et l'analyse des résultats obtenus (quantitativement et qualitativement), ce qui facilite leurs tâches. Cette tâche d'interprétation a été déléguée aux agents conversationnels animés.

Toutes les idées proposées ont été testées par des étudiants universitaires où des bons résultats ont été enregistrés. En effet, plusieurs sous-systèmes ont été implémentés et testés dans des situations réelles. Les résultats obtenus sont jugés très encourageants et très promoteurs.

Mots clés : ACAO, Traces d'apprentissage, Détection des mauvais parcours, Systèmes immunitaires artificiels, Interprétation des traces, Agents conversationnels animés.

ABSTRACT

In recent years, several researches have been done on the traces' use in Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) in order to enhance the collaboration and interaction between the learners. Some tools and languages have been defined for the description and exploitation of these traces. The latter concern all the activities performed by the human actors in a learning environment. The traces are analyzed to highlight information about the behavior or the scenarios of learners. The information on the behavior provides data for objective analysis of the learners' activities, while the information about the learners' scenarios shows their strategies during their activities. However, several problems emerged after using traces: their voluminous number, their different types and classes and the lack of their semantic aspect.

If the steps of traces' collection and exploitation have been more studied, the phase of interpretation of these traces is little studied. So, this research work is located within this context which consists at interpreting traces in CSCL environments.

In this work, firstly a new approach was proposed for detecting the wrong scenarios made by learners during their learning process in order to minimize their quantity at the interpretation phase and to keep only the relevant ones. To perform this task, mechanisms of artificial immune systems were used. Indeed, an algorithm was proposed to detect the relevant traces and therefore the good and wrong scenarios. Secondly, the traces were used for the interpretation of learners' behavior. This interpretation assists the human actors to understand the behavior of learners and analyze the obtained results (quantitatively and qualitatively) which facilitate their tasks. Animated conversational agents were used for ensuring the interpretation task.

All proposed ideas have been tested by university students where good results were recorded. Indeed, several sub-systems have been implemented and tested in real situations. The results are considered very encouraging and very promoters.

Keywords: CSCL, Learning traces, Detection of wrong scenarios, Artificial Immune Systems, Interpreting traces, Animated conversational agents.

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	iii
ملخص.....	iv
Résumé.....	v
Abstract.....	vi
TABLE DES MATIERES.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiv
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Contexte de notre travail de recherche.....	1
Problématique de la recherche.....	2
Objectifs de la recherche.....	3
Organisation de la thèse.....	4
PARTIE 1 : ETAT DE L'ART.....	6
CHAPITRE 1 : APPRENTISSAGE COLLABORATIF ASSISTE PAR ORDINATEUR...	7
1. Introduction.....	7
2. Enseignement à distance.....	8
2.1.Définitions	8
2.2.Acteurs d'un environnement d'apprentissage à distance.....	9
3. Définition des systèmes d'apprentissage collaboratif.....	9
4. Dimensions de l'apprentissage collaboratif.....	10
4.1.Nature de la tâche.....	10
4.2.Endroit des apprenants.....	10
4.3.Organisation des apprenants.....	11
5. La tâche collaborative ou coopérative ?.....	11
6. Les outils de collaboration.....	12
6.1.Classification 01.....	12
6.2.Classification 02.....	12
6.3.Classification 03.....	13
7. Formation des groupes.....	13
7.1.Formation manuelle des groupes	13
7.2.Formation des groupes automatique.....	13
7.3.Synthèse sur la formation des groupes dans les environnements d'apprentissage collaboratif	13
8. Avantages de l'apprentissage collaboratif.....	18
9. Limites de l'apprentissage collaboratif.....	18

10. Quelques environnements d'apprentissage humain.....	18
11. Conclusion.....	20
CHAPITRE 2 : TRACES DANS LES ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE	
HUMAIN.....	21
1. Introduction.....	21
2. Définition des traces.....	22
3. Types de traces.....	24
4. Sources de traces.....	25
A) Observation des activités du scénario pédagogique.....	25
B) Observation de l'activité du serveur.....	25
C) Observation de l'activité du poste client.....	25
D) Observation de l'activité non médiatisée par ordinateur.....	26
5. Traitement des traces.....	26
6. Modélisation des indicateurs à partir des traces.....	27
6.1.Définition des indicateurs.....	27
6.2.Modélisation des indicateurs.....	27
6.3.Les travaux reliés au calcul des indicateurs.....	28
7. Exploitation des traces.....	33
8. Visualisation des traces pour comprendre les situations d'apprentissage.....	38
9. Récapitulatif des travaux de recherche à base de traces.....	41
10. Interprétation des traces.....	45
10.1. Définition de l'interprétation.....	45
10.2. Travaux liés à l'interprétation des traces.....	45
11. Conclusion.....	46
CHAPITRE 3 : LES SYSTEMES IMMUNITAIRES ARTIFICIELS.....	48
1. Introduction.....	48
2. Les systèmes immunitaires biologiques (SIB).....	48
2.1. Définition des SIB.....	48
2.2. Types de l'immunité.....	49
2.3. Organes des SIB.....	50
2.4. Soi et non soi.....	50
2.5. Caractéristiques des systèmes immunitaires.....	50
3. Les systèmes immunitaires artificiels (SIA).....	51
3.1.Définition des SIA.....	51
3.2.Passage du naturel vers l'artificiel.....	52
3.3.Algorithmes immunitaires de base.....	52

3.3.1. Algorithme de la sélection négative.....	53
3.3.2. Algorithme de la sélection clonale.....	55
3.3.3. Algorithme des réseaux immunitaires.....	57
4. Représentation et calcul d'affinité.....	58
5. Domaines d'application des AIS.....	59
5.1.Reconnaissance des actions.....	59
5.2.Web Mining.....	59
5.3.Extraction des mots clés.....	60
5.4.Problème du voyageur de commerce.....	60
5.5.Autres applications.....	61
5.6.Synthèse des travaux.....	61
6. Conclusion.....	62
PARTIE 2 : CONCEPTION, MISE EN ŒUVRE ET RESULTATS EXPERIMENTAUX.	64
CHAPITRE 4 : CONCEPTION D'UN SYSTEME POUR L'INTERPRETATION DES TRACES.....	65
1. Introduction.....	65
2. Problématique de recherche.....	66
3. Contributions majeures de notre recherche.....	67
4. Description générale de l'approche proposée.....	68
4.1.Collecte des traces.....	70
4.2.Transformation des traces.....	71
4.2.1. Reformulation.....	71
4.2.2. Fusion.....	72
4.2.3. Nettoyage.....	73
4.3.Exploitation des traces.....	73
5. Détection et amélioration des mauvais parcours en utilisant les techniques des systèmes immunitaires artificiels	74
5.1.Modulateur.....	75
5.2.Algorithme de détection des mauvais parcours.....	76
5.3.Démodulateur.....	79
5.4.Déroulement de l'algorithme de détection des mauvais parcours.....	80
6. Interprétation des traces.....	82
6.1.Pourquoi utiliser les agents conversationnels animés pour interpréter les traces?.....	84
6.2.Comportement général de l'agent conversationnel animé (ACA).....	85

6.3.Comportement de l'agent développé.....	86
6.4.Indicateurs proposés.....	87
7. Regroupement des apprenants.....	89
7.1.Pourquoi utiliser le comportement des colonies des pingouins ?.....	90
7.2.Algorithme du regroupement des apprenants basé sur le comportement des pingouins.....	92
8. Conclusion.....	95
CHAPITRE 5 : MISE EN ŒUVRE ET EXPERIMENTATIONS	97
1. Introduction.....	97
2. Choix du contexte de travail : la plateforme LETline.....	98
3. Mise en œuvre des approches proposées.....	99
3.1.Détection et amélioration des mauvais parcours en utilisant les techniques des systèmes immunitaires artificiels.....	99
3.2.Interprétation des traces.....	101
3.3.Regroupement des apprenants.....	102
4. Schéma général du déroulement des expérimentations.....	103
5. Expérimentation 1 : de LETline à LETline 2.0.....	104
5.1.Objectif.....	104
5.2.Contexte.....	104
5.3.Observations et résultats obtenus.....	105
5.4.Besoins des acteurs d'apprentissage.....	106
6. Expérimentation 2 : Test du système de détection des mauvais parcours.....	107
6.1.Objectif.....	107
6.2.Contexte.....	108
6.3.Observations et résultats obtenus.....	108
6.4.Les effets de l'algorithme proposé sur la détection des mauvais scénarios.....	110
7. Expérimentation 3 : Interprétation des traces.....	112
7.1.Objectif.....	112
7.2.Contexte.....	112
7.3.Observations et résultats obtenus.....	113
7.3.1. Impact de l'interprétation sur l'activité des apprenants.....	113
7.3.2. Impact de l'interprétation sur l'activité des tuteurs.....	114
7.3.3. Appréciation des apprenants aux outils de collaboration.....	116
7.3.4. Observations des tuteurs et des étudiants.....	118
8. Conclusion.....	118

CONCLUSION GENERALE ET PERSEPECTIVES.....	119
BILAN DES TRAVAUX ET APPORTS DE LA THESE.....	119
PERSEPECTIVES.....	120
BIBLIOGRAPHIE.....	122
ANNEXES.....	137
ANNEXE 1.....	137
ANNEXE 2.....	138

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Comparaison entre une tâche coopérative et une tâche collaborative.....	12
Figure 2.1. Représentation graphique de la distribution des travaux selon l'acteur produisant la trace.....	43
Figure 2.2. Représentation graphique de la distribution des travaux selon quatre critères (acteur destinataire, temps de manipulation, visualisation et interprétation).....	44
Figure 3.1. Types de systèmes immunitaires.....	49
Figure 3.2. Étapes de construction d'une solution d'un problème.....	53
Figure 3.3. Structure générale de l'algorithme de la sélection négative.....	54
Figure 3.4. Structure générale de l'algorithme de la sélection clonale.....	56
Figure 3.5. Structure générale de l'algorithme des réseaux immunitaires.....	57
Figure 4.1. Problématique de ce travail de recherche.....	67
Figure 4.2. Organisation générale des étapes de la solution proposée.....	68
Figure 4.3. Architecture de l'approche proposée.....	69
Figure 4.4. Les différentes classes des traces.....	70
Figure 4.5. Format de la trace.....	71
Figure 4.6. Exemple du format de la trace.....	72
Figure 4.7. Processus de fusion des traces.....	73
Figure 4.8. Processus de détection des mauvais parcours.....	75
Figure 4.9. Modulateur des traces collectées.....	76
Figure 4.10. Structure générale de l'algorithme de détection.....	79
Figure 4.11. Génération des détecteurs.....	81
Figure 4.12. Cas d'une nouvelle trace pertinente rencontrée.....	81
Figure 4.13. Cas d'une nouvelle trace non pertinente rencontrée.....	82
Figure 4.14. Machine d'états finis générale de l'agent conversationnel.....	85
Figure 4.15. Machine d'états finis de l'agent développé.....	86
Figure 4.16. Description de l'approche du regroupement dynamique proposée.....	90
Figure 4.17. Regroupement dynamique des apprenants.....	95
Figure 5.1. L'interface principale du système LETline.....	99
Figure 5.2. Message de recommandation envoyé à un apprenant (B. L).....	100
Figure 5.3. Message de recommandation envoyé à un apprenant (B. S).....	100
Figure 5.4. Interprétation des traces d'apprentissage.....	101
Figure 5.5. Interprétation des traces de collaboration.....	102

Figure 5.6. Regroupement circulaire.....	103
Figure 5.7. Schéma général du déroulement des expérimentations.....	104
Figure 5.8. Les réponses des étudiants sur la question 1 (Expérimentation 1).....	105
Figure 5.9. Les réponses des étudiants sur la question 2 (Expérimentation 1).....	106
Figure 5.10. Interface de l'espace d'apprenant du système LETline 2.0.....	107
Figure 5.11. Interface de l'espace d'enseignant du système LETline 2.0.....	107
Figure 5.12. Variation des scénarios des étudiants.....	110
Figure 5.13. Variation des scénarios des étudiants après l'application de l'algorithme proposé.....	111
Figure 5.14. Les réponses des étudiants sur la question 1 (Expérimentation 3).....	114
Figure 5.15. Les réponses des étudiants sur la question 2 (Expérimentation 3).....	114
Figure 5.16. Les réponses des tuteurs sur la question 1 (Expérimentation 3).....	115
Figure 5.17. Les réponses des tuteurs sur la question 2 (Expérimentation 3).....	116
Figure 5.18. Les réponses des étudiants sur la question 3 (Expérimentation 3).....	117
Figure 5.19. Les réponses des étudiants sur les questions [4, 5, 6 et 7] (Expérimentation 3).....	117

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Récapitulatif des travaux traitant le problème de la formation des groupes.....	17
Tableau 2.1. Types de traces.....	24
Tableau 2.2. Synthèse des travaux du calcul des indicateurs à partir des traces.....	32
Tableau 2.3. Synthèse des travaux d'analyse et de régulation des situations d'apprentissage.....	37
Tableau 2.4. Synthèse des travaux de la visualisation des traces.....	40
Tableau 2.5. Récapitulatif des travaux à base de traces.....	42
Tableau 2.6. Pourcentage des travaux pour chaque critère.....	43
Tableau 3.1. Quelques travaux liés à l'utilisation des systèmes immunitaires artificiels	62
Tableau 4.1. Analogie entre les principes des systèmes immunitaires naturels et le système développé.....	74
Tableau 4.2. Quelques valeurs de la machine d'états finis de l'agent développé.....	89
Tableau 4.3. Analogie entre le système réel et le système développé.....	92
Tableau 5.1. Profils cognitifs et comportementaux d'un groupe d'apprenants.....	103
Tableau 5.2. Résultats du test t-student.....	109

Introduction générale

Contexte de notre travail de recherche

Nos travaux de recherche se situent dans le domaine multidisciplinaire des environnements d'Apprentissage Collaboratif Assisté par Ordinateur (ACAO), qui se vocalise sur l'apprentissage à distance d'une façon collaborative. Ce domaine de recherche étudie les moyens et les stratégies qui permettent de gérer les interactions entre les apprenants d'une part, et d'améliorer leurs niveaux cognitifs et comportementaux d'une autre part. Il cherche des réponses aux questions relatives au fonctionnement des groupes d'apprentissage, à la gestion des activités collaboratives, à la résolution des conflits et la coordination entre les membres du même groupe et enfin comment évaluer un produit collaboratif.

L'ACAO est l'un des axes de recherche menés par l'équipe TWSI (Technologies Web et Systèmes intelligents) du laboratoire LabSTIC (Laboratoire des Sciences et des Technologies de l'Information et de la Communication) et dans lequel s'insèrent nos travaux de recherche. En effet, notre objectif est d'étudier les problématiques liées aux environnements d'apprentissage collaboratif et de gérer les traces produites dedans par les différents acteurs d'apprentissage.

Dans ce contexte de travail, les apprenants effectuent plusieurs activités lors de leurs processus d'apprentissage. Ces activités peuvent être sauvegardées comme étant des traces d'apprentissage. De plus, plusieurs travaux ont été effectués sur l'utilisation des traces dans les environnements d'apprentissage humain. Ces traces ont été utilisées dans des différents contextes et pour des différents objectifs. Elles ont été exploitées pour concevoir des systèmes d'analyse et d'assistance aux situations d'apprentissage qui visent à améliorer la tâche de suivi des acteurs, des systèmes de réingénierie des dispositifs d'apprentissage et des systèmes d'adaptation ou de personnalisation des environnements d'apprentissage.

Problématique de la recherche

Malgré les avantages qu'offre l'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans l'apprentissage à distance, les environnements d'apprentissage en ligne souffrent de quelques anomalies. En effet, dans quelques environnements les apprenants passent plus de temps à comprendre les fonctionnalités offertes. Quelquefois, ces apprenants se sentent isolés et bloqués pour des raisons pédagogiques ou techniques. En plus, ils veulent avoir de l'assistance et du soutien tout au long du processus d'apprentissage. Afin d'améliorer ces environnements et tenir compte des besoins des apprenants, ces environnements ont proposé aux apprenants l'assistance de leurs collègues ou bien celle des personnes expérimentées appelées « tuteurs ». Le tuteur est « un enseignant qui suit, assiste et conseille particulièrement un élève ou un groupe d'élèves » (Lekira, 2012a).

Dans le contexte des environnements d'ACAO, les tuteurs ne se trouvent pas face à face avec leurs apprenants pour déterminer, à partir de leurs expressions faciales et leurs interactions, s'ils ont apprécié leurs interventions d'assistance et de suivi ou non. Aussi, les tuteurs ne sont pas toujours disponibles aux moments du besoin de leurs apprenants/groupes d'apprenants. C'est pourquoi, il est nécessaire de rassembler toutes les traces des apprenants, afin que les tuteurs aient un bilan sur toute action faite par leurs apprenants. Comme résultat, ces traces qui concernent toutes les activités faites par les apprenants sont très volumineuses et très hétérogènes. Dans ce cas, une opération de filtrage de cette grande quantité de traces est nécessaire afin de garder que celles pertinentes.

Mais, qu'est ce qu'il fait un tuteur devant une grande quantité de traces et quelle conclusion va-t-il tirer sur l'un de ses apprenants? Afin d'assister ce tuteur dans sa tâche, une opération d'interprétation de ces traces est souhaitable. Elle permet de donner un sens à cette quantité de traces et aider le tuteur dans le processus de prise de décision (i.e. assistance)

D'autre part, les apprenants dans un environnement d'apprentissage collaboratif doivent travailler dans des groupes pour atteindre un objectif commun. Après notre étude, nous avons observé que la majorité des méthodes de regroupement des apprenants utilisent leurs différentes caractéristiques (les profils des apprenants, les styles d'apprentissage, etc.) en oubliant que ces derniers changent de temps en temps. Ces changements résultent un problème de regroupement statique où le système ne mis pas à jour les groupes automatiquement. Donc, il est souhaitable de regrouper dynamiquement les apprenants.

Dans le cadre de ce travail, plusieurs questions de recherche ont été posées :

- Comment filtrer le grand nombre des traces collectées ?
- Comment rendre ces traces compréhensibles ?
- Et comment résoudre le problème de regroupement statique ?

La problématique posée repose sur la façon d'exploitation des traces d'apprenants afin de proposer une nouvelle approche pour répondre aux questions posées ci-dessus.

Objectifs de la recherche

Cette thèse porte sur la conception d'un système à base de traces pour l'interprétation des traces d'apprentissage. Afin de minimiser le grand nombre des traces à interpréter, une nouvelle approche est proposée pour filtrer ces traces. Cette approche est basée sur l'utilisation des mécanismes et des principes des systèmes immunitaires artificiels.

La principale contribution est la proposition d'une nouvelle approche pour l'interprétation des traces en utilisant les agents conversationnels animés. Afin d'interpréter ces traces, nous proposons une nouvelle approche pour le filtrage des traces pertinentes de celles non pertinentes par la détection des mauvais parcours faits par les apprenants. Ces derniers sont regroupés en groupes qui sont construits dynamiquement. En effet, nous proposons une nouvelle méthode de regroupement dynamique des apprenants dans les environnements d'ACAO à base de traces.

Pour atteindre ces résultats, nous avons fixé plusieurs objectifs :

1. Définir tous les types de traces qui peuvent être produites d'un environnement d'apprentissage collaboratif et d'extraire un ensemble des indicateurs en les classant dans des différentes catégories afin de pouvoir les exploiter.
2. Proposer une nouvelle approche pour la détection des mauvais parcours effectués par tous les apprenants lors de leurs sessions d'apprentissage et les recommandant par des messages électroniques contenant de bons scénarios en utilisant les techniques des Systèmes Immunitaires Artificiels (SIA).
3. Concevoir et tester un sous-système à base de traces pour l'interprétation des traces décrivant le comportement des apprenants. Cette interprétation est faite après une

visualisation des traces sous format de représentations graphiques et textuelles. En utilisant les agents conversationnels, nous proposons d'interpréter verbalement les traces des apprenants.

4. Développer un sous-système de regroupement dynamique des apprenants.
5. Sur la base des objectifs fixés précédemment, notre dernier objectif vise à évaluer l'impact de l'utilisation des systèmes conçus dans les environnements d'apprentissage collaboratif. À cet égard, nous avons mené une série d'expérimentations avec des étudiants universitaires.

Organisation de la thèse

Afin d'aboutir aux objectifs fixés, la suite de ce manuscrit est organisée de la façon suivante :

- Le premier chapitre donne le cadre théorique autour des environnements d'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur (ACAO) à savoir ses différentes définitions, sa structure et ses dimensions. Puis, nous présentons la différence entre une tâche collaborative et une autre coopérative. Par la suite, nous décrivons une étude sur la formation des groupes. Et enfin, nous achevons ce chapitre par les avantages/limites de l'apprentissage collaboratif ainsi que l'énumération de quelques plateformes existantes.
- Le deuxième chapitre présente les principes des traces d'apprentissage. Il est organisé en trois parties. La première partie présente les notions de base des traces d'apprentissage (définition, type, sources et étapes de traitement). Ce chapitre donne dans sa deuxième partie les travaux liés à la modélisation des indicateurs et l'exploitation des traces. La dernière partie décrit notre synthèse des travaux connexes.
- Le chapitre trois est réservé à la présentation des concepts de base des « Systèmes immunitaires artificiels ». Il illustre, en premier lieu, les concepts de base des systèmes immunitaires biologiques (SIB). Ensuite, il présente les concepts de base des systèmes SIA (systèmes immunitaires artificiels).
- Le quatrième chapitre aborde la conception de nos propositions. Tout d'abord, nous présentons notre problématique. Puis, nous décrivons la solution générale et la description détaillée de l'approche proposée. Par la suite, nous présentons chaque proposition indépendamment.

- Le dernier chapitre (cf. chapitre cinq) décrit les différentes expérimentations que nous avons menées dans le cadre de ce travail de recherche. Un nombre important des acteurs d'apprentissage ont été impliqués dans ces expérimentations qui se sont déroulées dans l'université de Guelma sur deux années universitaires (2012/2013 et 2013/2014) au département d'informatique.
- Nous achevons ce manuscrit par un bilan et l'apport de cette thèse. Puis, nous exposons les perspectives ouvertes sur ce travail de recherche.

PARTIE 1 :

ETAT DE L'ART

Chapitre 1 :

Apprentissage collaboratif assisté par ordinateur

1. Introduction

Avec le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC), les environnements d'apprentissage en ligne ne cessent de croître chaque jour. En raison de cette croissance, l'apprentissage à distance a conduit à l'émergence de nouveaux problèmes et difficultés pour les utilisateurs. Parmi ces problèmes, on peut citer l'isolation et la démotivation des apprenants (Zedadra et Lafifi, 2013). Afin de résoudre ce problème, un nouveau paradigme est apparu « l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur ». Ce dernier favorise la collaboration entre les apprenants afin de réussir leurs processus d'apprentissage. Mais, les apprenants se trouvent face à un grand problème lors de leurs interactions avec les autres membres (ayant des différents comportements) dans les activités collaboratives (Gweon et al., 2011). Les tuteurs sont des acteurs qui fournissent un suivi et une assistance aux apprenants. Cependant, ils ne se trouvent pas face à face avec leurs apprenants pour déterminer leurs comportements dans le groupe tel que leurs moments d'effort et de faiblesse, aussi pour déterminer leurs niveaux de participation aux activités collaboratives (i.e. projet collaboratif).

Malgré l'importance du travail en groupe, les systèmes d'apprentissage collaboratif n'ont pas mis en place assez d'outils de suivi de collaboration entre les apprenants. Ce problème revient aux environnements d'apprentissage collaboratif distribué où il est très difficile pour les étudiants de connaître les connaissances et les activités des autres membres du groupe (Ogata et al., 2011).

L'objectif de ce chapitre est de présenter les concepts de base des systèmes d'apprentissage collaboratif. Nous commençons par donner les concepts de base de l'enseignement à distance dans la section suivante (section 2). La section 3 définit la notion de l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur (ACAO). Par la suite, nous présentons ses différentes dimensions dans la section 4. La section 5 décrit la différence entre une tâche coopérative et une autre collaborative. Ensuite, nous donnons les différentes classifications des outils de collaboration dans la section 6 et nous présentons dans la section 7 notre étude sur la

formation des groupes qui est l'un des aspects principaux du travail collaboratif. Les avantages et les limites des systèmes d'apprentissage collaboratif seront abordés dans les sections 8 et 9 respectivement. Finalement, nous présentons quelques plateformes d'apprentissage collaboratif dans la section 10.

2. Enseignement à distance

2.1. Définitions

L'évolution des technologies éducatives n'est pas linéaire. Elle ne peut être décrite comme une accumulation progressive de connaissances, mais plutôt comme une succession de vagues (Dillenbourg et al., 2003) : l'enseignement assisté par ordinateur, l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur ou bien les systèmes tuteurs intelligents. Tandis que dans ces dernières années, de nouveaux termes sont apparus pour désigner les technologies de l'enseignement à distance: EIAH, E-learning, ACAO, MOOC, etc.

Le terme e-learning est un terme anglais qui veut dire « apprentissage par des moyens électroniques ». Il se réfère à l'utilisation du web et des nouvelles applications technologiques d'apprentissage distribué pour améliorer le processus d'acquisition d'un nouveau savoir ou la mise à jour de nouvelles connaissances. Le e-learning est utilisé dans les programmes de l'enseignement supérieur, les programmes de formation de l'entreprise, et les programmes de formation continue (Benraouane, 2011). Par contre, un EIAH est « un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant. Ce type d'environnement intègre des agents humains (élève, enseignant) et artificiels (i.e., informatiques) et leurs offre des conditions d'interactions, localement ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées), ici encore locales ou distribuées » (Tchounikine, 2002). D'autre part, Cisel et Bruillard (2012) définissent les MOOC comme « des cours en général limités dans le temps portant sur un thème spécifique. Ils incluent un ensemble cohérent de ressources pédagogiques, de modalités d'interactions, d'exercices et d'examens conduisant éventuellement à une certification. Ils impliquent une équipe pédagogique, chargée de l'encadrement des étudiants et du bon déroulement des cours ». Nous présentons dans la section 3 plusieurs définitions d'un environnement d'ACAO/CSCL.

2.2. Acteurs d'un environnement d'apprentissage à distance

Les environnements d'apprentissage à distance ont comme but de servir les besoins des acteurs d'apprentissage, notamment l'enseignant, le tuteur, l'administrateur et l'apprenant. En 2005, Taziri et Allouche (Taziri et Allouche, 2005) ont classé les acteurs selon trois missions : les missions administratives (le *chargé de communication* qui répond aux demandes d'information par mail et le *correspondant administratif* qui gère les inscriptions aux modules), les missions pédagogiques (les *enseignants* pour la conception et la mise à jour des cours, les *tuteurs* pour le tutorat par messagerie électronique et les *animateurs/coordonateurs* pour effectuer la liaison entre tous les intervenants et les étudiants) et les missions techniques (l'*administrateur/responsable technique* pour la planification des tâches, le *développeur informaticien* pour la maintenance de la plateforme de formation, le *technicien multimédia* pour la numérisation des médias et le *concepteur médiatique* pour la proposition de scénarisation de sessions). Ils ont considéré que *l'apprenant* est le centre du système (Taziri et Allouche, 2005). Selon Lafifi et ses collègues (Lafifi et al., 2010a), quatre acteurs ont été identifiés : apprenant (apprentissage, évaluation, etc.), enseignant (gestion de leurs matières), tuteur (suivi et assistance des apprenants) et administrateur (gestion des acteurs et des formations, etc.). Dans un autre travail, les auteurs (Siméone et al., 2007) ont regroupé les acteurs d'apprentissage en quatre classes (étudiant, enseignant-auteur de cours, tuteur-animateur de plateforme et technicien informatique). Alors, nous remarquons que les acteurs d'apprentissage changent d'une plateforme à une autre selon l'objectif de chacune d'elle.

3. Définition des systèmes d'apprentissage collaboratif

Les systèmes d'Apprentissage Collaboratif Assisté par Ordinateur (ACAO) ont été définis de plusieurs façons selon l'objectif de chaque auteur. Lipponen et ses collègues (Lipponen et al., 2004) considèrent un ACAO comme un domaine de recherche interdisciplinaire basé sur la façon dont l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur peut améliorer l'interaction entre les pairs et le travail en groupe, et comment la collaboration et la technologie facilitent l'échange et la diffusion des connaissances et l'expertise entre les membres de la communauté. Plus précisément, Walckiers et De Praetere (2004) ont défini l'apprentissage collaboratif comme « toute activité d'apprentissage réalisée par un groupe d'apprenants ayant un but commun, étant chacun source d'information, de motivation, d'interaction, d'entraide et bénéficiant chacun des apports des autres, de la synergie du groupe et de l'aide d'un formateur facilitant les apprentissages individuels et collectifs ».

Dans une autre définition, un ACAO est une branche émergente des sciences de l'apprentissage qui permet d'étudier comment les gens peuvent apprendre/enseigner avec l'aide des ordinateurs (Stahl et al., 2006). De leurs côtés, Ludvigsen et Mørch (2010) définissent un ACAO comme un domaine dont la technologie de la communication et de l'information (TIC) pourrait favoriser l'apprentissage en groupes (co-localisé et distribué). Il s'agit également de comprendre les actions et les activités méditées par les TIC. Une autre définition a été proposée par Laal et son collègue (Laal et Laal, 2010) où ils considèrent l'apprentissage collaboratif comme une approche pédagogique de l'enseignement et de l'apprentissage qui implique des groupes d'apprenants qui travaillent ensemble pour résoudre un problème, accomplir une tâche, ou créer un produit.

4. Dimensions de l'apprentissage collaboratif

D'après la section précédente, nous remarquons qu'il existe plusieurs définitions associées au terme d'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur. Comme résultat, ce terme possède plusieurs dimensions. Nous citons quelques unes dans ce qui suit.

4.1. Nature de la tâche

Les apprenants collaborent pour atteindre un objectif commun de façon individuelle (réalisée de manière personnelle par chacun des individus qui constitueront par la suite le groupe de travail) ou bien collective (réalisée à l'occasion d'une tâche antérieure par le groupe de travail ou par un autre groupe) (Depover et al., 2003). L'objectif à atteindre détermine le type de la tâche. Plusieurs tâches peuvent être distinguées :

- **Réalisation d'un projet :** Les apprenants interagissent en vue de réaliser des travaux pratiques ou bien de rédiger un exposé ensemble.
- **Résolution d'un exercice :** les apprenants collaborent en vue de résoudre des exercices des travaux dirigés ou bien des exercices supplémentaires.
- **Compréhension d'un concept :** les apprenants interagissent pour comprendre un concept d'un objet d'apprentissage spécifique.

4.2. Endroit des apprenants

Les apprenants peuvent se trouver dans un même lieu ou bien dans des lieux différents. Aussi, ils peuvent être présents dans le même temps ou bien dans des temps différents. Certaines

recherches soulignent la nécessité des outils synchrones pour assurer la réussite des activités collaboratives. D'autres recherches, par contre considèrent que les outils asynchrones peuvent parfaitement réussir la tâche de collaboration (Depover et al., 2003). Nous présenterons en détail dans la section 6 les différentes classifications des outils de collaboration.

4.3. Organisation des apprenants

En parlant de l'organisation des apprenants, nous devons discuter la taille des groupes et les techniques de regroupement des apprenants. Plusieurs études ont abordé le problème de la taille des groupes. La première question qui se pose dans chaque recherche est : quelle est la taille idéale du groupe ?

Peu de travaux ont analysé les conséquences et les performances du nombre d'apprenants dans un groupe. Decamps (2014) confirme en disant qu'« il semble qu'il n'y ait pas de taille du groupe idéale pour mettre en œuvre un apprentissage collaboratif ». Mais, il ajoute « l'apprentissage est plus facile lorsque le groupe est restreint ». Il a utilisé dans ses recherches des équipes de trois étudiants à l'opposé des recherches qui valorisent les interactions dans des groupes composés de paires d'individus (Depover et al., 2003). Depover et ses collègues (2003) valorisent le travail dans des groupes de petite taille, car ceux de grande taille maximisent la diversité qui peut constituer un facteur défavorable au travail collaboratif. Au contraire, cette diversité peut constituer une très grande différence à l'intérieur d'un groupe ce qui perturbe le travail en limitant les interactions.

5. La tâche collaborative ou coopérative ?

La collaboration et la coopération sont parfois utilisées comme des termes synonymes, tandis que d'autres chercheurs utilisent ces termes distinctement selon le degré de la division du travail. En coopération, les partenaires se partagent le travail, résolvent des sous-tâches individuellement, puis rassemblent les résultats partiels dans la sortie finale. En collaboration, les partenaires font le travail ensemble (Dillenbourg, 1999) (voir la Figure 1.1).

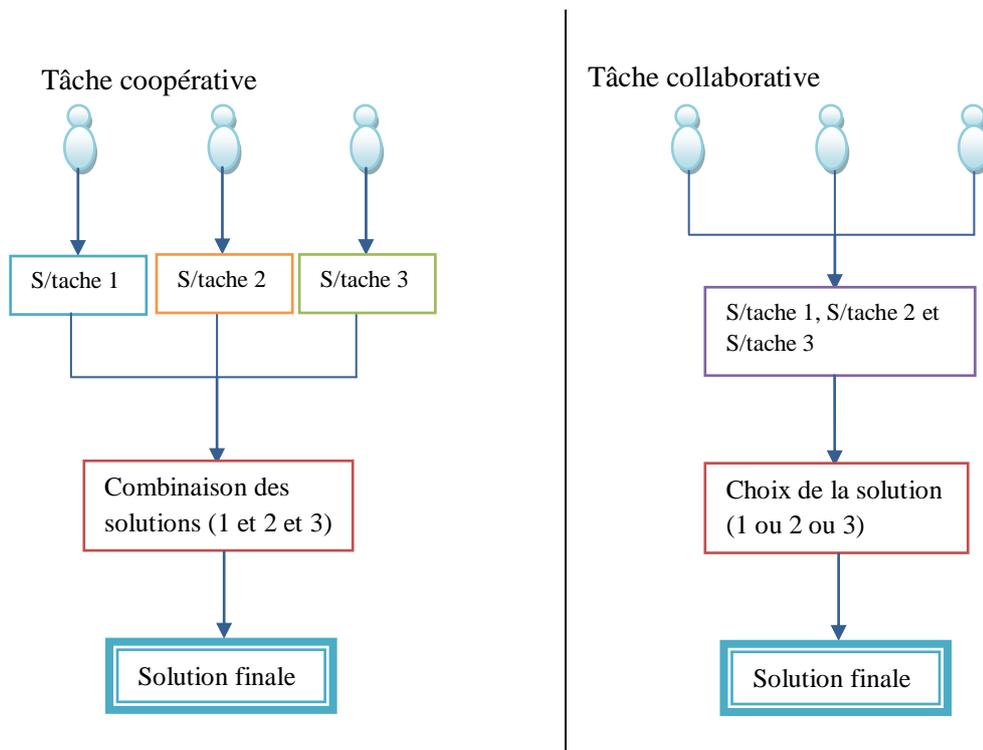


Figure 1.1. Comparaison entre une tâche coopérative et une tâche collaborative.

6. Les outils de collaboration

Dans les environnements d'apprentissage collaboratif, des différentes classifications des outils de collaboration ont été proposées.

6.1. Classification 01

Dans cette classification, Wessner et Pfister (2007) ont défini trois classes pour les outils de collaboration : (i) *asynchrones* (messagerie électronique, tableau d'information et les actualités des groupes), (ii) *synchrones* (chat, audio et vidéo) et (iii) *coopératives* (espace virtuel et navigation partagée).

6.2. Classification 02

Cette classification prend en compte le temps de participation et le nombre des membres en collaboration (entre plusieurs membres et entre deux membres). Hernández-Ramos (2004) a classé les outils de collaboration par rapport aux dimensions publiques/privées et synchrones/asynchrones : (i) *publique synchrone* (tableau blanc en ligne et chat entre plusieurs membres), (ii) *publique asynchrone* (blog, wiki et forum de discussion en ligne),

(iii) *privée synchrone* (tableau blanc en ligne, messagerie instantanée et chat entre deux membres) et (iv) *privée asynchrone* (forum de discussion en ligne et messagerie électronique).

6.3. Classification 03

Halimi (2009) a utilisé une classification basée sur l'espace et le temps. Dans cette classification, les classes dépendent de la localisation des membres et le temps de leurs participations à la collaboration : (i) *face à face* (les membres utilisent les mêmes ressources et en même temps), (ii) *synchrone répartie* (audioconférence, vidéoconférence et messagerie instantanée), (iii) *asynchrone* (les membres utilisent les mêmes ressources et en temps différent) (iv) et *asynchrone répartie* (messagerie électronique et forum de discussion).

7. Formation des groupes

Le processus de la formation des groupes est une étape cruciale dans les systèmes d'apprentissage collaboratif à distance. Dans ce processus, les apprenants sont affectés dans différents groupes selon différents facteurs : l'intelligence, la personnalité et le style d'apprentissage de chaque apprenant (Hórreo et Carro, 2007). Il existe deux types de la formation des groupes : manuelle et automatique.

7.1. Formation manuelle des groupes

Dans la formation des groupes manuelle, l'un des acteurs d'apprentissage (tuteur, enseignant ou bien administrateur) est le responsable de l'affectation des apprenants dans les groupes. L'acteur responsable affecte les apprenants d'une façon aléatoire ou bien selon des critères précis pris du profil d'apprenant dans des groupes d'une même taille.

7.2. Formation des groupes automatique

La formation des groupes automatique a le même principe que celle manuelle sauf que dans ce processus c'est le système qui fait l'affectation des apprenants automatiquement dans des groupes.

7.3. Synthèse sur la formation des groupes dans les environnements d'apprentissage collaboratif

Dans les systèmes d'apprentissage collaboratif, la collaboration entre les groupes d'apprenants offre plus de variété et de créativité, qui peuvent augmenter la participation des

étudiants dans la résolution des projets collaboratifs. Premièrement, nous présentons un modèle très connu dans ce domaine qui est « JIGSAW ». Puis, nous décrivons les différents travaux effectués.

Jigsaw est un modèle de regroupement très pratique dans les établissements d'enseignement en Amérique du nord. Il existe deux versions de ce modèle qui sont développées dans le domaine éducatif : Jigsaw I développé par Aronson (1978) et Jigsaw II développé par Slavin (1987).

- i. **Jigsaw I** : Dans le modèle du découpage 'Jigsaw' développé par Aronson (1978), le contenu de l'activité d'apprentissage est divisé en plusieurs parties distinctes et complémentaires. Chaque élève dans le groupe choisit une partie qu'il approfondira seul puis avec les autres élèves de la classe qui ont choisi la même partie. Ce groupe "d'experts" prépare chaque membre à maîtriser l'apprentissage attendu. À la fin du travail en groupe d'experts, chaque élève retourne à son groupe de travail initial pour "enseigner" à ses camarades ce qu'il a appris (Lafifi, 2007).
- ii. **Jigsaw II** : est une modification du modèle Jigsaw développé par Slavin (1987). Au lieu d'assigner à chaque membre des sections uniques, les élèves doivent étudier toute la leçon mais avec une concentration particulière sur la section assignée. Les élèves ayant le même sujet se rencontrent dans des groupes d'experts pour le discuter, puis ils retournent à leurs groupes pour enseigner toute la leçon à leurs camarades du groupe (Lafifi, 2007).

De nombreuses études dans le cadre de la formation à distance se basent sur la formation des groupes. Zakzerewska (2008) a conçu un système d'apprentissage intelligent dans lequel les apprenants sont regroupés en utilisant leurs styles d'apprentissage. Dans un autre travail, Zakzerewska (2009) a proposé de combiner deux facteurs : les styles d'apprentissage et les préférences de couleurs pour le regroupement des apprenants. D'autres recherches sont basées aussi sur les styles d'apprentissage pour le regroupement des apprenants dans les systèmes d'apprentissage assisté par ordinateur (i.e. (Grigoriadou et al., 2006), (Christodoulopoulos et Papanikalaou, 2007), (Feng et al., 2011), etc.). Afin d'améliorer les performances des groupes, Jules (2007) a utilisé les caractéristiques démographiques (l'âge et le sexe) combinées avec les styles d'apprentissage.

Dans le contexte des systèmes d'apprentissage collaboratif, Mühlenbrock (2006) a introduit de nouveaux facteurs (profil et contexte d'apprenant) pour améliorer la qualité de regroupement et réduire le risque de perturbation. D'autres études ont été faites dans les systèmes d'apprentissage collaboratif pour regrouper les apprenants (i.e. (Alfonseca et al., 2006), (Wang et al., 2007), (Li et Chan, 2012), (Henry, 2013), etc.).

Au cours des dernières années, la plupart des auteurs ont proposé également d'effectuer des combinaisons de plusieurs facteurs pour regrouper les apprenants : les caractéristiques démographiques (âge, sexe et pays) avec le comportement des apprenants (Analoui et al., 2014), les avis des étudiants avec les styles d'apprentissage (Kyprianidou et al., 2012), les informations des apprenants avec leurs apprentissages (Rubens et al., 2009), les données des apprenants (sexe, collège et région) avec les avis des instructeurs (Craig et al., 2010), les compétences avec les connaissances (Mujkanovic et al., 2012), etc.

Dans le cadre de l'utilisation des techniques bio-inspirées dans la formation des groupes, Montazer et Rezaei (2012) ont utilisé une démarche d'optimisation dans le domaine d'apprentissage à distance pour améliorer les méthodes de regroupement. Les auteurs proposent une nouvelle méthode HCM (Hybrid Clustering Method) en fonction des informations issues des méthodes de classification de base telles que : C-means et K-means. En utilisant une autre approche bio-inspirée, Abnar et ses collègues (Abnar et al., 2012) forment des groupes d'apprentissage par un processus itératif basé sur un algorithme génétique. D'autres chercheurs (Ghorbani et Montazer, 2012) ont proposé d'effectuer le regroupement des apprenants par l'algorithme de PSO (Particle Swarm Optimization) en prenant en compte leurs styles cognitifs afin d'améliorer la précision de regroupement. Dans une autre approche, Lin et ses collègues (Lin et al., 2009) proposent un algorithme à base des algorithmes génétiques pour sélectionner certaines caractéristiques importantes des apprenants, et de réaliser une classification optimale par l'algorithme SVM (Support Vector Machine).

Le Tableau 1.1 présente un récapitulatif des travaux cités ci-dessus (Zedadra et al., 2015).

Référence(s)	Objectif principal	Facteur (s) de regroupement	Automatique Manuel	Statique / Dynamique
(Zakzerewska 2008), (Grigoriadou et al., 2006), (Christodoulou poulos et Papanikalaou, 2007)	Modélisation des groupes d'étudiants	- Styles d'apprentissage	Automatique	Statique
(Zakzerewska 2009)	Régler les parcours d'apprentissage en encourageant la collaboration en groupe	- Styles d'apprentissage - Les couleurs des préférences	Automatique	
(Feng et al., 2011)	Aider à comprendre la relation entre les individus	- Comportements individuels	Automatique	
(Jules, 2007)	Améliorer la performance du groupe	- Styles d'apprentissage - Caractéristiques démographiques	Automatique	
(Muehlenbrock, 2006)	Améliorer la qualité de regroupement et réduire le risque de perturbation	- Profil et contexte des apprenants	Automatique	
(Alfonseca et al., 2006)	Favoriser une meilleure collaboration	- /	Manuel par l'enseignant	
(Wang et al., 2007)	La création de petits groupes	- Styles de réflexion	Automatique	
(Li et Chan, 2012)	Composer des groupes d'activités	- Des informations sur les activités	Automatique	
(Henry, 2013)	Composer des groupes des projets	- Capacités individuelles	Automatique	
(Analoui et al., 2014)	Augmenter l'engagement des étudiants, et	- Caractéristiques démographiques - Comportements	Manuel	

	améliorer le partage des connaissances	des apprenants	
(Kyprianidou et al., 2012)	Classer les étudiants	- Styles d'apprentissage - Avis des étudiants	Automatique
(Rubens et al., 2009)	Trouver des collaborateurs appropriés	- Informations sur les apprenants - Processus d'apprentissage	Automatique
(Craig et al., 2010)	Former des groupes optimaux	- Les informations sur les apprenants - Les avis des tuteurs	Automatique
(Mujkanovic et al., 2012)	Améliorer les résultats d'apprentissage	- Compétences - Connaissances des apprenants	Automatique
(Montazer et Rezaei, 2012)	Améliorer les méthodes de regroupement	- Styles d'apprentissage - Questionnaire	Automatique
(Abnar et al., 2012)	Supporter les activités de collaboration	- Avis des tuteurs	Automatique
(Ghorbani et Montazer, 2012)	Augmenter la précision de regroupement des apprenants	- Styles cognitifs	Automatique
(Lin et al., 2009)	Aider l'enseignant à former des groupes	- Styles de réflexion - Genre - Interaction dans le groupe - Tests d'évaluation	Automatique

Tableau 1.1. Récapitulatif des travaux traitant le problème de la formation des groupes.

Selon les données présentées dans le Tableau 1.1, il n'y a pas de travaux qui utilisent le regroupement dynamique des apprenants. En effet, tous les travaux de recherche trouvés utilisent le regroupement statique sans la possibilité de la mise à jour des positions des apprenants dans les groupes.

8. Avantages de l'apprentissage collaboratif

- Supporter le travail en groupe et permettre le partage des documents entre les membres (Stahl, 2006).
- Fournir des mécanismes pour charger, télécharger, et archiver plusieurs types de documents (Stahl, 2006).
- Échange d'information entre les apprenants d'un même groupe (Gweon et al. 2011).
- Apprentissage et négociation de leurs idées ensemble (Gweon et al. 2011).
- Fournir des feedbacks aux autres membres du groupe selon leurs expériences passées (Clauzel et al. 2011).
- Amélioration des performances des groupes (Thompson et Coovert, 2003).
- Établissement d'un objectif commun par les membres et collaborer afin de l'atteindre (Kraut et al., 2002).
- Permettre aux apprenants de développer une capacité cognitive et un savoir agir nécessaire au développement des compétences de collaboration (Benraouane, 2011).

9. Limites de l'apprentissage collaboratif

- Initialisation de la communication entre les apprenants (Kraut et al., 2002).
- La présence des apprenants n'est pas en même temps sachant que les apprenants doivent avoir le même but dans le même temps (Kraut et al., 2002).
- Former des groupes d'apprenants uniformes (Wessner et Pfister, 2001).
- Déficit d'informations relatives à la perception des activités faites par les autres membres du groupe (Temperman et al., 2012).
- Manque d'informations qui indiquent la position des autres membres du groupe dans leurs processus d'apprentissage (Temperman et al., 2012).
- Quelques apprenants utilisent d'autres apprenants comme des "cavaliers libres". Ces cavaliers effectuent la majorité du travail (Lafifi, 2007).
- Quelques apprenants, trop demandés pour aider les autres, sentent qu'ils sont exploités et cessent de collaborer/coopérer (Lafifi, 2007).

10. Quelques environnements d'apprentissage humain

Les environnements ou bien les plateformes d'apprentissage ont commencé à apparaître dans les années 90 sous le nom de Learning Management Systems (LMS). Ces derniers sont considérés comme un ensemble de logiciels rassemblés dans un environnement cohérent à point d'entrée unique sur un réseau internet ou intranet (Behaz, 2012).

Avec le développement des technologies des TIC (Technologie de l'Information de la Communication), un grand nombre de plateformes est disponible sur le web. Nous donnons dans cette section quelques plateformes parmi elles.

- **BSCW (<https://public.bscw.de/pub/>)** : Basic Support for Cooperative Work est une plateforme coopérative publique disponible sur internet. Les buts principaux de la plateforme sont le partage des documents, organisation du travail en groupe et des outils de coopération efficace.
- **TeamWave (<http://www.markroseman.com/teamwave/>)** : TeamWave offre un environnement de collaboration flexible basé sur des salles supportant le travail en groupe, en temps réel et asynchrone. Chaque salle est équipée par un grand tableau blanc, qui permet de rédiger du texte et d'insérer des dessins et des graphes.
- **TopClass (<http://www.wbtsystems.com/product/>)** : TopClass est une plateforme qui permet la gestion efficace, le suivi et la certification de la formation pour les organisations d'entreprises et les associations. Elle supporte la collaboration et l'apprentissage social. Aussi, elle permet aux apprenants d'interagir, partager les informations, poser des questions, poster/noter les commentaires et de solliciter des feedbacks via des sondages.
- **Coler (Collaborative Learning Environment for entity relationship modeling)** : C'est un environnement dans lequel les étudiants peuvent résoudre des problèmes de modélisation de base de données lors de leurs travaux asynchrones en petits groupes.
- **WebCT (www.webct.com)** : C'est un environnement qui fournit des outils de communication favorisant la coopération entre les apprenants du même groupe.
- **Claroline (<http://www.claroline.net>)** : Claroline est une plateforme dédiée à l'apprentissage collaboratif. Elle permet une utilisation facile de l'espace d'apprentissage et de collaboration.
- **WebGuide (<http://www.cis.drexel.edu/faculty/gerry/webguide/>)** : C'est un environnement qui permet aux apprenants le travail, l'apprentissage et la communication dans des salles virtuelles.
- **CaMILE/WebCaMILE (www.cc.gatech.edu/gvu/edtech/CaMILE.html)** : CaMILE /WebCaMILE est un environnement qui supporte l'apprentissage dans de petites activités coopératives en reliant les pages web à des fils de discussion.

- **L3 (Life Long Learning)** : L3 est un environnement d'apprentissage. Il propose une séquence de navigation qui suit un ensemble de stratégies d'apprentissage qui peuvent être adaptées individuellement pour chaque apprenant.

11. Conclusion

Le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication a donné naissance à plusieurs domaines et champs de recherche comme celui de « l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur ». Ce dernier supporte la collaboration entre les apprenants organisés en groupe et réalisant un ensemble d'activités pédagogiques.

Les environnements d'apprentissage collaboratif offrent plusieurs outils de communication qui permettent d'augmenter la qualité de la collaboration entre les membres d'un même groupe. Malgré que les outils de collaboration aident les apprenants à interagir et à résoudre leurs problèmes ensemble, ça reste insuffisant pour réussir le processus d'apprentissage des apprenants. Alors, la présence d'un autre acteur humain (i.e. Tuteur) est indispensable dans les systèmes d'apprentissage collaboratif afin d'assister et suivre les apprenants.

Dans ce chapitre, nous avons décrit les concepts de base de l'enseignement à distance. Ensuite, nous avons présenté de manière générale le domaine de l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur en commençant par définir qu'est-ce qu'un système d'apprentissage collaboratif. Par la suite, nous avons présenté ses différentes dimensions. Puis, nous avons décrit la différence entre une tâche coopérative et une autre collaborative et nous avons donné les différentes classifications des outils de collaboration citées par les différents chercheurs. Une étude détaillée concernant les techniques de regroupement des apprenants dans les environnements d'apprentissage humain a été présentée. Enfin, nous avons donné quelques avantages et quelques limites des systèmes d'apprentissage collaboratif cités par la littérature.

Pendant le processus de formation, les apprenants interagissent avec plusieurs composants humains et artificiels de la plateforme d'apprentissage. Ces apprenants laissent des traces qui indiquent leurs actions en effectuant leurs tâches pédagogiques. Le principe général de ces traces ainsi que leur mode d'exploitation feront l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 2 :

Traces dans les environnements d'apprentissage humain

1. Introduction

Dans ces dernières années, plusieurs plateformes favorisant l'apprentissage humain ont vu le jour. Malgré les avantages qu'elles offrent spécialement aux apprenants, elles ont introduit de nouvelles difficultés pour les utilisateurs et font émerger de nouvelles problématiques. En effet, plusieurs problèmes ont apparu comme l'isolement de l'apprenant, le sentiment de perte et d'ennui et la désorientation. Aussi, les utilisateurs souffrent et prennent du temps pour qu'ils s'adaptent au contenu des plateformes ainsi que le manque de suivi des apprenants. Alors, l'une des solutions proposées pour résoudre les problèmes et les difficultés rencontrées est l'exploitation de leurs traces qui sont enregistrées lors de leurs activités d'apprentissage par le système. Ces traces sont les résultats d'interaction entre les acteurs eux-mêmes, et entre les acteurs et le système. Elles sont très volumineuses et très hétérogènes.

Les traces ont été exploitées pour concevoir des systèmes d'analyse et d'assistance aux situations d'apprentissage qui visent à améliorer la tâche de suivi des acteurs (suivi des apprenants dans leurs tâches d'apprentissage et assistance des tuteurs dans leurs différentes tâches), des systèmes de réingénierie des dispositifs d'apprentissage selon les informations récoltées lors du déroulement d'un scénario d'apprentissage en vue d'améliorer leur qualité, ou bien des systèmes d'adaptation ou de personnalisation des environnements d'apprentissage qui visent à adapter le contenu des plateformes d'apprentissage aux caractéristiques des utilisateurs. Plusieurs questions peuvent être posées :

- Qu'est-ce qu'une trace?
- Quels sont les types de traces?
- Comment obtenir ces traces et comment les gérer ?
- Où sont-elles utilisées et exploitées?

- Et est-ce que leur utilisation a résolu vraiment quelques problèmes des acteurs d'apprentissage ?

Pour répondre à ces questions, nous allons organiser ce chapitre en trois parties. La première est réservée à présenter les notions de base de la trace (définition, type, sources et leurs différentes étapes du traitement). La deuxième partie est consacrée à la présentation des travaux liés à la modélisation des indicateurs. Un accent particulier sera mis sur l'interprétation des traces dans les environnements d'apprentissage collaboratif. La dernière partie est consacrée à la synthèse des travaux étudiés.

2. Définition des traces

Il existe actuellement plusieurs définitions des traces où chacune d'elles diffère selon le domaine d'utilisation de ces traces.

Nous découvrons en premier lieu le terme trace dans la littérature. Le ministère français de l'Économie, des Finances et de l'Industrie décrit le traçage de la façon suivante : le traçage consiste à pouvoir suivre « littéralement poursuivre » le cheminement et l'activité de l'apprenant dans son parcours de formation. L'académie de Rennes complète cette définition en précisant qu'il s'agit de consigner, acter, marquer, enregistrer des informations sur un support matériel en vue de pouvoir reconstituer l'historique, la chronologie, la diachronie (Georges, 2006).

De 2001 à 2005, plusieurs définitions ont été proposées. Selon Jermann et ses collègues (Jermann et al., 2001), la trace est « une observation ou un enregistrement de l'interaction de l'apprenant avec un système en vue d'une analyse ». D'une autre façon, Champin et Prié (2002) parlent d'une *séquence d'états et de transitions* représentant l'activité de l'utilisateur où ils ont défini la trace comme « la séquence temporelle des objets et opérations mobilisés par l'utilisateur lorsqu'il utilise le système ». Dans un autre contexte, Pernin (2005) définit la trace comme « un indice de l'activité des acteurs d'une situation d'apprentissage, qu'elle soit ou non instrumentée ». Il complète aussi sa définition en précisant qu'il s'agit « d'un résultat obtenu au cours ou au terme d'une activité, d'un évènement ou d'un ensemble d'évènements relatifs au déroulement de la situation d'apprentissage ». Gwenegan (2005) définit deux types de trace : la *trace d'activité* qui est « un indice marqué temporellement de l'activité d'un

acteur d'une situation d'apprentissage » et la *trace d'observation* qui est « une observation marquée temporellement lors du déroulement d'une situation d'apprentissage ».

De 2007 à 2011, d'autres définitions ont été proposées. Selon Cram et ses collègues (Cram et al., 2007), une *trace d'interaction* est « tout objet informatique dans lequel s'accumulent des données à propos des interactions entre un système informatique et son utilisateur ». Dans le domaine de la *réingénierie des EIAH*, Choquet et Iksal (2007) définissent la trace comme « un objet pédagogique au même titre que les ressources ou les scénarios pédagogiques ». Une autre définition a été proposée par Ollagnier-Beldame et Mille (2007) où ils parlent des *traces informatiques d'interactions* comme « des séquences d'informations inscrites, par et dans l'environnement, relatives à l'utilisation d'un individu ». En utilisant les événements et les dates, Cram (2010) considère une trace comme « une séquence d'évènements, notée $S = ((e_1, t_1) \dots (e_m, t_m))$. Chaque paire (e_i, t_i) est appelée évènement, où e_i est le type d'évènement et t_i est la date d'évènement ». Aussi, Settouti (2011) définit la trace comme « une collection d'observée temporellement située ».

En 2013, Ji et ses collègues (Ji et al., 2013) définissent la trace d'activité comme « les actions des utilisateurs enregistrés directement par le système durant les activités d'apprentissage ». Aussi, d'autres chercheurs (Somasundaram et al, 2013) ont considéré la trace comme « l'historique des actions des apprenants avec l'environnement d'apprentissage ». Le modèle de la trace est défini comme suit : $Trace = \{utilisateur, tâche, (o_1, o_2, \dots, o_n)\}$, où l'utilisateur peut être le tuteur ou bien l'apprenant, la tâche est le travail fait et chaque o_i est défini comme suit : $o_i = (A_i, M_i)$, sachant que A_i : *action effectuée* et M_i : *modalité*.

D'après toutes ces définitions et d'après notre connaissance sur le domaine, nous utilisons la définition suivante qui considère la *trace* comme « une séquence qui est définie par une suite d'actions faites par un utilisateur lors de son interaction avec un environnement d'apprentissage » (Zedadra et Lafifi, 2015).

Après cette étude, nous remarquons qu'il n'existe pas une définition commune pour les traces d'apprentissage et qu'il existe plusieurs types de trace : traces d'activité, traces d'observation, traces d'utilisation, traces de navigation, traces d'interaction, traces modélisées, etc. Dans la section suivante, nous présenterons en détail les différentes traces existantes.

3. Types de traces

Il existe plusieurs travaux qui exploitent les traces dans différents domaines. Le Tableau 2.1 présente les différents types de traces.

Type (s) de traces	Référence (s)
<ul style="list-style-type: none"> • Les traces informatives (les informations personnelles et les informations techniques) • Les traces liées à l'utilisation d'une ressource (référence de la ressource, nombre d'accès, etc.) • Les traces associées aux activités d'apprentissage (temps de réponse à une question, évaluation, etc.) • Les traces attachées aux activités de communication (nombre des e-mails envoyés et reçus, contenu des messages, etc.) 	(David et al, 2005)
<ul style="list-style-type: none"> • Traces d'activité • Traces d'observation et • Leurs hybridations. 	(Gwenegan, 2005)
Traces d'activité	(Mathern et al., 2010), (Laflaquiere, 2009), (Thibaud, 2009), (Mathern et al., 2011), (Georgeon et al., 2012), (Broisin et Vidal, 2007), (Eyssautier-Bavay, 2008).
Traces d'interaction	(Cram et al., 2007), (May, 2009), (Cordier et al., 2010), (Settouti et al., 2011), (Djouad et al., 2011), (Zarka et al., 2011), (Besnaci, 2012), (Lekira, 2012b), (Maldonado et al., 2012)
Traces de navigation	(Rossi et al., 2005), (Mille, 2012) et (Bousbia, 2011a)

Tableau 2.1. Types de traces.

Toutes ces traces sont collectées pendant ou après la situation d'apprentissage. Cette collecte s'effectue selon trois modes (Gwenegan, 2005) : manuelle (par un observateur humain), audiovisuelle (en utilisant des caméras) ou bien numérique (via un outil informatique qui enregistre les actions faites par les utilisateurs).

Dans la section suivante, nous présentons les différentes sources de collecte des traces.

4. Sources de traces

Il existe plusieurs sources pour collecter les traces des utilisateurs pendant leurs utilisations d'un outil informatique. Ces sources sont basées sur différentes approches de collecte selon les sources d'observation (Heraud et al., 2005) :

A) Observation des activités du scénario pédagogique

Ce type de trace est obtenu en instrumentant les activités du scénario pédagogique. Ils ont utilisé ce type de trace dans le projet PIXED, où la visualisation des traces permet à l'enseignant de comprendre les parcours effectués par les apprenants (Heraud et al., 2005). Maintenant, un module « Pscenario » est intégré à la plateforme pour que tous les déclenchements et les terminaisons d'activités du scénario soient enregistrés.

B) Observation de l'activité du serveur

Les plateformes d'apprentissage à distance sont hébergées sur un serveur, qui garde une copie des actions et des fonctionnalités effectuées sur ce dernier. Il génère automatiquement des fichiers appelés « fichier de trace » ou « les logs » (exemple : le serveur *Apache* génère un fichier qu'on s'appelle *access.log*) (Heraud et al., 2005). Afin de rendre les informations générées du serveur possibles à exploiter, il est nécessaire d'effectuer un traitement pour les rendre exploitables (nettoyage, filtrage et transformation) (Bousbia, 2011b).

C) Observation de l'activité du poste client

Ces observations sont reliées aux interactions des apprenants lors d'une résolution collaborative d'exercice via des outils de messageries instantanées. Alors, il est nécessaire d'instrumenter le poste de chaque apprenant afin d'observer toutes ses interactions (exemple : instrumenter le poste client par un outil de collecte de trace « KGB Keylogger » qui permet de collecter toutes les traces de navigation d'un utilisateur sur sa machine) (Heraud et al., 2005).

D) Observation de l'activité non médiatisée par ordinateur

Malgré le nombre important des traces issues des observations précédentes, certaines interactions qui permettent de donner une information sur le comportement de l'apprenant sont négligées. Si par exemple, la séance d'apprentissage se fait à distance aucune affirmation n'est donnée si l'apprenant est seul devant sa machine. L'ensemble des traces collectées passe par plusieurs étapes avant d'être exploité. Alors, nous présentons dans la section suivante quelques méthodes du traitement de la trace (Heraud et al., 2005).

5. Traitement des traces

Beaucoup de travaux sont aujourd'hui capables de traiter les traces issues de la situation d'apprentissage à distance de différentes manières. Loghin (2006) présente le processus du traitement en s'appuyant sur cinq étapes principales : collecte, fusion, filtrage, structuration et analyse.

- La *collecte* : se fait sur différentes sources des traces par rapport à l'activité en cours (format du texte, image, etc.) et elles ne sont pas forcément du même niveau de granularité.
- La *fusion* : pour une vision globale de l'activité.
- Le *filtrage* : pour raffiner l'analyse et minimiser sa durée.
- La *structuration* : pour la bonne compréhension des traces.
- L'*analyse* : guide l'interprétation des traces par l'analyste. Des outils spécifiques de visualisation et de représentation des résultats peuvent être utilisés afin de faciliter la tâche de l'analyste.

David et ses collègues (David et al., 2005) traitent la trace en trois étapes : *collecte*, *structuration* et *exploitation*. Ils fournissent trois types d'exploitation : *l'observation*, *l'évaluation* et la *régulation* de la situation d'apprentissage par les tuteurs ou bien par les apprenants eux-mêmes en utilisant une approche réflexive. Les *traces primitives* sont les résultats de l'étape initiale de collecte des événements, des actions ou des résultats liés à la situation d'apprentissage. Les *indicateurs d'apprentissage* sont les résultats de la phase de structuration d'un ensemble des traces primitives afin de donner un sens aux données collectées.

Dans un autre contexte de recherche, Settouti et ses collègues utilisent six étapes pour le traitement de la trace (Settouti et al., 2006):

- Collecte des traces depuis trois sources : *caméra, microphone et outils de capture multimédia* (audio vidéo, transcriptions et annotations), *observateur humain* (inscription d'observations) et *agent de capture* (enregistrement d'actions/événements, capture de message de communication et historique).
- Gestion et transformation des traces : se font par des différentes transformations sur les traces collectées.
- Stockage de traces : stocker l'ensemble des traces dans une base de données.
- Visualisation des traces: visualiser les traces selon une ligne de temps permettant de représenter la séquence temporelle de données.
- Calcul des indicateurs pour la visualisation des traces significatives.

6. Modélisation des indicateurs à partir des traces

6.1. Définition des indicateurs

Dimitracopoulou et Bruillard (2006) définissent un indicateur comme « une variable au sens mathématique à laquelle est attribuée une série de caractéristiques. Elle prend des valeurs qui ont une forme numérique ou alphanumérique». Selon Djouad et ses collègues (Djouad et al., 2009), la conception des indicateurs « consiste à modéliser explicitement la trace d'interaction permettant de le calculer et mettant en évidence les éléments d'observation à recueillir pour l'élaborer ». Aussi, Choquet et Iksal (2007) définissent un indicateur comme « un observable signifiant sur le plan pédagogique, calculé ou établi à l'aide d'observés, et témoignant de la qualité de l'interaction, de l'activité et de l'apprentissage dans un environnement informatique d'apprentissage humain ».

6.2. Modélisation des indicateurs

UTL (Usage Tracking Language) est un langage générique (Choquet et Iksal, 2007) qui permet pour un scénario pédagogique donné de décrire les objets à tracer parmi les observables. Les auteurs ont utilisé deux types de données pour les traces, les données dérivées (construite ou calculée à partir des données primaires et peuvent être soit des données intermédiaires servant au calcul d'indicateur, soit des indicateurs) et les données primaires (une donnée brute directement collectée, une donnée additionnelle disponible avant

l'observation, exemple : scénario prédictif ou une donnée de production, par exemple : une production d'un étudiant). Un autre projet **ICALT (Interaction and Collaboration Analysis supporting Teachers and Students Self-regulation)** a pour objectif principal de réfléchir et d'organiser les recherches sur l'analyse des interactions et des collaborations dans un EIAH (David et al., 2005).

Dans le cadre de l'analyse des interactions, le projet **IA** « Interaction Analysis » s'intéresse aux outils et aux méthodologies de mise en place des indicateurs dans un contexte d'autorégulation des apprenants ou des enseignants. Les utilisateurs des indicateurs issus d'analyse des interactions peuvent être l'étudiant, l'enseignant ou le système (Dimitracopoulou et al., 2004).

Les traces collectées directement de la situation d'apprentissage « trace brute, trace primaire ou bien trace de bas niveau » ne lui sont pas associées d'interprétation. Alors, il est nécessaire de calculer une trace secondaire « indicateur ou bien trace de haut niveau ». Dans la section suivante, nous présenterons les travaux reliés au calcul des indicateurs à partir des traces d'apprentissage.

6.3. Les travaux reliés au calcul des indicateurs

Dans cette section, nous allons présenter quelques travaux connexes sur le calcul des indicateurs à partir des traces.

a) GISMO : GISMO (Mazza et Milani, 2005) est un outil qui trace et visualise les activités des apprenants. Il utilise des informations de visualisation pour élaborer des représentations graphiques. Ces dernières sont manipulées par les instructeurs pour connaître ce qui se passe dans les classes à distance. GISMO possède trois interfaces : le panneau de graphes pour visualiser les traces, le panneau des listes qui contient la liste des apprenants et le panneau du temps pour la restriction de la sélection.

Le système donne un rapport sur l'accès des apprenants au cours, la visualisation est présentée comme une matrice où l'axe des X présente les noms des étudiants et l'axe des Y présente les dates des cours. Une marque est équivalente au moins à un seul accès au cours fait par l'étudiant sélectionné.

- b) **TRAVIS** : un autre travail a été proposé par May et ses collègues (May et al., 2009) où ils proposent une approche de visualisation pour fournir aux utilisateurs des vues simples, mais représentatives de leurs activités. Le système exploite les traces des apprenants pour les assister dans leurs processus d'apprentissage (May et al., 2008). Le système offre une visualisation des indicateurs de lecture de messages dans un forum de discussion où chaque sphère présente une activité de lecture d'un message, le diamètre présente le temps passé pour la lecture, la distance entre deux sphères est l'écart entre deux lectures et chaque couleur a sa propre désignation (May et al., 2007).
- c) **Classification des indicateurs selon la pertinence** : Reffay et Lancieri (2006) regroupent les indicateurs quantitatifs issus d'une plateforme de téléformation en cinq classes selon la pertinence et le cout d'extraction :
- Les indicateurs disponibles sur le LMS (Learning Management System) : se sont les compteurs individuels de chaque apprenant (nombre de connexion, nombre de pages demandées, nombre de messages postés sur le forum et nombre de messages postés et reçus par courrier électronique).
 - Le nombre de messages émis et postés dans le forum : à chaque message est associé une information s'il est lu ou non. Le système permet de distinguer les messages ouverts et non. Cette précision donne une information sur la participation à la communication dont une élimination est imposée pour supprimer les messages de communication ouverts.
 - Le nombre de personnes ayant émis des messages et le nombre de personnes ayant reçu au moins un message émis.
 - Le nombre de messages : le fait qu'il soit émis ou reçu et leur répartition entre les différents interlocuteurs d'un acteur. Ces derniers sont des graphes orientés et valués contiennent l'émetteur et le récepteur.
 - Les indicateurs permettent de préciser la position relative de chaque individu dans le groupe (Reffay et Lancieri, 2006).

Ils proposent deux modèles pour modéliser un forum de discussion : le premier calcule le volume des échanges entre les individus et le deuxième calcule le volume des échanges par catégories (postage ou lecture des messages). Le système donne une représentation graphique d'un graphe orienté et valué pour le calcul du nombre des messages échangés dans le forum où les sommets sont les membres du groupe, et chaque arc (i, j) entre deux sommets i et j est

valué par le nombre d'unités (messages, mots, caractères, etc.) postées par i et ouvertes par j (Reffay et Lancieri, 2006).

- d) Moodog :** Dans un autre travail, Zhang et ses collègues (Zhang et al., 2007) proposent un outil d'analyse des logs des utilisateurs qui permet de tracer les activités d'apprentissage en ligne. Il permet de visualiser dans Moodle les traces des utilisateurs. Il a un double objectif : fournir aux tuteurs un aperçu sur la façon dont les apprenants interagissent avec le cours en ligne et permettre de comparer leurs propre progrès à d'autres apprenants. Les bars vert et rouge dans la visualisation représentent le pourcentage des apprenants qui ont visualisé les ressources et ceux qui n'ont pas visualisé respectivement.
- e) DEGREE :** En utilisant un autre type d'indicateur, Barros et Verdejo (2000) proposent un indicateur pour le calcul de la collaboration dans les environnements d'ACAO. Le système conçu se base sur les principes suivants : la construction collaborative du problème, la coordination du groupe pour faire des plans du travail, les mécanismes d'interaction, le processus d'apprentissage ainsi que leurs résultats et la représentation explicite du processus d'interaction et de production.
- f) TBS :** Djouad et ses collègues (Djouad et al., 2010) proposent un outil de description et de calcul des indicateurs d'apprentissage humain collaboratif et individuel quand ils utilisent un système à base de traces dans la plateforme Moodle. Djouad (2011) se base sur quatre outils (chat, forum, wiki et ressource) pour le calcul des indicateurs (nombre de connexion, déconnexion, éditer un wiki, voir ou consulter un wiki, éditer un forum, voir ou consulter un forum, message dans chat), pour chaque situation d'apprentissage. Il calcule les mêmes indicateurs :
- Au niveau de l'apprenant,
 - Au niveau du groupe,
 - Et entre groupes.

Le tableau 2.2 exprime une synthèse des travaux relatifs au calcul des indicateurs.

Référence	(Mazza et Milani, 2005)	(May et al., 2009)	(Reffay et Lancieri, 2006)	(Zhang et al., 2007)	(Barros et Verdejo, 2000)	(Djouad, 2011)
------------------	-------------------------	--------------------	----------------------------	----------------------	---------------------------	----------------

Système conçu	GISMO ¹	TRAVIS ²	/	Moodog ³	DEGREE ⁴	TBS ⁵
Objectif	Aider l'apprenant pendant son apprentissage	Aider les participants dans leurs processus d'apprentissage	Aider l'apprenant	Suivre la progression de l'apprenant et donner au tuteur une idée sur l'interaction dans le groupe	Amélioration la collaboration dans le groupe	Suivre la progression du comportement collaborative dans le groupe
Acteur produisant	Apprenant	Apprenant, enseignant et tuteur	Groupe d'apprenants	Apprenant	Groupe d'apprenants	Groupe d'apprenants
Acteur destinataire	Tuteur	Système	Tuteur	Tuteur	Système	Enseignant
Plateforme	Moodle	Moodle	/	Moodle	/	Moodle
Temps de manipulation	Posteriori	Posteriori et temps réel	Posteriori	Posteriori	Posteriori	Posteriori
Visualisation	Avec	Avec	Avec	Avec	Sans	Avec

¹Graphical interactive student monitoring system for Moodle (Système de suivi graphique et interactif des étudiants dans moodle)

²Tracking data analysis and VISualization (Analyse et visualisation des données tracées)

³ Moodle Tracking System (Système de suivi de moodle)

⁴ Distance Environment for Group Experience (environnement à distance pour l'expérience du groupe)

⁵ Trace Based System (Système à base de traces)

Indicateurs	Accès à la ressource, discussion et résultat des évaluations	Lecture de messages	Les échanges entre individus, les échanges par catégorie et postage/lecture des messages sur le forum	Interaction des apprenants avec le contenu des cours	Performance du groupe avec les autres groupes, performance de chaque membre dans le groupe et la performance du groupe	niveau de l'apprenant, du groupe et entre groupe
Source de trace	Fichier log	Fichier log et log issus du poste client	Messages échangés sur le forum	Log issu de la consultation du cours	Messages échangés sur la plateforme	Chat, forum, wiki et ressource

Tableau 2.2. Synthèse des travaux du calcul des indicateurs à partir des traces.

g) Discussion sur les travaux relatifs au calcul des indicateurs

Premièrement, tous les travaux décrits ci-dessus visent à aider, progresser/développer les apprenants pendant/après leurs situations d'apprentissage dans des différents environnements.

Deuxièmement, l'acteur produisant la trace généralement est l'apprenant ou un groupe d'apprenants ce qui est synthétisé sur le Tableau 2.2, sauf le travail de (May et al., 2009) qui trace aussi les activités des tuteurs et des enseignants. D'autre part, l'acteur humain (tuteur ou enseignant) est celui qui analyse les traces dans les travaux ((Mazza et Milani, 2005), (Reffay et Lancieri, 2006), (Zhang et al., 2007) et (Djouad, 2011)). Par contre, dans d'autres recherches ((May et al., 2009) et (Barros et Verdejo, 2000)), le système reçoit les traces et les analyse. Alors que, les systèmes où le destinateur est un acteur ont un inconvénient majeur puisque l'acteur n'est pas toujours disponible pour gérer ces traces.

Troisièmement, le travail de (Barros et Verdejo, 2000) ne visualise pas les traces malgré que la visualisation donne une idée sur ce qui se passe pendant les situations d'apprentissage ce qui permet de fournir une aide à tous les acteurs d'apprentissage, et que la visualisation est

une étape importante pour que les apprenants connaissent leurs progrès et leur avancement (dans le but de l'auto régulation).

Quatrièmement, en ce qui concerne les indicateurs calculés, chaque travail calcule les indicateurs sur un individu différent. Dans les travaux de ((Reffay et Lancieri, 2006), (Barros et Verdejo, 2000) et (Djouad, 2011)), le calcul des indicateurs se fait sur un groupe d'apprenants (les échanges entre les individus, les échanges par catégorie, postage/lecture des messages sur le forum, etc.). Pour le travail de (Zhang et al., 2007), les auteurs ont calculé les indicateurs d'interaction des apprenants avec le contenu du cours. Tandis que May et ses collègues (May et al., 2009) font le calcul en se basant sur les traces de lecture des messages sur un forum de discussion.

Finalement, dans tous les travaux présentés, il manque la fonctionnalité d'enrichissement pour donner une sémantique à la trace en vue de calculer des indicateurs qui contiennent des informations pertinentes à l'interprétation.

Les traces d'apprentissage sont utilisées dans plusieurs domaines : analyse et assistance des situations d'apprentissage, ingénierie/réingénierie des dispositifs d'apprentissage aussi dans l'adaptation/personnalisation des EIAH. Dans la section suivante, nous présentons les travaux existants sur l'utilisation des traces.

7. Exploitation des traces

Il existe plusieurs travaux qui ont été faits sur l'utilisation des traces dans les environnements informatiques d'apprentissage humain. Les traces ont été exploitées pour différents objectifs, nous citons quelques-uns dans ce qui suit.

Bousbia (2011a) a proposé une approche pour calculer des indicateurs à partir des traces de navigation des apprenants dans un environnement de formation. L'objectif est de fournir aux enseignants une perception du comportement de leurs apprenants et identifier leurs styles d'apprentissage. Dans un autre travail, Heraud et ses collègues (Heraud et al., 2004) proposent un projet de recherche « Pixed », qui utilise des logs d'interaction des apprenants qui sont réunis comme des épisodes d'apprentissage pour fournir une aide aux apprenants qui essaient de retrouver leur chemin d'apprentissage. Il sert à décrire une session d'apprentissage, un moyen de tracer les interactions des apprenants et de les décomposer en épisodes d'apprentissage afin de les aider, en lui fournissant un lien adapté à la structure du cours. Dans

le cadre d'activités d'écriture collective, Leperrousez (2006) propose un outil TACSI qui permet à un tuteur d'activité collective d'assurer un suivi individualisé aux apprenants. Cet environnement permet au tuteur d'assurer trois types d'activité : la perception des activités individuelles et collectives, la gestion de sa propre activité de suivi ainsi que l'animation de l'activité collective. Autrement, Guéraud et ses collègues (Guéraud et al., 2007) s'intéressent à suivre les activités des apprenants dans une formation ouverte à distance (FOAD). Le but de ce travail est d'assister le tuteur pour suivre les activités des apprenants à travers la proposition des scénarios pédagogiques. En se basant sur les expériences passées, Ait-Adda et ses collègues (Ait-Adda et al., 2012) proposent une approche qui permet d'observer le comportement de navigation d'un apprenant dans un environnement d'apprentissage, et de prévoir les prochaines actions à entreprendre en réutilisant des activités de navigation passées (expériences) qui sont similaires à celles du profil de l'apprenant actif.

En utilisant les systèmes multi-agents, Oumaira et ses collègues (Oumaira et al., 2010) proposent SYSAT, qui est un système de supervision des activités des apprenants. L'objectif de SYSAT est de réutiliser les indicateurs (sociaux, cognitifs et affectifs) au sein d'un système adaptatif et ouvert pour aider le tuteur dans le suivi des activités des apprenants et les soutenir dans leurs processus d'apprentissage collaboratif. Un autre outil Tasyn a été développé (Betbeder et al., 2006) pour aider le transcripteur à construire une base de données des actions à partir de la vidéo enregistrée. Il consiste à collecter l'ensemble des traces et les visualiser. Les tuteurs proposent des activités collaboratives sur la négociation d'évaluation des sites web pédagogiques. Les apprenants peuvent parler en temps réel, intervenir dans un clavardage et voir/modifier simultanément les productions textuelles ou graphiques. Loghin (2008) propose une station d'observation qui fait le but de collecteur des traces des étudiants en se basant sur le principe des systèmes multi-agents dont le but est la régulation des activités des apprenants.

Dans les systèmes d'ACAO, Lafifi et ses collègues (Lafifi et al., 2009) proposent un système d'assistance au tuteur SYCATA⁶, qui permet au tuteur de percevoir et suivre la progression des apprenants dans leur parcours et d'intervenir directement en cas de problème. Ils ont utilisé cinq classes de traces (Lafifi et al., 2010b) : Traces d'apprentissage, Traces d'évaluation, Traces de communication, Traces de collaboration et Traces d'utilisation.

⁶Système pour la Collecte et l'Analyse des Traces d'Apprentissage collaboratif

Dans un autre travail, Lafifi et ses collègues (Lafifi et al., 2010a) ont développé un environnement d'enseignement et de tutorat en ligne LETline⁷, qui se compose de deux grandes parties. La première est un sous-système de gestion d'apprentissage, qui met en œuvre un apprentissage par lequel les étudiants sont amenés à construire leurs connaissances. L'autre partie est un sous-système de suivi du tuteur, qui offre principalement tous les outils d'assistance, de capture, d'analyse et de visualisation des traces pour permettre le suivi des étudiants par un tuteur. Un autre travail a été proposé par Kumar et ses collègues (Kumar et al., 2010), où les auteurs ont développé un système qui permet d'analyser le comportement d'apprentissage des apprenants d'une manière autonome et les encourager pour réguler leurs apprentissages. Ce système se base sur le principe des technologies des ontologies, et il permet d'enregistrer toutes les interactions des apprenants pour permettre aux tuteurs de voir leurs processus d'apprentissage.

D'autres chercheurs (Darouich et al., 2013) ont combiné deux techniques (web mining et logique floue) pour offrir un processus de décision qui concerne la motivation des apprenants. Les techniques du web mining ont été utilisées pour analyser les traces de navigation des apprenants et la technique de la logique floue a été utilisée pour mesurer la valeur de motivation des apprenants approximativement. Une autre approche (Bouvier et al., 2013) a été proposée pour identifier et qualifier les engagements des apprenants à partir de leurs traces d'interaction. Aussi, elle offre une analyse de chaque évolution du comportement et une analyse des interactions des apprenants avec le jeu d'apprentissage. Afin de supporter le partage des traces d'activité d'apprenant, Guettat et ses collègues (Guettat et al., 2013) utilisent des différents environnements d'apprentissage simultanément. Un système PBLMS (Project Based Learning Management System) a été développé (Ji et al., 2013) pour offrir aux apprenants des indicateurs afin de supporter l'autorégulation. L'autorégulation permet d'enseigner les apprenants comment réguler leurs activités durant leurs projets en se basant sur les traces d'activité et les traces reportées.

Le tableau suivant exprime une synthèse des travaux d'analyse et de régulation des situations d'apprentissage.

Référence	Système conçu	Plateforme	Objectif	Acteur produisant la trace	Acteur destinataire	Type d'analyse
------------------	----------------------	-------------------	-----------------	-----------------------------------	----------------------------	-----------------------

⁷LEarning and Tutoring on line (Apprentissage et tutorat en ligne)

(Bousbia, 2011a)	IDLS ⁸	/	Analyse en vue d'assistance aux apprenants	Apprenant	Enseignant	Semi-automatique
(Heraud et al., 2004)	Pixed ⁹	/	Recommandation aux apprenants	Apprenant	Système	Automatique
(Leperrousaz, 2006)	TACSI ¹⁰	Moodle	Suivi des groupes de manière synchrone	Groupe d'apprenants	Tuteur	Semi-automatique
(Laffi et al., 2009)	SYCAT A	/	Suivre la progression des apprenants	Apprenant	Tuteur	Semi-automatique
(Guéraud et al., 2007)	Formid	/	Suivi des apprenants	Apprenant	Tuteur	Semi-automatique
(Ait-Adda et al., 2012)	/	/	Aider les apprenants par la réutilisation de leurs expériences passées	Apprenant	Système	Automatique
(Oumaira et al., 2010)	Sysat ¹¹	Sysat	Assistance aux apprenants et aux tuteurs	Apprenant et tuteur	Tuteur	Semi-automatique
(Betbeder et al., 2006)	Copéas ¹²	Lyceum	Perception des activités des apprenants	Apprenant	tuteur	Automatique
(Loghin, 2008)	/	/	Réguler les activités des apprenants	Apprenant	Système	Automatique
(Laffi et al., 2010a)	LETline	/	Assistance des apprenants en analysant et visualisant leurs traces	Apprenant	Tuteur	Semi-automatique
(Kumar et al., 2010)	/	/	Encourager les apprenants pour réguler leurs situations d'apprentissage	Apprenant	Système	Automatique

⁸ Indicators for the Detection of the Learning Styles (Indicateurs pour la détection des styles d'apprentissage)

⁹ Project Integrating eXperience in Distance Learning (Projet intégrant des expériences dans l'enseignement en ligne)

¹⁰ Tuteur d'Activité Collective d'assurer un Suivi Individualisé des apprenants

¹¹ Système pour le Soutien des apprenants et des tuteurs

¹² Communication Pédagogique en environnement orienté Audio Synchrone

(Darouich et al., 2013)	/	/	Mesurer la motivation des apprenants en se basant sur leurs traces	Apprenant	Système	Automatique
(Bouvier et al., 2013)	/	/	Extraire des informations de haut niveau à partir des traces d'interaction	Apprenant	Système	Automatique
(Guettat et al., 2013)	/	Claroline et Moodle	Gestion des informations des apprenants	Apprenant	Système	Automatique
(Ji et al., 2013)	PBLMS	/	Autorégulation des activités des apprenants	Apprenant	Tuteur	Semi-automatique

Tableau 2.3. Synthèse des travaux d'analyse et de régulation des situations d'apprentissage.

– Discussion sur les travaux de l'analyse et de la régulation des situations d'apprentissage:

Nous avons constaté premièrement que tous les travaux ci-dessus ont un même but général qui vise à aider, assister, recommander et suivre les différents acteurs d'apprentissage mais de différentes façons. Deuxièmement, le tuteur est l'acteur destinataire dans sept travaux ((Leperroux, 2006), (Guéraud et al., 2007), (Oumaira et al., 2010), (Betbeder et al., 2006), (Lafifi et al., 2009), (Lafifi et al., 2010a) et (Ji et al., 2013)). Dans sept travaux ((Heraud et al., 2004), (Ait-Adda et al., 2012), (Loghin, 2008), (Kumar et al., 2010) (Darouich et al., 2013), (Bouvier et al., 2013) et (Guettat et al., 2013)) les traces sont traitées automatiquement par le système et dans le travail ((Bousbia, 2011a) l'enseignant est l'acteur destinataire.

Finalement, l'analyse et l'assistance des situations d'apprentissage dans la majorité des travaux se font d'une façon semi-automatique (les systèmes analysent les traces et les acteurs assistent les apprenants) sauf les travaux ((Heraud et al., 2004), (Ait-Adda et al., 2012) et (Kumar et al., 2010)) où le système prend en charge les deux travaux en même temps :analyse et assistance. Dans le travail de (Ait-Adda et al., 2012), il manque l'aspect temporel. En effet, les auteurs comparent deux scénarios en utilisant des graphes (chaque nœud présente une page consultée par l'apprenant et les liens présentent le parcours effectué en naviguant entre des pages).

8. Visualisation des traces pour comprendre les situations d'apprentissage

Après la collecte et l'exploitation, vient l'étape de la visualisation des traces enregistrées dans la base de données. La visualisation est une présentation visuelle sur un écran sous forme d'image alphanumérique ou graphique, d'un ensemble d'informations traitées par des moyens informatiques¹³.

Il existe plusieurs travaux qui ont été faits sur la visualisation des traces. Mazza et Dimitrova (2004) présentent un système CourseVis qui est un outil de visualisation des traces obtenues de la plateforme WebCT. Ils transforment les données à une forme analysable et génèrent des représentations graphiques en trois dimensions (sociale, comportementale et cognitive) qui pouvant être explorées et manipulées par les tuteurs. Aussi, la visualisation est précédée par quelques traitements (Mazza et Dimitrova, 2003): sélection des données pertinentes à partir du fichier XML, transformation des données dans un format intermédiaire, transformation des traces intermédiaires en des primitives géométriques et visualisation de la transformation en générant une image par l'utilisation des primitives géométriques.

Dans un autre travail, Sehaba et Mailles-Viard (2011) proposent une approche qui permet la visualisation des profils et des traces d'apprentissage des apprenants. La visualisation permet au concepteur l'adaptation du scénario, au tuteur d'assister les apprenants, aux apprenants l'utilisation de la plateforme et aux enseignants de mettre à jour du contenu du cours.

Dans le cadre des EIAH, France et ses collègues (France et al., 2007) présentent une interface de visualisation des traces qui permet au tuteur d'observer et d'adapter l'activité d'un groupe d'apprenants. Ces auteurs ont développé ClassroomVis qui offre un double intérêt : contrôler la situation d'apprentissage et offrir une interaction dynamique avec les apprenants.

En utilisant les traces d'activité, Clauzel et ses collègues (Clauzel et al., 2011) proposent un outil et un modèle permettant de représenter, transformer, partager et visualiser les traces des expériences des utilisateurs. Les traces présentent les activités collaboratives synchrones de l'utilisateur lors de l'interaction avec la plateforme d'apprentissage.

Après la collecte des traces, plusieurs traitements peuvent être faits sur ces traces collectées avant d'être visualisées (sélection, fusion, filtrage). Les modalités de visualisation pour présenter les traces des utilisateurs sont (Clauzel et al., 2011) la forme et la couleur.

¹³Définition du dictionnaire Larousse

Un autre travail de recherche a été fait dans le cadre du projet Elycée¹⁴ (Cram, 2007). Ce dernier permet la visualisation des traces issues de la plateforme de collaboration (eMediatheque). Selon le concepteur du projet, « la *trace première*¹⁵ écoute les interactions entre l'utilisateur et le système. À chaque nouvelle interaction, elle construit un observé à partir des éléments caractérisant l'interaction et ajoute cet observé à sa liste d'observés. Le transformateur qui écoute la trace première est notifié. Il parcourt la trace première et si la modification est significative pour le modèle de trace métier, le transformateur ajoute un observé à la trace métier. Le visualiseur qui écoute la *trace métier*¹⁶ s'aperçoit du changement et recalcule la trace transformée. L'utilisateur peut ainsi voir la trace transformée à jour et selon la vue de son choix. Si l'utilisateur souhaite agir sur la trace transformée, il modifie l'objet configuration. Le visualiseur qui écoute également l'objet configuration recalcule la trace transformée, qui se répercute à nouveau sur ce que voit l'utilisateur » (Cram, 2007). La trace est représentée par un rectangle sur lequel s'affiche à gauche l'heure de la trace, au milieu leurs propriétés, et à droite les services directement accessibles sur cet observé (suppression des observés et remise en contexte de l'observé).

Dans le contexte des environnements du travail collaboratif, Li et ses collègues (2014) définissent, modélisent et exploitent des différentes traces, particulièrement les traces collaboratives laissées dans l'espace de travail. Ils ont proposé un modèle de la trace collaborative qui vise à analyser les interactions privées des utilisateurs. Aussi, il offre une présentation des traces des utilisateurs afin de les assister lors de leurs processus.

Le Tableau 2.4 présente une synthèse des travaux de la visualisation des traces.

Référence	(Mazza et Dimitrova, 2004)	(Sehaba et Mailles-Viard, 2011)	(France et al., 2007)	(Clauzel et al., 2011)	(Cram, 2007)	(Li et al., 2014)
Système conçu	CourseVis	Virtuel Campus VCIel	ClassroomVis	Prototype	eMediatheque	e-Memora

¹⁴Elycée offre la possibilité aux enfants d'expertises et de perfectionner leur niveau du Français dans des classes virtuelles.

¹⁵Une trace issue de la collecte des interactions faite par le système de collecte

¹⁶Une trace décrite dans le langage de l'utilisateur, et non pas dans le langage du concepteur

Acteur produisant la trace	Apprenant	Apprenant	Apprenant	Apprenant	Apprenant	Utilisateur
Acteur destinataire	Tuteur	Apprenant, tuteur et concepteur	Tuteur	Système	Apprenant et tuteur	Système
Source de trace	Fichier log	Fichier log, consultation des documents, chat et forum	Plusieurs fichiers log	Activités collaboratives synchrones (consultation du forum)	Log issu de la plateforme eMediathèque	Document texte et hyperlien, log du serveur et log du navigateur
Temps de manipulation	Temps réel	Posteriori	Temps réel	Posteriori	Temps réel	Posteriori
Forme de visualisation	Représentation graphique 3D	Courbe	Bulles, figures et liens	Cercle, carré, triangle et couleur	Représentation par des rectangles	Tableaux et des figures

Tableau 2.4. Synthèse des travaux de la visualisation des traces.

- Discussion des travaux de la visualisation des traces:

D'après les données mentionnées dans le tableau précédent, nous avons quelques remarques. Premièrement, les tuteurs sont les acteurs destinataires dans les travaux de (Mazza et Dimitrova, 2004) et (France et al., 2007). Par contre, le système est celui qui gère les traces dans les travaux de ((Clauzel et al., 2011) et (Li et al., 2014)). Dans le travail de (Sehaba et Mailles-Viard, 2011) les acteurs destinataires sont multiples : Apprenants, tuteurs et concepteurs. Enfin, dans le travail de (Cram, 2007) les acteurs destinataires sont les apprenants et les tuteurs.

Deuxièmement, la visualisation des traces se diffère d'un travail à un autre. En effet, (Mazza et Dimitrova, 2004) visualisent les traces comme une représentation graphique 3D, (Sehaba et Mailles-Viard, 2011) visualisent les traces par des courbes, (France et al., 2007) visualisent les traces en utilisant des bulles, des figures et des liens. De leurs côtés, (Clauzel et al., 2011) visualisent les traces par des représentations en utilisant des différentes formes (cercle, carré et triangle) et des différentes couleurs, tandis que Cram (2007) visualise les traces comme une représentation simple sur la plateforme (des rectangles). Enfin, dans le travail de (Li et al., 2014), la visualisation se fait par des textes et des tableaux.

Finalement, la visualisation des traces est une phase très importante dans le processus de gestion des traces, puisqu'elle offre aux acteurs d'apprentissage une assistance pour évoluer dans leurs activités.

Dans tous les travaux présentés ci-dessus, il manque l'aspect sémantique des traces. En d'autres termes, ces traces montrent ou visualisent uniquement les actions effectuées par les apprenants sans donner plus d'information. C'est l'enseignant ou le tuteur qui doit interpréter tout seul ces actions, pour vérifier par exemple qu'un apprenant n'a pas accédé au système depuis longtemps ou il a échoué dans un test de connaissances plusieurs fois, ou encore ne collabore pas avec ses collègues. Afin de savoir ces informations, il faut ajouter une fonction d'interprétation automatique des traces.

9. Récapitulatif des travaux de recherche à base de traces

Le Tableau 2.5 présente un récapitulatif des travaux menés sur les traces que nous avons lu selon cinq critères : l'acteur produisant la trace, l'acteur destinataire, le temps de manipulation, la visualisation et l'interprétation.

des Exploitation traces	Référence	Acteur produisant la trace				Acteur destinataire		Temps de manipulation		Visualisation		Interprétation	
		Apprenant	Tuteur	Enseignant	Concepteur	Système	Acteur humain	Temps réel	Posteriori	avec	sans	avec	sans
Calcul des indicateurs	(Mazza et Milani, 2005)	x					x		x	x			x
	(May et al., 2009)	x	x	x		x		x	x	x			x
	(Reffay et Lancieri, 2006)		x				x		x		x		
	(Zhang et al., 2007)	x					x		x	x			x
	(Barros et Verdejo, 2000)	x				x			x		x		x
	(Djouad, 2011)	x					x		x	x			x
Analyse et régulation des situations d'apprentissage	(Bousbia, 2011a)	x					x		x		x		x
	(Heraud et al., 2004)	x				x			x		x		x
	(Leperrousaz, 2006)	x					x		x		x		x
	(Lafifi et al., 2009)	x					x		x	x			x
	(Guéraud et al., 2007)	x					x		x		x		x
	(Ait-Adda et al., 2012)	x				x		x			x		x
	(Oumaira et al., 2010)	x					x		x		x		x
	(Betbeder et al., 2006)	x					x	x			x		x
	(Loghin, 2008)	x				x		x			x		x
	(Lafifi et al., 2010a)	x					x	x		x			x
	(Kumar et al., 2010)	x				x		x			x		x
	(Darouich et al., 2013)	x				x			x		x		x
	(Bouvier et al., 2013)	x				x			x		x		x
	(Guettat et al, 2013)	x				x			x		x		x
(Ji et al., 2013)	x					x		x		x		x	
Ingénierie/Réingénierie des dispositifs d'apprentissage	(Barré et Choquet, 2005)	x					x		x		x		x
	(Luengo et al., 2006)	x				x		x			x		x
	(DIAGNE, 2009)	x					x		x		x		x
	(Champin, 2003)	x					x		x		x		x
	(Morris et al., 2005)	x				x			x		x		x
	(Hussaan et al., 2011)	x				x			x		x		x
/ des Adaptation personnalisation EIAH	(Ait-Adda, 2008)	x					x		x		x		x
	(Hussaan, 2010)	x				x		x	x		x		x
	(Settouti, 2011)	x			x	x			x	x			x
	(Guettat et al., 2010)	x	x	x	x	x		x		x			x
	(Chu et al., 2011)	x					x	x		x			x
	(Lefevre, 2009)	x					x		x	x			x
Visualisation des traces	(Mazza et Dimitrova, 2004)	x					x	x		x			x
	(Sehaba et Mailles-Viard, 2011)	x					x		x	x			x
	(France et al., 2007)	x					x	x		x			x
	(Clauzel et al., 2011)	x				x			x	x			x
	(Cram, 2007)	x					x	x		x			x
	(Li et al., 2014)	x	x	x		x			x	x			x

Tableau 2.5. Récapitulatif des travaux à base de traces.

	Critère	Pourcentage
Acteur produisant la trace	Apprenant	87,18 %
	Tuteur	2,56 %
	Enseignant	0,00 %
	Concepteur	0,00 %
	Apprenant, tuteur et enseignant	5,13 %
	Enseignant, apprenant, tuteur et concepteur	2,56 %
	Apprenant et concepteur	2,56 %
Acteur destinataire	Système	43,59 %
	Acteur humain	56,41 %
Temps de manipulation	Temps réel	28,21 %
	Posteriori	66,67 %
	Temps réel et posteriori	5,13 %
Visualisation	Avec	41,03 %
	Sans	58,97 %
Interprétation	Avec	0,00 %
	Sans	100,00 %

Tableau 2.6. Pourcentage des travaux pour chaque critère.

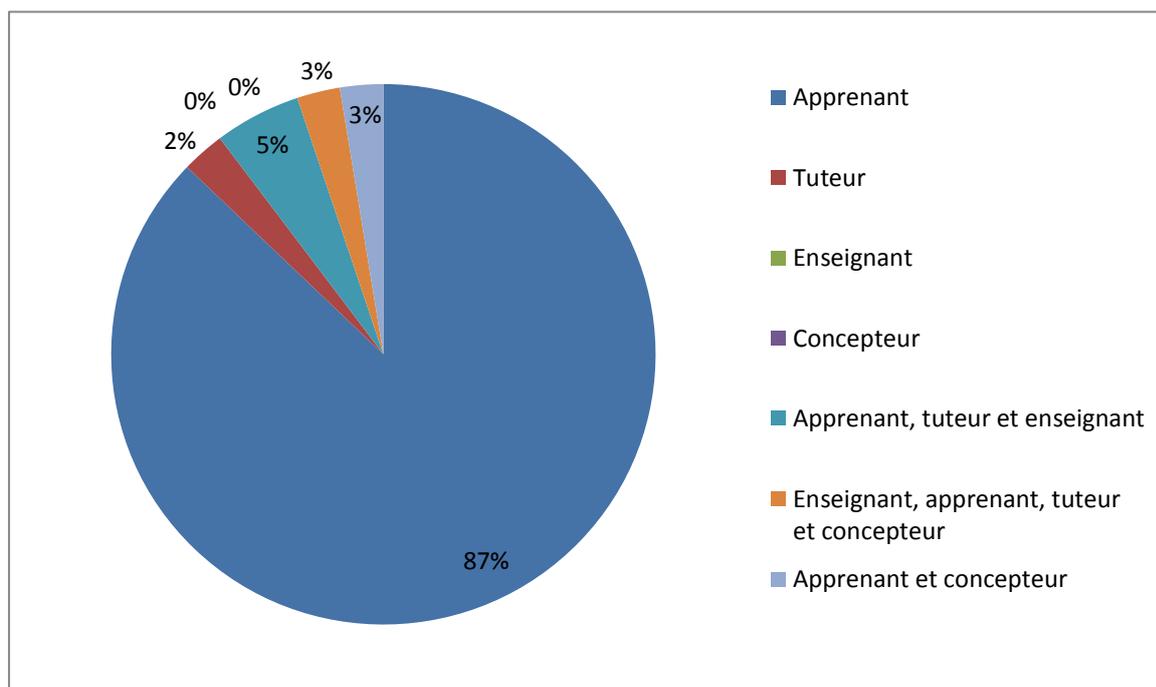


Figure 2.1. Représentation graphique de la distribution des travaux selon l'acteur produisant la trace.

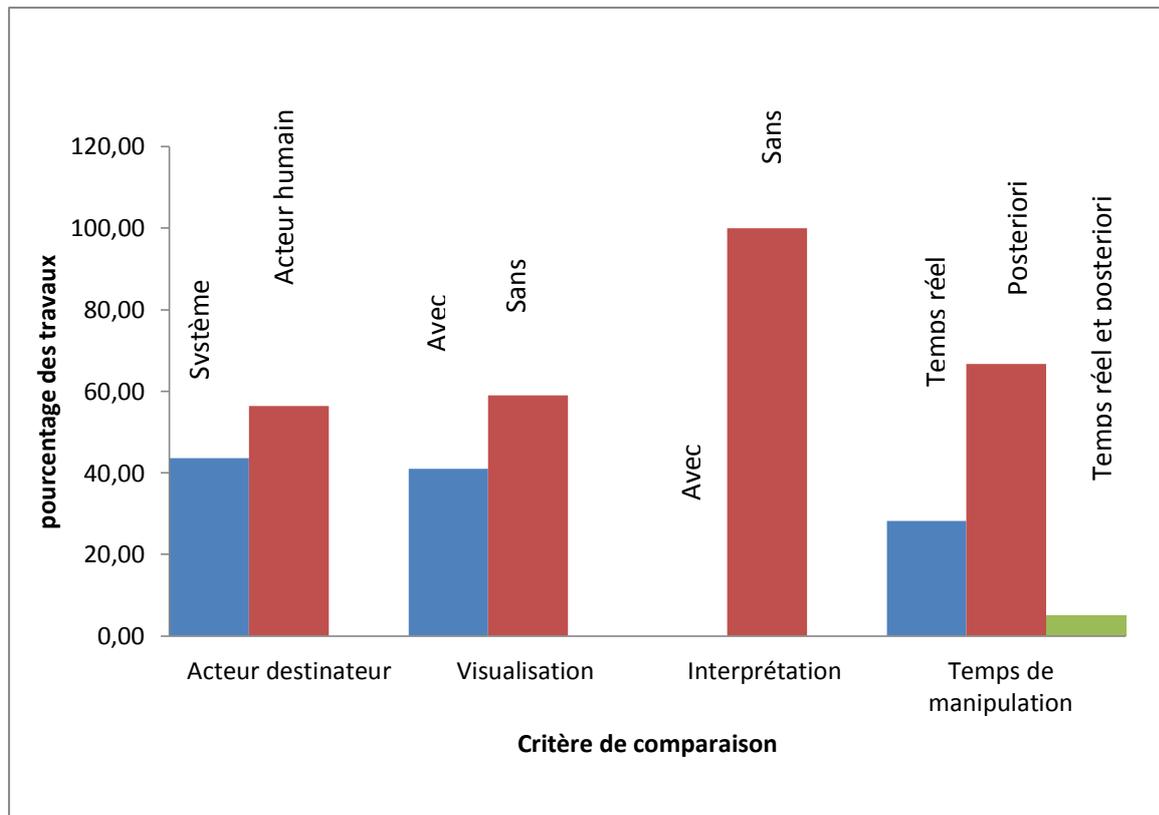


Figure 2.2. Représentation graphique de la distribution des travaux selon quatre critères (acteur destinataire, temps de manipulation, visualisation et interprétation).

D'après le Tableau 2.5 et d'après les deux figures (Figure 2.1 et Figure 2.2) qui synthétisent le Tableau 2.6, nous remarquons que dans ces travaux manquent quelques aspects. Premièrement, l'acteur produisant la trace est toujours l'apprenant (87,18 % des travaux sont concentrés sur la collecte des traces des apprenants seulement). Aussi, nous remarquons qu'il manque les travaux qui exploitent les traces des autres acteurs (l'enseignant, le tuteur et le concepteur).

Deuxièmement, dans 56,41 % des travaux présentés ci-dessus, l'acteur humain (généralement le tuteur) est celui qui analyse et assiste les apprenants en même temps ce qui rend difficile la tâche d'apprentissage de l'apprenant dans le cas du besoin d'aide. Tandis que dans 43,59 % des travaux, c'est le système qui est responsable de l'analyse des traces.

Troisièmement, il existe un nombre important de travaux (58,97 %) qui n'offrent pas une visualisation des traces. Même les travaux qui visualisent les traces, ils les visualisent uniquement aux tuteurs pour les aider dans leurs tâches. Alors, il manque dans les recherches décrites ci-dessus des travaux où le système offre une visualisation aux apprenants eux-

mêmes sachant que les outils de visualisation sont indispensables dans les environnements d'apprentissage collaboratif. Quatrièmement, 28,21 % des travaux font la manipulation des traces en temps réel tandis que 66,67 % des travaux font la manipulation des traces après la situation d'apprentissage, ce qui rend la tâche d'apprentissage un peu difficile en cas de besoin des apprenants ou bien dans le cas où les apprenants continuent leurs parcours en suivant une mauvaise suite d'actions. Nous savons que dans les environnements d'apprentissage humain, l'analyse et la manipulation des activités et des interactions entre les acteurs d'une situation d'apprentissage en temps réel sont très importantes pour progresser, assister, réguler, suivre ou plutôt animer les situations d'apprentissage.

Finalement, il n'y a pas de travaux qui offrent une interprétation directe de la visualisation des traces ce qui a introduit des difficultés aux apprenants où ils ne comprennent pas ce qui indique les représentations graphiques.

10. Interprétation des traces

10.1. Définition de l'interprétation

La définition du terme « interprétation » diffère d'un domaine à un autre. Nous découvrons en premier lieu le terme interprétation selon le dictionnaire Larousse où une interprétation est le fait d' « expliquer un texte et de lui donner un sens » où bien c'est « l'action ou la manière d'interpréter un fait ou un comportement ». Autrement, Daele et Berthiaume (2011) définissent l'interprétation comme « une analyse de la production des étudiants et une attribution d'une valeur aux traces d'apprentissage qu'ils/elles ont fournies ». Une autre définition a été donnée par Lund et Mille (2009) où ils considèrent que le terme d'interprétation permet « de fournir une sémantique formelle à une description symbolique ».

10.2. Travaux liés à l'interprétation des traces

Après notre lecture des travaux traitant les traces, nous avons trouvé peu de travaux qui interprètent les traces. Le premier travail trouvé est celui de Cheype (2006) qui interprète les traces des apprenants dont l'objectif est de détecter si la trace est une suite d'actions qui ont tendance à mener à la réussite ou à l'échec d'un exercice. Cette approche sert à calculer des indices en s'appuyant sur des techniques de fouille de données temporelles. Dans un autre contexte de travail, Heraud et ses collègues (Heraud et al., 2005) proposent une approche qui vise à comprendre le comportement des apprenants et améliorer les scénarios pédagogiques

par une interprétation de ses traces d'activités (utilisation des cours ou du forum pendant la résolution d'une série d'exercices). Dans un autre travail, Besnaci (2012) a proposé une approche d'interprétation et d'extraction des indicateurs à partir des traces d'interaction aidant le contrôle pédagogique. Cette interprétation vise à détecter des patterns d'objets et applique un processus d'appariement pour détecter d'éventuels épisodes plus compréhensibles et dans le travail de (Heraud et al., 2005) le comportement des apprenants a été interprété à partir de leurs traces pour l'amélioration des scénarios pédagogiques.

11. Conclusion

Les traces d'apprentissage n'ont pas une seule définition. En effet, chaque chercheur définit la trace selon son rôle et son utilisation dans chaque domaine de recherche. Cette hétérogénéité de définition cause l'apparition de plusieurs types de traces : trace d'activité, trace d'observation, trace d'utilisation, trace de navigation, trace d'interaction, trace modélisée... etc.

Le processus général de la gestion de traces est composé de trois parties : collecte, structuration et exploitation. L'exploitation des traces résout différents problèmes en élaborant :

- Des systèmes d'analyse et d'assistance aux situations d'apprentissage qui visent à analyser les interactions entre les apprenants afin de connaître le contenu des échanges et leurs natures. Cette analyse permet au tuteur de savoir les impasses dans le fonctionnement de chaque groupe d'apprenants, de suivre la progression du profil comportemental de chaque participant et/ou de chaque groupe, de motiver les apprenants isolés, etc. Tout cela permet d'adapter les interventions des tuteurs auprès des apprenants et/ou des groupes.
- Des systèmes d'ingénierie/réingénierie des dispositifs d'apprentissage selon les besoins et les préférences des utilisateurs afin d'améliorer leurs qualités. Ces systèmes permettent d'agir directement sur la conception des environnements d'apprentissage pour les rendre réellement proches aux besoins des utilisateurs.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions de base des traces. Ensuite, nous avons décrit les travaux liés à la modélisation des indicateurs, le calcul des indicateurs,

l'exploitation des traces et l'interprétation des traces. Finalement, nous avons présenté notre synthèse des travaux étudiés.

L'objectif de notre travail est d'interpréter les traces d'apprentissage. Avant de l'effectuer, une étape de filtrage est nécessaire. Plusieurs techniques ont été proposées pour effectuer cette tâche. Parmi ces techniques, les systèmes immunitaires artificiels qui font l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3 :

Les systèmes immunitaires artificiels

1. Introduction

Le natural computing (ou informatique naturelle) se réfère à l'étude des systèmes informatiques qui utilisent des idées inspirées des systèmes biologiques, écologiques et physiques pour résoudre des problèmes du monde réel. Ce domaine a trois branches : les systèmes bio-inspirés, la synthèse des phénomènes naturels et les systèmes à base d'éléments naturels (De Castro, 2007). Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'étude des systèmes bio-inspirés et plus précisément les systèmes immunitaires artificiels.

Donc l'objectif est de faire une mise au point sur les systèmes immunitaires artificiels. Nous aborderons tout d'abord l'aspect biologique du système immunitaire. Ensuite, nous verrons quels sont leurs éléments, ainsi que les organes qui le constituent, la discrimination du soi/non-soi et les phases d'une réponse immunitaire. Par la suite, nous définirons les systèmes immunitaires artificiels et nous exposons leurs différents algorithmes. Finalement, nous présentons les différents domaines d'application des systèmes immunitaires artificiels.

2. Systèmes Immunitaires Biologiques (SIB)

2.1. Définition des SIB

Dasgupta (2006) définit les SIB comme un système adaptatif complexe qui a évolué dans les vertébrés pour les protéger contre les microbes pathogènes d'invasion. Afin de réaliser cette tâche, le système immunitaire a évolué la reconnaissance des structures sophistiquées et les mécanismes de réponse suivant de diverses voies différentielles (selon le type d'ennemi, la manière dont il entre dans le corps et les dommages qu'ils causent). Comme résultat, le système immunitaire emploie divers mécanismes de réponse pour détruire l'invasif ou pour neutraliser ses effets (Dasgupta, 2006).

2.2.Types de l'immunité

Le système immunitaire humain est un système complexe et robuste. Classiquement, il est divisé en deux systèmes différents : le système immunitaire inné et le système immunitaire adaptatif (Greensmith et al., 2010a). La Figure 3.1 présente les types de l'immunité.

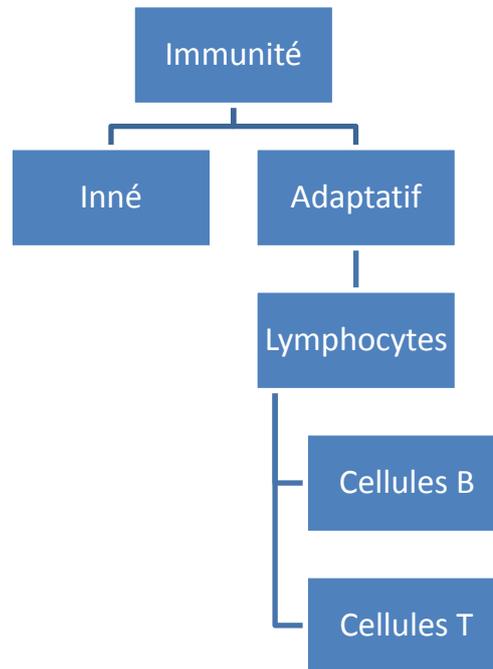


Figure 3.1. Types de systèmes immunitaires (De Castro, 2001).

- a) **Système immunitaire inné (non spécifique, naturel, naïf)** est une immunité élémentaire qui est adaptée seulement à un certain nombre très réduit d'antigènes (Khelil et Benyettoua, 2010). Elle a quatre barrières (Gharbi, 2006a):
- Anatomique : première ligne de défense (peau, muqueuses, etc.).
 - Physiologique : température, pH, médiateurs chimiques.
 - Phagocytaire : macrophages et polynucléaires.
 - Inflammatoire : activité antibactérienne.
- b) **Système immunitaire adaptatif (spécifique, acquise, saisi)** est une immunité à mémoire, qui se développe lors de l'apparition du même antigène dans le même système immunitaire pour la deuxième fois ou plus, et qui engendre le développement et la génération des cellules B mémoires pour ce type d'antigène déjà rencontré dans le système (Khelil et Benyettoua, 2010).

2.3. Organes des SIB

- a) **Organes lymphoïdes primaires ou centraux** : qui sont la **moelle osseuse** et le **thymus** dont la fonction est le développement et la maturation des cellules. Toutes les cellules sanguines proviennent de la moelle osseuse à partir des cellules souches. Ainsi, il va apparaître la cellule progénitrice lymphoïde qui va croître et se différencier pour donner des cellules précurseurs des lymphocytes B et T. Les cellules précurseurs des lymphocytes T quittent la moelle osseuse et vont au thymus, tandis que celles des lymphocytes B restent dans la moelle osseuse où elles continuent leurs maturations (Gharbi, 2006a).
- b) **Organes et tissus lymphoïdes secondaires ou périphériques** : qui sont (Gharbi, 2006a):
- Ganglions lymphatiques.
 - Rate.
 - Tissu lymphoïde associé aux bronches.
 - Amygdales végétations.
 - Ganglions mésentériques.
 - Plaques de Peyer.
 - Tissus lymphoïdes urogénitaux.

2.4. Soi et non-soi

Le système immunitaire est capable de reconnaître et de discriminer le **soi** du **non-soi**. Gohau (1990) définit le **soi** comme « un ensemble de molécules propres à l'individu, constituant son identité immunologique ». Tandis que, le **non-soi** est « l'ensemble des molécules étrangères à l'individu ». Les réponses immunitaires permettent le plus souvent l'élimination de ces molécules étrangères, et contribuent ainsi à maintenir l'intégrité de l'organisme.

2.5. Caractéristiques des systèmes immunitaires

- a) **Identification** : Le système immunitaire a la capacité de reconnaître, identifier et répondre à un vaste nombre de différents modèles d'antigène. En plus, le système immunitaire peut faire la différence entre les cellules de l'individu et les cellules étrangères (Chabane, 2006).
- b) **Extraction de dispositifs** : Par l'utilisation des antigènes de présentation des cellules, le système immunitaire a la capacité d'extraire des dispositifs de l'antigène, avant

d'être présenté à d'autres cellules immunisées, y compris les lymphocytes (Chabane, 2006).

- c) **Apprentissage** : Le mécanisme de l'hypermutation somatique suivi d'un mécanisme de sélection permet également au système immunitaire d'améliorer sa réponse à un microbe pathogène envahissant le corps. Ce processus est nommé la maturation d'affinité. Cette dernière garantit que le système immunitaire améliore sa tâche d'identifier les modèles d'antigène pour que la réponse soit plus rapide (Chabane, 2006).
- d) **Mémoire** : Après une réaction immunitaire à un antigène donné, quelques ensembles de cellules et molécules seront dotés d'une grande durée de vie afin de fournir des réactions immunitaires plus rapides et plus puissantes à des futures infections par le même antigène ou à des antigènes semblables (Chabane, 2006).
- e) **Détection distribuée** : Il y a une distribution inhérente dans le système immunitaire. Le contrôle n'est pas centralisé, chaque cellule immunisée est spécifiquement stimulée et répond aux nouveaux antigènes dans n'importe quel endroit (Chabane, 2006).
- f) **Autorégulation** : La dynamique du système immunitaire est que sa population est commandée par des interactions locales, mais pas par un point central de commande. Après qu'une maladie soit combattue avec succès, le système immunitaire revient à son état d'équilibre normal, jusqu'à ce qu'il soit nécessaire de répondre à un autre antigène (Chabane, 2006).
- g) **Métadynamique** : Le système immunitaire crée constamment de nouvelles cellules et molécules, et élimine ceux qui sont trop vieux ou qui ne sont pas d'une grande utilité (Chabane, 2006).

3. Les systèmes immunitaires artificiels (SIA)

3.1. Définition des SIA

Timmis (2000) définit Les SIA comme « des systèmes informatiques basés sur des métaphores du système immunitaire naturel ». Dans une autre définition, De Castro et Timmis (2002) définissent les SIA comme étant « des systèmes adaptatifs, s'inspirant des théories de l'immunologie, ainsi que des fonctions, des principes et des modèles immunitaires, afin d'être

appliqués à la résolution de problèmes » (extrait du (Gharbi, 2006a)). De leur côté, Khelil et ses collègues (Khelil et al., 2008) définissent les SIA dans le domaine de la reconnaissance des formes comme « un modèle qui englobe à la fois, des principes mathématiques et biologiques, car le SIB offre des caractéristiques intéressantes comme la mémorisation et l'apprentissage qui seront utiles dans le domaine de la reconnaissance des formes ».

3.2. Passage du naturel vers l'artificiel

Le passage du système immunitaire naturel vers le système immunitaire artificiel est identifié par quatre étapes essentielles (Greensmith et al., 2010b):

- Observation : le système biologique est exploré par l'expérimentation pratique.
- Modèles : les modèles informatiques sont construits afin d'examiner le système biologique. Puis, les modèles abstraits sont créés à partir des modèles informatiques pour les traduire en algorithmes.
- Algorithmes : les systèmes informatiques sont développés, mis en œuvre et examinés théoriquement, en utilisant les modèles abstraits.
- Applications : les algorithmes développés sont appliqués à des problèmes spécifiques, avec rétroaction vers l'algorithme pour raffinement.

3.3. Algorithmes immunitaires de base

Le système immunitaire humain contient un organe appelé Thymus qui est situé derrière le sternum, qui joue un rôle crucial dans la maturation des cellules T. Après la génération des cellules T, elles migrent vers le Thymus où elles mûrissent. Au cours de cette maturation, toutes les cellules T qui reconnaissent des antigènes du soi sont exclues de la population, c'est le processus de la *sélection négative* (De Castro et Timmis, 2002). Si une cellule B rencontre un antigène du non-soi avec une affinité suffisante, elle prolifère et se différencie en mémoire et des cellules effectrices, c'est le processus de la *sélection clonale*. En revanche, si une cellule B reconnaît un antigène du soi, il pourrait se traduire par la suppression, comme il est proposé par la théorie des *réseaux immunitaires* (De Castro et Timmis, 2002). Il existe aussi un autre algorithme « *cellule dendritique* » inspiré de la théorie de danger qui a été développé par (Greensmith et al. 2005). Les cellules naturelles dendritiques sont des liens entre le système immunitaire inné et adaptatif.

Alors, pour résoudre un problème donné en utilisant la théorie des systèmes immunitaires artificiels, on passe par les étapes suivantes qui sont présentées dans la Figure 3.2 :

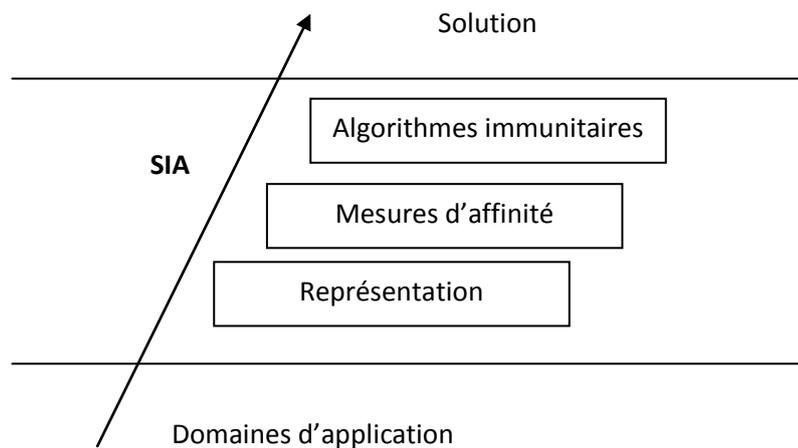


Figure 3.2. Étapes de construction d'une solution d'un problème (Timmis et al., 2008).

Comme il est indiqué sur la Figure 3.2, les étapes de construction d'une solution en utilisant les SIA sont les suivantes :

1. Choisir le domaine d'application selon le problème à résoudre.
2. Choisir une représentation des données.
3. Calculer les mesures d'affinité entre les éléments SIA pour mesurer leurs interactions quantitativement.
4. Sélectionner un algorithme immunitaire pour opérationnaliser les éléments immunitaires du système.

Les deux étapes (2 et 3) seront présentées en détail dans la section 4. Dans la section suivante, chacun des processus de la sélection négative, la sélection clonale, et les réseaux immunitaires sera décrit séparément, ainsi que leurs algorithmes.

3.3.1. Algorithme de la sélection négative

a) L'inspiration biologique

Le thymus est une barrière contre les antigènes du non-soi. Les cellules T présentant un antigène du non-soi sont détruites dans cet organe. Toutes les cellules T sortant du thymus et circulant dans le corps sont dites tolérantes envers le soi (Bendiab, 2011).

L'algorithme de la sélection négative passe par deux phases principales (Bendiab, 2011):

- Phase d'examen (*censoring*) : permet de définir le soi (comme une collection de chaînes S) et générer aléatoirement un ensemble R de détecteurs (en rejetant ceux qui se mettent en correspondance avec S et garder le reste) (voir Figure 3.3).
- Phase de contrôle (*monitoring*) : Surveiller S contre les changements en appariant continuellement l'ensemble des détecteurs R et la collection S. Si un appariement est détecté alors un changement s'est produit, car les détecteurs sont conçus pour ne pas s'apparier à aucune chaîne originale de S (voir Figure 3.3).

La structure générale de l'algorithme de la sélection négative proposée par Forrest et ses collègues est présentée sur la Figure 3.3 et donnée en détail dans l'algorithme 1.

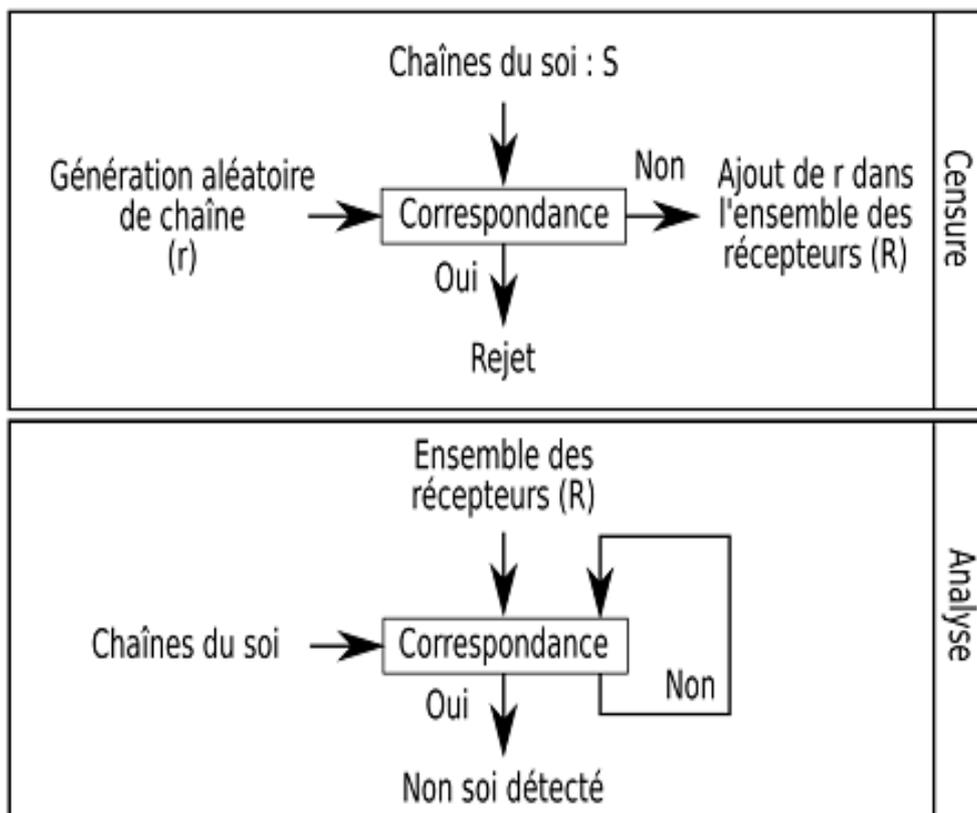


Figure 3.3. Structure générale de l'algorithme de la sélection négative (Gharbi, 2006b).

b) L'algorithme de la sélection négative

Forrest et ses collègues (Forrest et al., 1994) considèrent le système immunitaire comme une source d'inspiration pour la sécurité des ordinateurs, où ils présentent un algorithme qui est basé sur le principe de la sélection négative. L'algorithme est développé pour détecter des

anomalies dans un ensemble de chaînes qui pourraient être changées, faites par des programmes dangereux comme un virus.

**Algorithme 1 : Algorithme de la sélection négative proposé par (Forrest et al., 1994)
(Extrait de (Read et al., 2012))**

Entrée : S = ensemble de chaînes du soi

Sortie : A = flux de chaînes du non-soi détectées

Début

Créer un ensemble vide de chaînes détectrices D

Générer aléatoirement des chaînes R

Pour toutes chaînes aléatoires $r \in R$ **faire**

Pour toutes chaînes du soi $s \in S$ **faire**

Si r correspond à s **alors**

 Jeter r

Sinon

 Placer r dans D

Fin si

Fin pour

Fin pour

Tant que existe des chaînes protégées p à vérifier **faire**

 Rechercher une chaîne à protéger p

Pour toutes chaînes détectrices $d \in D$ **faire**

Si p correspond d **alors**

 Placer p dans A et sortie

Fin si

Fin pour

Fin tant que

Fin.

3.3.2. Algorithme de la sélection clonale

La sélection clonale est une théorie utilisée pour expliquer comment une réponse immunitaire est activée lorsqu'une cellule B reconnaît la forme d'un antigène du non-soi (Artigues, 2009a).

La sélection clonale passe par deux étapes (Artigues, 2009a):

a) *Première réponse :*

- produire une population de cellules B qui possèdent à leur surface, des récepteurs d'antigènes (anticorps).

- Clonage : seuls les anticorps obtenant un seuil d'affinité suffisant entre un anticorps et un antigène seront dupliqués.
- Produire une population de cellules B suffisamment conséquente pour éliminer l'antigène. Au cours de cette reproduction, les cellules sélectionnées seront soumises à un processus de mutation afin que les récepteurs obtiennent une meilleure affinité avec l'antigène.

b) *Seconde réponse* : Certaines des cellules ayant les plus grandes affinités avec l'antigène deviendront des cellules mémoires dans le cas où le système rencontre le même antigène, la création d'anticorps adaptés soit plus rapide.

De Castro et Von Zuben (2002) présentent un algorithme appelé CLONALG, qui est basé sur la sélection clonale, cet algorithme passe par les étapes suivantes (Bendiab, 2011):

- Génération d'un ensemble des anticorps aléatoirement.
- Sélection et clonage des anticorps à forte affinité.
- Maturation et resélection des clones proportionnellement à leur affinité antigénique.
- Remplacement des cellules à faible affinité par des nouvelles cellules.

La structure générale de l'algorithme de la sélection clonale est illustrée sur la Figure 3.4.

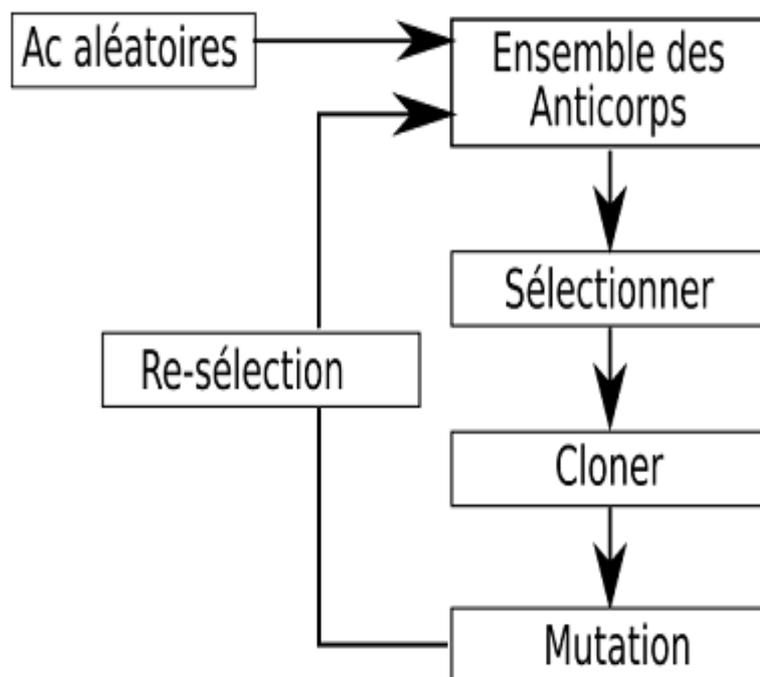


Figure 3.4. Structure générale de l'algorithme de la sélection clonale (Gharbi, 2006b).

3.3.3. Algorithme des réseaux immunitaires

Un réseau immunisé artificiel est un modèle informatique bio-inspiré qui emploie des idées et des concepts de la théorie de réseau immunisée principalement l'interaction parmi des cellules B et le processus de clonage. Un réseau immunisé artificiel reçoit comme antigènes d'entrée et renvoie un réseau immunisé composé d'un ensemble de cellules B et de raccords entre eux (Artigues, 2009a). Le procédé du réseau immunitaire est presque le même que celui de la sélection clonale, sauf qu'il existe un mécanisme de suppression qui détruit les cellules qui ont un certain seuil d'affinité entre eux.

De Castro et Von Zuben (2001) ont proposé un modèle basé sur les réseaux immunitaires pour la classification et le filtrage des grandes bases de données. La structure générale de l'algorithme des réseaux immunitaires est illustrée sur la Figure 3.5.

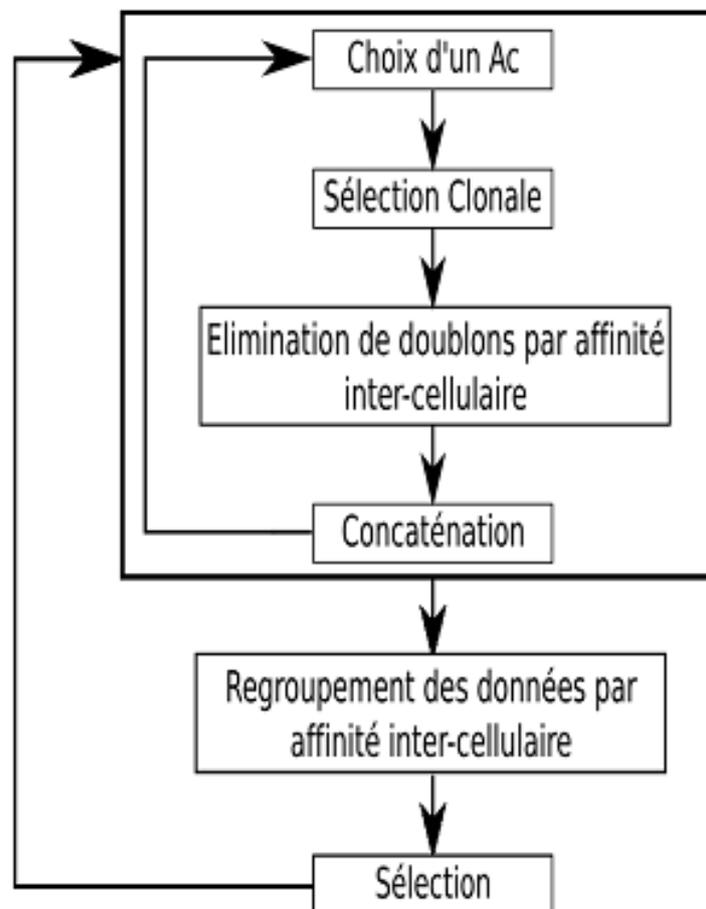


Figure 3.5. Structure générale de l'algorithme des réseaux immunitaires (Gharbi, 2006b).

4. Représentation et calcul d'affinité

L'affinité représente le degré de correspondance entre deux éléments, d'autre façon l'affinité est un moyen quantitatif de description d'affinité entre les cellules et les antigènes. La notion d'espace de forme « shape space » est introduite pour déterminer le degré de correspondance entre la forme de l'antigène et celle du récepteur. Les cellules sont représentées par des vecteurs de dimension où chaque attribut de ce vecteur représente un paramètre de la cellule (Artigues, 2009a).

Il existe deux méthodes pour calculer cette affinité (Artigues, 2009a):

a) La première méthode consiste à calculer la distance entre l'anticorps et l'antigène. Soit $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ les coordonnées de l'anticorps et $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ celles de l'antigène. Il existe trois distances qui peuvent être utilisées pour le calcul d'affinité :

1. La distance euclidienne est calculée de la façon suivante (voir Équation 1):

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \text{ (Équation 1)}$$

2. La distance de Manhattan est calculée de la façon suivante (voir Équation 2):

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \text{ (Équation 2)}$$

3. La distance de Hamming est calculée de la façon suivante (voir Équation 3):

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^n \delta \text{ où } \delta = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i \neq y_i \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \text{ (Équation 3)}$$

b) La seconde méthode est la correspondance r contigus, c'est-à-dire que « deux éléments ont la même longueur de correspondance si au moins r caractères contigus sont identiques ». Dans l'exemple suivant, nous avons deux vecteurs de huit paramètres dont leur valeur est soit 0 ou 1. Le calcul de l'affinité se fait en appliquant un *ou exclusif* entre les deux vecteurs. L'affinité entre ces deux vecteurs est de cinq (voir exemple suivant), car il y a cinq valeurs contigües à 1.

Exemple :

1	1	0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	0

0 1 0 1 1 1 1 1

Affinité en nombre de bits contigus

5. Domaines d'application des SIA

Les applications basées sur les systèmes immunitaires artificiels sont très nombreuses et dans une grande variété de domaines. Cela va de l'apprentissage, jusqu'à la robotique en passant par la détection d'anomalies et la résolution de problèmes complexes (Abdelhadi et al., 2010). Tous les algorithmes (la sélection négative, la sélection clonale et le réseau immunitaire) ne sont pas obligatoirement implémentés dans une seule application. Chacun ayant un rôle bien défini selon le domaine d'application. Nous donnons dans ce qui suit quelques domaines d'application des SIA.

5.1. Reconnaissance des actions

Artigues (2009b) a appliqué les SIA dans le domaine de l'EVAH (les Environnements de réalité Virtuelle pour l'Apprentissage Humain) pour reconnaître les actions à partir des traces d'utilisation.

- Il a utilisé l'algorithme de la sélection clonale où il a représenté le soi par les actions fixées par l'encadrant et le non-soi par celles réalisées par l'apprenant.
- Si l'utilisateur a réalisé une action qui ressemble à une action prédéfinie alors qu'il utilise le bon périphérique et interagit avec les bonnes entités. Une comparaison avec les actions antérieures est faite :
 - Si elles ne sont pas toutes réalisées : l'agent pédagogique demande à l'utilisateur de stopper son action actuelle et d'effectuer celle manquante avant de pouvoir recommencer.
 - Si elles sont toutes réalisées : autre comparaison se fait au niveau des entités cibles (leur localisation, leur état, la valeur des propriétés, etc.).
- Aussi, l'algorithme de la sélection clonale permet d'enregistrer les actions erronées pour obtenir les actions amenant à une erreur, où l'agent pédagogique peut intervenir rapidement dans le cas où l'utilisateur vient de réaliser une mauvaise action.

5.2. Web Mining

Dans le domaine du web mining, Nasir et ses collègues (Nasir et al., 2009) ont développé un système (WMAIS : Web Mining using Artificial Immune System) qui vise à recommander les informations intéressantes et pertinentes sur la politique en Malaisie aux utilisateurs. Le

processus du WMAIS est basé sur la sélection clonale. Le modèle a été réalisé par la création d'une population initiale à partir des URLs et des mots clés. Il fournit comme sortie des URLs pertinentes, listées et classées passant par quelques étapes :

- Calcul d'affinité entre les URLs d'entrée,
- Accéder aux pages web,
- Calcul de leurs affinités,
- Évaluation d'affinité entre les URLs entrées et les pages web.
- Clonage et mutation.

5.3. Extraction des mots clés

Romero et Nino (2007) utilisent les SIA pour l'extraction des mots-clés à partir d'un document ou d'un ensemble des documents. Le système conçu combine deux théories : (1) *le réseau immunitaire* qui est appliqué pour détecter les mots importants dans les documents, et (2) *la théorie de l'information* vise à fournir une description formelle pour le fonctionnement du réseau immunitaire et détermine la quantité d'informations fournies par les anticorps au réseau. Le processus d'exécution passe par quatre étapes (Romero et Nino, 2007) :

1. Un document est pris dans le corpus. Le document est converti en un ensemble d'antigènes, chacun représentant un mot contenu dans le document.
2. Chaque antigène est représenté au réseau immunitaire. Les anticorps se stimulent si leurs mots correspondent à ceux de l'antigène.
3. Les anticorps présents dans le réseau interagissent entre eux pour déterminer une co-stimulation entre eux.
4. Des anticorps ayant les plus faibles valeurs de stimulus sont supprimés du réseau, et celles qui restent dans le réseau correspondront aux mots-clés à la catégorie spécifique.

5.4. Problème du voyageur du commerce

De Castro et Ven Zuben (1999) résout le problème de voyageur du commerce qui consiste à trouver l'ordre des N villes que le voyageur doit visiter en minimisant les coûts, en utilisant la théorie des SIA. Le déroulement de l'application passe par cinq étapes essentielles:

1. Générer une population aléatoire de parcours possibles.
2. Sélectionner les parcours les plus courts.
3. Cloner et muter ces parcours.
4. Ajouter dans la population des parcours aléatoires.
5. Répéter l'opération de sélection.

5.5. Autres applications :

- **Filtrage des spams :** Jain et Agrawal (2014) utilisent les systèmes immunitaires artificiels en combinaison avec la technique de machine à vecteur de support (SVM) pour développer un système de filtrage des spams dans une messagerie électronique.
- **Détection des intrus :** Barani (2014) propose une nouvelle approche basée sur les algorithmes génétiques et les systèmes immunitaires artificiels 'GA AIS' qui vise à détecter les intrusions dynamiquement dans les réseaux ad hoc.
- Optimisation (Gong et al., 2007), Analyse de données, clustering et classification (Timmis, 2000), Sécurité informatique et réseau (Yan et Yu, 2006), Détection d'anomalie ((Sandeep Kumar et al., 2014), (Halvaiee, et Akbari, 2014), (Shamshirband et al., 2014)) et Recommandation (Al-Otaibi et Ykhlef, 2014) et (Chang et al., 2014).

5.6. Synthèse des travaux

Le tableau suivant présente une synthèse de quelques travaux liés à l'utilisation des systèmes immunitaires artificiels (quelque travaux ont été extrait du tableau de Al-enezi et ses collègues (Al-enezi et al., 2010)).

Référence (s)	Objectif	Mécanisme utilisé
(De Castro et Ven Zuben, 1999)	Résolution du problème du voyageur de commerce	Sélection clonale
(Timmis, 2000)	Analyse des données	Réseaux immunitaires
(Neal, 2003)	Analyse des données multidimensionnelles	Réseaux immunitaires
(Gonzales et Canady, 2004)	Détection des anomalies	Sélection négative
(Luh et Lin, 2004)	Un système d'apprentissage pour la navigation des robots mobiles	Réseaux immunitaires
(Cutello et al., 2005)	Résolution du problème d'optimisation continue	Sélection clonale

(Yan et Yu, 2006)	Détection des intrus	Réseaux immunitaires
(Zeng et al., 2007)	Détection des anomalies	Sélection négative
(Romero et Nino, 2007)	Extraction des mots clés à partir d'un document ou d'un ensemble des documents	Réseaux immunitaires
(Huang et Jiao, 2008)	Segmentation non supervisé des images	Réseaux immunitaires
(Zhengbing et al., 2008)	Détection des anomalies	Sélection négative
(Dabrowski et Kubale, 2008)	Résolution du problème de coloration des graphes	Sélection clonale
(Artigues, 2009b)	Reconnaissance des actions à partir des traces d'utilisation	Sélection clonale
(Nasir et al., 2009)	Recommandation des informations pertinentes sur la politique en Malaisie	Sélection clonale
(Parashar et al., 2013)	Détection des intrus dans les réseaux	Sélection négative
(Ou et al., 2013)	Détection des intrus à base d'agent	Théorie des dangers
(Barani, 2014)	Détection des intrus dans les réseaux Ad-hoc	Sélection négative
(Jain et Agrawal, 2014)	Filtrage des spams dans une messagerie électronique	Sélection clonale
(Halvaiee et Akbari, 2014)	Détection des fraudes des cartes de crédit	Sélection négative
(Shamshirband et al., 2014)	Détection des intrus dans les réseaux	Théorie des dangers

Tableau 3.1. Quelques travaux liés à l'utilisation des systèmes immunitaires artificiels.

D'après le Tableau 3.1 synthétisant quelques travaux étudiés, nous remarquons que les techniques des systèmes immunitaires artificiels ont été utilisées dans différents domaines et avec différents objectifs (optimisation, classification, analyse de données, filtrage, etc.). Aussi, nous remarquons que le mécanisme utilisé change d'un travail à un autre. En ce qui concerne les travaux de détection des intrus sont presque tous basés sur le mécanisme de la sélection négative.

6. Conclusion

Le système immunitaire biologique est complexe, mais très puissant. Il peut détecter des différents types de microbes pathogènes, même ceux inconnus. Aussi, grâce à une interaction forte entre tous les différents organes des systèmes immunitaires, les microbes pathogènes

peuvent être détruits. Puisque le système immunitaire biologique a des différents dispositifs très intéressants, un nouveau paradigme d'intelligence artificielle appelé le système immunitaire artificiel est apparu (Ehret et Ultes-Nitsche, 2008).

Afin d'implémenter un algorithme en se basant sur la théorie des systèmes immunitaires artificiels, il faut tout d'abord maîtriser les notions de base des systèmes immunitaires naturels. Puis, modéliser le problème en définissant une représentation des cellules. Ensuite, choisir l'algorithme approprié pour la résolution du problème (sélection négative, sélection clonale ou bien réseau immunitaire).

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'aspect biologique du système immunitaire, ses éléments, les organes qui le constituent, la discrimination du soi/non-soi et les phases d'une réponse immunitaire. Par la suite, nous avons défini les systèmes immunitaires artificiels et leurs différents algorithmes. Finalement, nous avons présenté les différents domaines d'application des systèmes immunitaires artificiels.

Les systèmes d'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur sont un autre domaine d'application de ces systèmes immunitaires artificiels. En effet, les techniques de ces derniers vont être utilisées pour le filtrage des traces des apprenants. Ce filtrage est un processus important dans notre contribution. Toutes nos contributions de recherche feront l'objet du chapitre suivant.

PARTIE 2 :
CONCEPTION, MISE EN
ŒUVRE ET RESULTATS
EXPERIMENTAUX

Chapitre 4 :

Conception d'un système pour l'interprétation des traces

1. Introduction

Nous avons vu dans les chapitres précédents les concepts théoriques sur lesquels nous nous appuyons pour définir les objectifs de ce travail de recherche en fixant des différents domaines d'exploitation des traces. L'utilisation des traces a récemment engendré beaucoup de travaux de recherche notamment dans le contexte des environnements d'apprentissage à distance. Ces traces souffrent de plusieurs problèmes : leur nombre important, filtrage de celles pertinentes, leur interprétation, etc.

Dans ce travail de recherche, notre motivation n'est pas de rajouter un système à base de traces, mais de proposer une nouvelle approche d'interprétation des traces en utilisant les agents conversationnels animés afin de les rendre compréhensibles. Avant d'implémenter cette phase d'interprétation, une étape de filtrage est nécessaire pour minimiser le nombre considérable des traces obtenues. En effet, nous avons utilisé une technique bio-inspirée pour réaliser cette importante tâche. Les traces « pertinentes » obtenues sont exploitées pour réaliser une autre tâche qui est le regroupement dynamique des apprenants. La taille et la composition des groupes d'apprenants constituent des éléments clés des environnements d'apprentissage collaboratif qui est le contexte de cette thèse.

Ces différents objectifs nous ont conduits à effectuer une étude approfondie sur les types des traces des apprenants qui peuvent être une source d'informations utiles. Pour cela, il fallait définir l'environnement d'apprentissage dans lequel nous nous plaçons, pour définir les traces que nous pouvons extraire dans un tel contexte. De ce fait, nous avons utilisé une plateforme existante LETline (Lafifi et al., 2010a).

Dans ce chapitre, nous précisons premièrement la problématique de ce travail de recherche. Par la suite, nous décrivons la contribution majeure de cette thèse. Puis, nous détaillons la description générale de l'approche proposée dans la section suivante. Ensuite, nous décrivons chaque approche indépendamment : (i) Détection et amélioration des mauvais parcours des apprenants, (ii) Interprétation des traces et (iii) Regroupement des apprenants.

2. Problématique de recherche

Dans une plateforme d'apprentissage collaboratif à distance, l'apprenant effectue différentes activités (apprentissage, communication, collaboration, tutorat, etc.) via des différents outils de communication (chat, forum, messagerie électronique, etc.). Après un certain temps d'utilisation de la plateforme, l'apprenant se trouve dans une situation où il ne retient rien de ses expériences passées. Ce problème laisse l'apprenant ne profite pas de ces anciennes actions (fautes, actions réussites, etc.). Alors, pourquoi ne pas garder les activités faites par les apprenants ?

Généralement, ces activités sont appelées « traces brutes ». Si ces dernières sont enregistrées dans la base de données, elles sont dénotées par « traces collectées ». Ces traces peuvent être exploitées dans différents domaines pour aider les apprenants à connaître leurs expériences passées et fournir aux tuteurs une perception sur les états de leurs groupes. Mais, plusieurs problèmes ont été apparus après l'utilisation des traces : (i) le nombre volumineux des traces, (ii) les différentes natures et classes des traces produites par les apprenants et (iii) le manque d'aspect sémantique de ces traces. Plusieurs questions ont été posées :

- Comment collecter et analyser les traces d'apprentissage ?
- Quelles traces à utiliser par le système pour améliorer l'apprentissage ?
- Comment diminuer le nombre volumineux des traces ?
- Est-il possible de construire les parcours des apprenants à partir des traces ?
- Comment les exploiter pour résoudre les problèmes rencontrés par les apprenants et les tuteurs ?
- Et comment rendre ces traces compréhensibles ?

La figure suivante montre la problématique principale de ce travail de recherche.

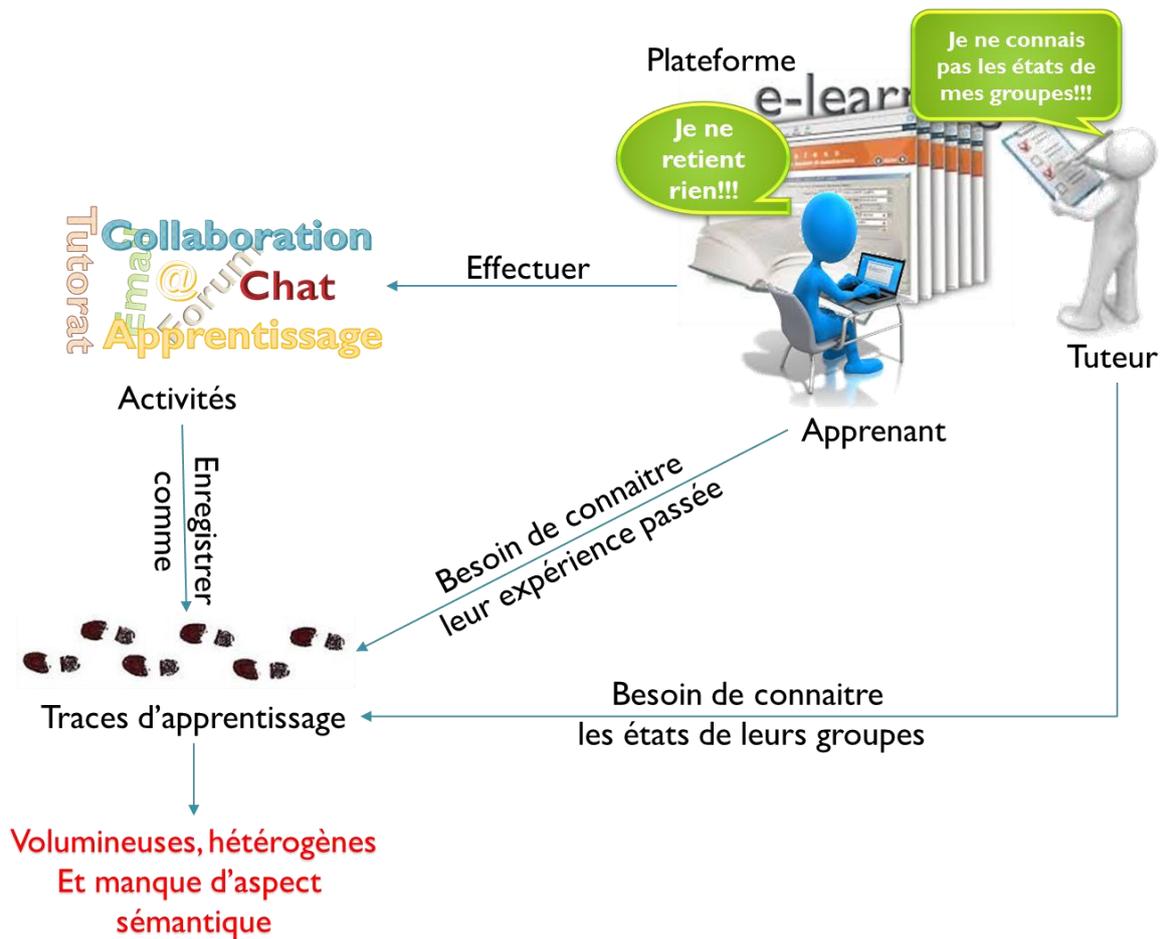


Figure 4.1. Problématique de ce travail de recherche.

3. Contributions majeures de notre recherche

Pour répondre aux questions posées précédemment dans la problématique, nous avons proposé une nouvelle approche pour l'interprétation des traces dans les environnements d'apprentissage collaboratif en utilisant les agents conversationnels animés. Premièrement, une étape de collecte des traces est faite pour enregistrer toutes les activités effectuées par les apprenants lors de leurs processus d'apprentissage. Puis, une étape de transformation est nécessaire pour rendre toutes les traces du même format. Et dans l'étape finale (étape d'exploitation), les traces transformées dans la deuxième étape seront interprétées après une visualisation sous des représentations graphiques. Avant l'étape d'interprétation des traces, une étape de filtrage est importante. Ce filtrage permet de détecter les traces non pertinentes (les mauvais parcours) de ceux pertinentes et les améliorer afin de minimiser le nombre important des traces. D'autre part et afin de valoriser l'apprentissage collaboratif, nous avons proposé une nouvelle méthode de regroupement des apprenants.

De ce fait, nous avons proposé une démarche globale de la solution proposée à la problématique posée (Figure 4.2).

Comme il est indiqué par cette figure et afin de mieux faciliter la lecture du reste de ce manuscrit, les contributions majeures de notre recherche sont les suivantes :

- 1- Proposition d'une nouvelle approche pour le filtrage des traces pertinentes en utilisant les techniques des systèmes immunitaires artificiels.
- 2- Proposition d'un système pour l'interprétation des traces pertinentes en utilisant les agents conversationnels animés.
- 3- Exploitation des traces pertinentes pour le regroupement dynamique des apprenants.

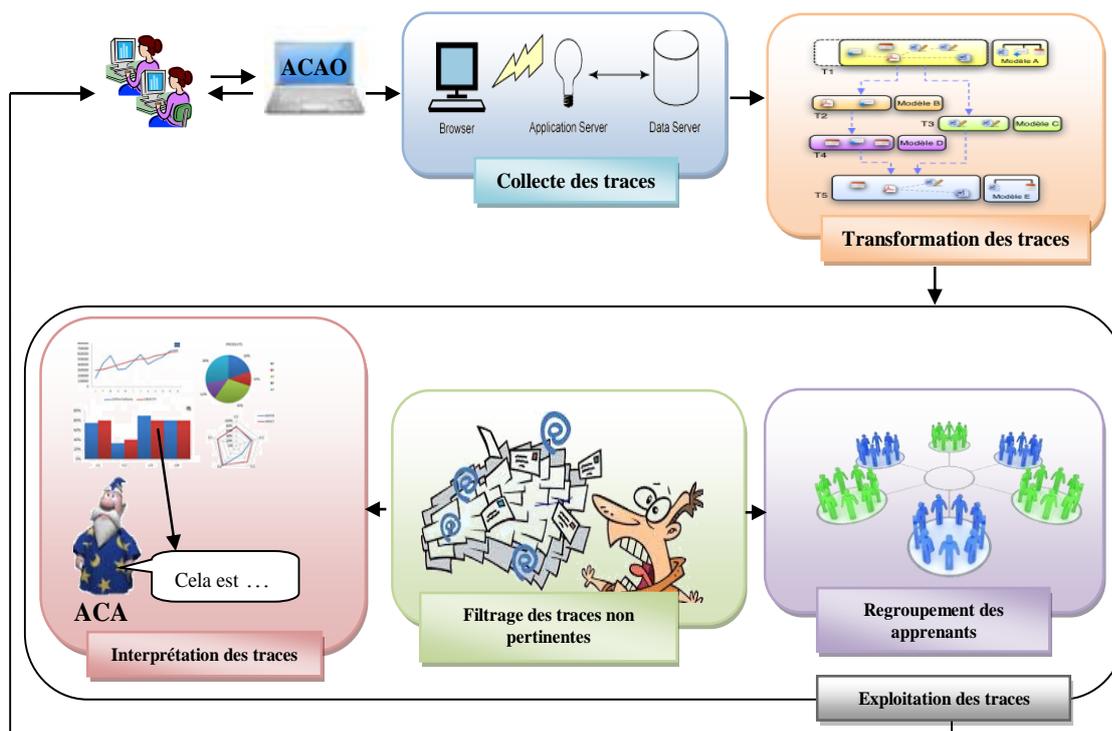


Figure 4.2. Organisation générale des étapes de la solution proposée.

4. Description générale de l'approche proposée

L'architecture de l'approche proposée (Figure 4.3) se compose de trois étapes principales : (1) collecte des traces, (2) transformation des traces et (3) exploitation des traces. Cette dernière prend en compte les phases de filtrage et détection des traces ou parcours pertinents, d'interprétation des traces et de regroupement dynamique des apprenants.

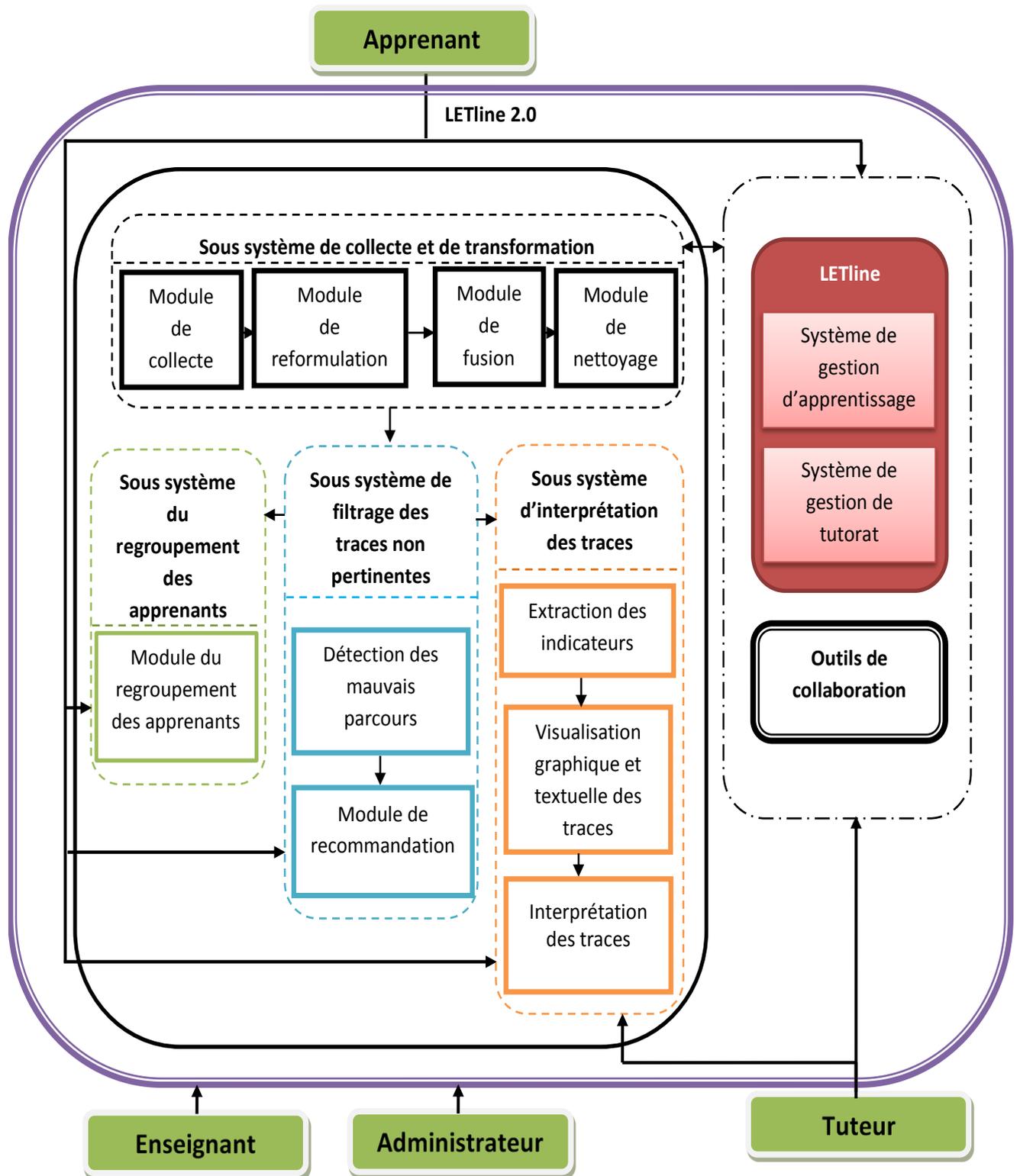


Figure 4.3. Architecture de l'approche proposée.

4.1. Collecte des traces

Cette étape est chargée de collecter toutes les actions faites par les acteurs d'apprentissage pendant et après leurs sessions d'apprentissage en les enregistrant.

Nous avons proposé une nouvelle classification des types de traces, où nous les avons divisées en six classes (figure 4.4):

- 1) *Informations d'identification*: prénom, nom de famille, âge, lieu de naissance et année.
- 2) *Activités*: activités d'apprentissage, évaluation et recherche des objets d'apprentissage.
- 3) *Tutorat* : demandes d'assistance envoyées aux tuteurs.
- 4) *Interaction et collaboration*: assistance, utilisation des outils collaboratifs synchrones/asynchrones et réunion virtuelle.
- 5) *Utilisation*: navigation sur la plateforme et hors la plateforme.
- 6) *Temps de la formation*: durée de la session, présence, temps habituel de la connexion et type de consultation (superficiel, moyen et approfondi).

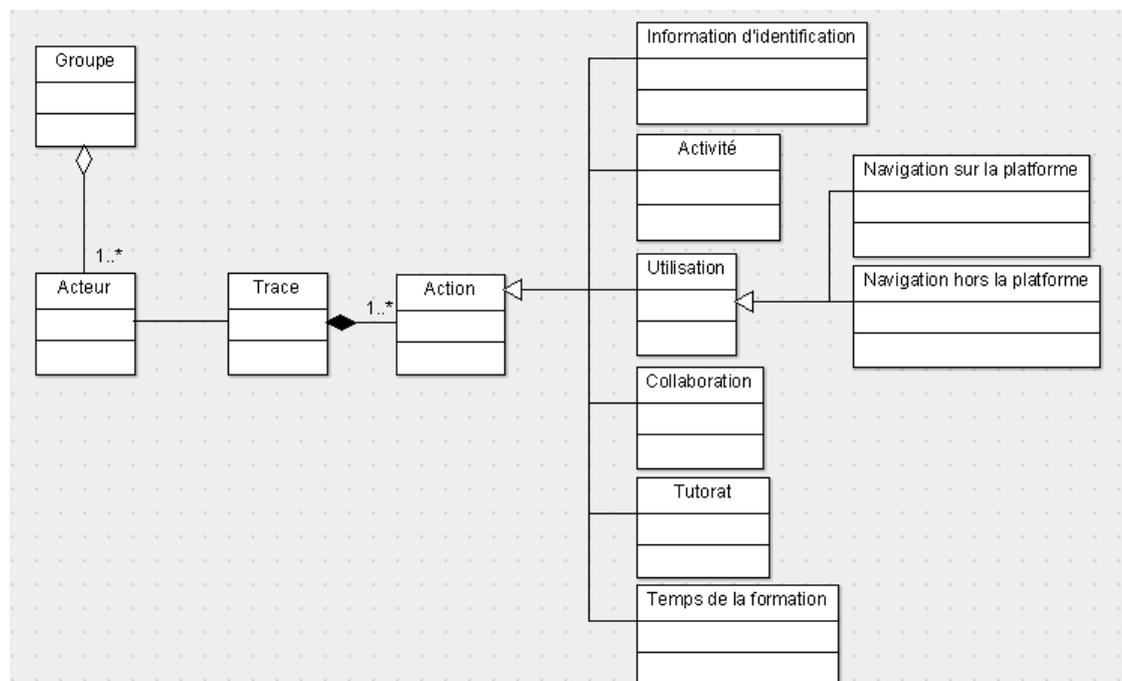


Figure 4.4. Les différentes classes des traces.

4.2. Transformation des traces

Les traces obtenues dans la phase de collecte sont de différents formats et de différents types. Ces dernières passent par plusieurs traitements avant leurs exploitations. En effet, la transformation de traces passe par trois processus : reformulation, fusion et nettoyage.

4.2.1. Reformulation

De l'ensemble de traces générées dans l'étape de collecte, un nouvel ensemble de traces est créé. Ces dernières seront reformulées selon un format que nous avons proposé (Zedadra et Lafifi, 2015). La figure 4.5 présente le format général de la trace.

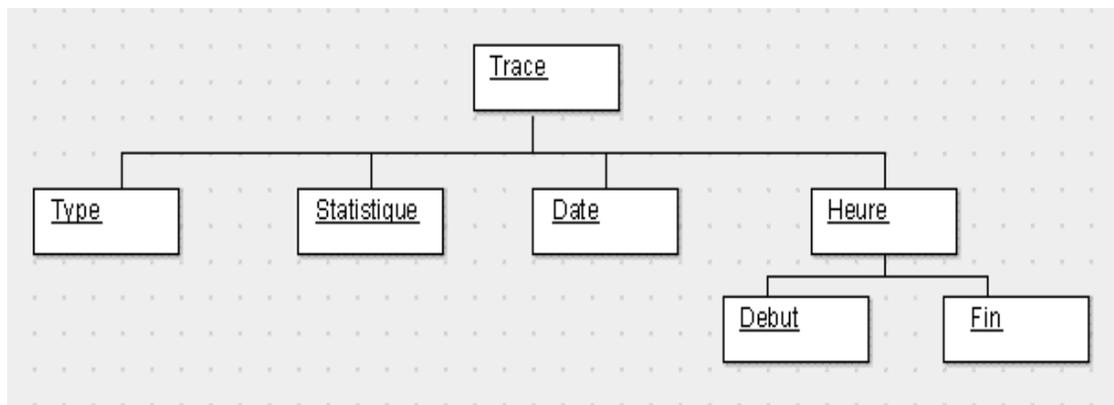


Figure 4.5. Format de la trace (Zedadra et Lafifi, 2015).

Le format de la trace est défini par un modèle de trace. Comme il est donné dans le deuxième chapitre, une trace est une séquence qui contient une série d'actions effectuées par l'utilisateur. Formellement, une trace T est représentée comme suit:

$$T = (A_1, A_2, \dots, A_n).$$

Chaque action A est caractérisée par les 5-uplets suivants:

$$A = (T, N, D, H_D, H_F).$$

T: Type de la trace.

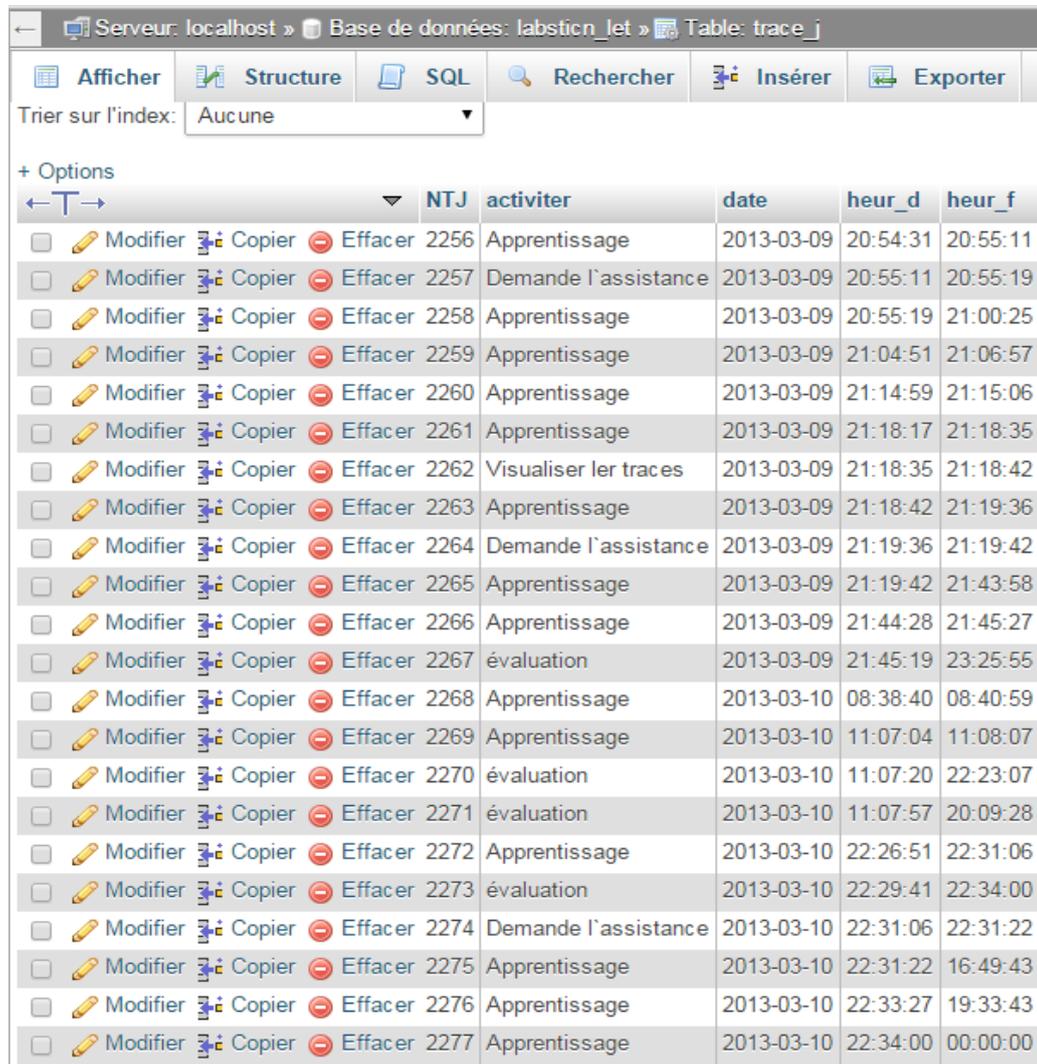
N = nombre de traces.

D: Date de la trace.

H_D : Heure du début de la trace.

H_F : Heure de la fin de la trace.

La figure 4.6 présente une capture montrant le format des traces enregistrées dans la base de données.



		NTJ	activiter	date	heur_d	heur_f
<input type="checkbox"/>	Modifier	2256	Apprentissage	2013-03-09	20:54:31	20:55:11
<input type="checkbox"/>	Modifier	2257	Demande l'assistance	2013-03-09	20:55:11	20:55:19
<input type="checkbox"/>	Modifier	2258	Apprentissage	2013-03-09	20:55:19	21:00:25
<input type="checkbox"/>	Modifier	2259	Apprentissage	2013-03-09	21:04:51	21:06:57
<input type="checkbox"/>	Modifier	2260	Apprentissage	2013-03-09	21:14:59	21:15:06
<input type="checkbox"/>	Modifier	2261	Apprentissage	2013-03-09	21:18:17	21:18:35
<input type="checkbox"/>	Modifier	2262	Visualiser ler traces	2013-03-09	21:18:35	21:18:42
<input type="checkbox"/>	Modifier	2263	Apprentissage	2013-03-09	21:18:42	21:19:36
<input type="checkbox"/>	Modifier	2264	Demande l'assistance	2013-03-09	21:19:36	21:19:42
<input type="checkbox"/>	Modifier	2265	Apprentissage	2013-03-09	21:19:42	21:43:58
<input type="checkbox"/>	Modifier	2266	Apprentissage	2013-03-09	21:44:28	21:45:27
<input type="checkbox"/>	Modifier	2267	évaluation	2013-03-09	21:45:19	23:25:55
<input type="checkbox"/>	Modifier	2268	Apprentissage	2013-03-10	08:38:40	08:40:59
<input type="checkbox"/>	Modifier	2269	Apprentissage	2013-03-10	11:07:04	11:08:07
<input type="checkbox"/>	Modifier	2270	évaluation	2013-03-10	11:07:20	22:23:07
<input type="checkbox"/>	Modifier	2271	évaluation	2013-03-10	11:07:57	20:09:28
<input type="checkbox"/>	Modifier	2272	Apprentissage	2013-03-10	22:26:51	22:31:06
<input type="checkbox"/>	Modifier	2273	évaluation	2013-03-10	22:29:41	22:34:00
<input type="checkbox"/>	Modifier	2274	Demande l'assistance	2013-03-10	22:31:06	22:31:22
<input type="checkbox"/>	Modifier	2275	Apprentissage	2013-03-10	22:31:22	16:49:43
<input type="checkbox"/>	Modifier	2276	Apprentissage	2013-03-10	22:33:27	19:33:43
<input type="checkbox"/>	Modifier	2277	Apprentissage	2013-03-10	22:34:00	00:00:00

Figure 4.6. Exemple du format de la trace.

4.2.2. Fusion

Afin d'obtenir toutes les traces laissées par les apprenants lors de leur utilisation du système, une étape de fusion est proposée. Elle consiste à obtenir la fusion de toutes les traces enregistrées en fonction de leur temps (Figure 4.7).

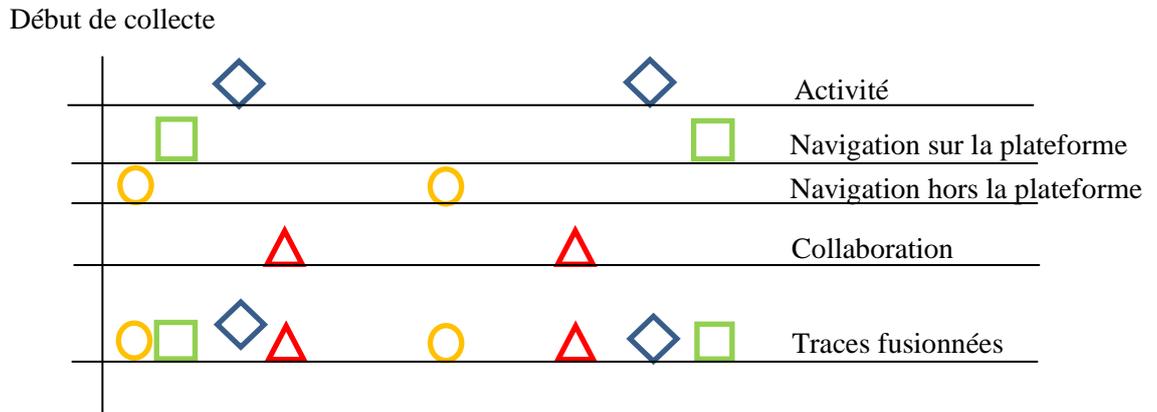


Figure 4.7. Processus de fusion des traces (Zedadra et Lafifi, 2015).

4.2.3. Nettoyage

Pour éliminer le bruit (les fausses réponses du serveur par exemple: page non trouvée, l'erreur 404), un algorithme de nettoyage des traces est proposé (voir l'algorithme 1). Cet algorithme a comme entrée l'ensemble des traces collectées et produit en sortie uniquement les traces à analyser.

Algorithme 1: Nettoyage des traces

Entrée : T = ensemble des traces

NT = les fausses réponses du serveur

Sortie : CT =ensemble des traces nettoyées (Cleaned traces)

Début

Pour toute (trace $t \in T$) **faire**

Pour toute (trace $nt \in NT$) **faire**

Si (t correspond au nt) **alors**

 Ecarter t

Sinon

 Placer t dans CT

Fin si

Fin pour

Fin pour

Fin.

4.3. Exploitation des traces

Après tous les traitements et transformations faits précédemment sur les traces collectées, ces dernières sont maintenant prêtes à être exploitées. En effet, les traces modélisées obtenues sont utilisées pour :

- i. Détection et amélioration des mauvais parcours.

- ii. Interprétation des traces.
- iii. Regroupement des apprenants.

Toutes ces exploitations seront décrites en détail dans la suite de ce chapitre.

5. Détection et amélioration des mauvais parcours en utilisant les techniques des systèmes immunitaires artificiels

La première contribution de ce travail est la proposition d'une approche pour la détection des mauvaises actions ou parcours des apprenants. Pour ce faire, nous avons utilisé les techniques des systèmes immunitaires artificiels vues au chapitre 3 de cette thèse. Donc, l'objectif principal de notre approche est de concevoir un sous-système pour la détection des traces non pertinentes afin de les écarter pendant le processus d'exploitation des traces. Notre effort a consisté à adopter les notions et les principes des systèmes immunitaires naturels. En effet, la première étape pour concevoir un tel système, consiste à chercher l'analogie entre le système réel et celui proposé. L'analogie entre les principes des systèmes immunitaires naturels et le système développé est donnée dans le Tableau 4.1.

Système immunitaire naturel	Système immunitaire artificiel
Soi (anticorps)	Traces pertinentes
Non-soi (antigène)	Traces non pertinentes
Lymphocyte (cellule B et T)	Détecteurs
Détecter les antigènes	Détecter les traces non pertinentes
Tolérisation	Sélection négative
Clonage et mémorisation	Clonage et mise à jour des données du soi

Tableau 4.1. Analogie entre les principes des systèmes immunitaires naturels et le système développé.

Le processus global de la détection des mauvais parcours est présenté dans la figure suivante (Figure 4.8). Cette détection consiste à filtrer les traces non pertinentes de celles pertinentes et les améliorer.

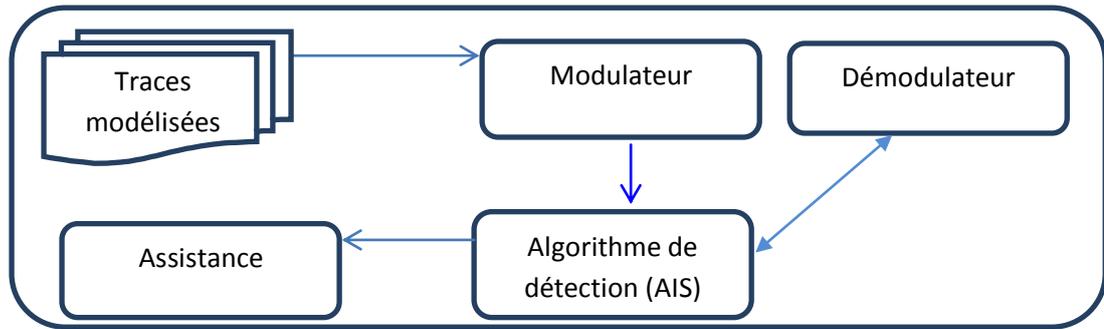


Figure 4.8. Processus de détection des mauvais parcours.

5.1. Modulateur

Avant l'utilisation de l'algorithme de détection des mauvais parcours, un module appelé modulateur est utilisé pour la conversion des traces en scénarios. Ce module prend en entrée un ensemble de traces nettoyées et donne en sortie une nouvelle représentation de cet ensemble. Cette sortie est le format utilisé par le système de détection des mauvais parcours.

L'algorithme du modulateur est donné en Algorithme 2.

Algorithme 2: Modulateur

Entrée : CT= ensemble des traces nettoyées(connexion au système, apprentissage, accès aux objets d'apprentissage, visualisation des ressources, téléchargement des ressources, accès au moteur de recherche, évaluation, accès au test d'évaluation, communication, envoyer un e-mail, recevoir et répondre un e-mail, accès au forum, poser une question dans le forum, poser une réponse au forum, demande d'assistance, recevoir une réponse aux demandes d'assistance, répondre aux demandes d'assistance, visualisation des traces).

Sortie : CTN=CT dans un nouveau format

Début

Pour toute (trace **ct** ∈ CT) **faire**

Si (ct= "Connexion au système") **alors**

ctn="A";

Sinon si (ct="Apprentissage") **alors**

ctn="B";

...

Sinon si (ct="Evaluation") **alors**

ctn="G";

...

Sinon si (ct="Accès au forum") **alors**

ctn="L";

...

Sinon si (ct="Demande d'assistance") **alors**

ctn="O";

...

Fin si
Fin pour
Fin.

La figure suivante présente une interface du déroulement de l'algorithme du modulateur des traces laissées par tous les apprenants de la plateforme. Premièrement, toute trace (une chaîne de caractères) enregistrée dans la base de données sera transformée en un seul caractère. Par exemple, la trace d'utilisation « connexion au système » devient « A ». Après la transformation de toutes les traces, le scénario d'apprentissage de chaque apprenant est généré comme étant une suite de traces (suite de caractères).

	NTR	Type_tr	activite	Date	Heure_c	NACT_et
	2964	utilisation	Connexion au système	2013-03-10	18:11:11	123
	2965	utilisation	Connexion au système	2013-03-10	19:50:09	123
	2966	utilisation	Connexion au svstème	2013-03-10	21:41:38	123
	2967	utilisation	Accès à la gestion de la matière	2013-03-10	21:52:02	0
	2968	utilisation	Connexion au système	2013-03-10	22:19:51	123
	2969	utilisation	Accès à la gestion de la matière	2013-03-10	22:19:58	123
	2970	utilisation	Accès à la matière Théorie des langages	2013-03-10	22:20:01	123
	2971	utilisation	Ajouter la ressource Série de TD N° 3 à l'OA Chapi...	2013-03-10	22:20:46	123
	2972	utilisation	Ajouter la ressource Examen de rat 2011 à l'OA Exa...	2013-03-10	22:21:19	123
	2973	utilisation	Accès à la matière Théorie des langages	2013-03-10	22:21:28	123
	2974	utilisation	Accès à la matière Théorie des langages	2013-03-10	22:24:17	123
	2975	utilisation	Connexion au système	2013-03-10	22:26:33	131
	2976	utilisation	Accès à la matière Theone des langages	2013-03-10	22:26:59	131
	2977	utilisation	Téléchargé la ressource Série de TD N° 2 de l'OA C...	2013-03-10	22:27:56	131
	2978	utilisation	Téléchargé la ressource Les automates d'états fini...	2013-03-10	22:28:12	131
	2979	utilisation	Téléchargé la ressource Série de TD N° 3 de l'OA C...	2013-03-10	22:28:25	131
	2980	utilisation	Téléchargé la ressource Les langages algébriques ...	2013-03-10	22:28:43	131
	2981	utilisation	Téléchargé la ressource Les automates d'états fini...	2013-03-10	22:29:32	131
	2982	utilisation	Accès à l'auto évaluation de l'OA Chapitre 2: Les ...	2013-03-10	22:29:41	0
	2983	utilisation	Téléchargé la ressource Série de TD N° 2 de l'OA C...	2013-03-10	22:29:57	131
	2984	utilisation	Téléchargé la ressource Les langages algébriques ...	2013-03-10	22:30:33	131
	2985	utilisation	Téléchargé la ressource Les langages réguliers de ...	2013-03-10	22:30:41	131
	2986	utilisation	Accès à la matière Théorie des langages	2013-03-10	22:31:27	131
	2987	utilisation	Connexion au système	2013-03-10	22:32:09	123

La trace devient comme une suite d'actions : **A**→**C**→**E**.

Figure 4.9. Modulateur des traces collectées.

5.2. Algorithme de détection des mauvais parcours

Afin de détecter automatiquement les mauvais scénarios réalisés par les apprenants au cours de leurs sessions d'apprentissage, nous avons utilisé un algorithme de filtrage des traces. Le pseudo code de l'algorithme de filtrage est donné dans l'algorithme 3 et sa structure générale est représentée par la figure 4.10.

L'algorithme a en entrée les données du soi (un ensemble de traces pertinentes identifiées) et il donne comme sortie un ensemble de traces non pertinentes. Dans notre contexte, les traces non pertinentes sont détruites pour laisser seulement celles qui sont pertinentes. Ces dernières sont utilisées pour aider et assister les apprenants à améliorer leurs processus d'apprentissage. En fait, nous utilisons deux mécanismes des SIA : sélection négative et clonale. La sélection négative est utilisée pour reconnaître les séquences pertinentes des actions. Quant à la sélection clonale, elle améliore la reconnaissance et permet de mettre à jour la base de données initiale due à des cellules de mémoire.

Si une nouvelle trace arrive et qu'elle correspond à une séquence de la base initiale, le système fait un clone, et il met à jour la base initiale. Si c'est une trace non pertinente; le système supprime et recommande les apprenants par des traces pertinentes. Pour vérifier si deux traces sont correspondantes, nous avons utilisé la correspondance avec r -contigu (Forrest et al., 1994). Dans notre cas, r est égal à 3 parce que nous avons divisé la séquence en sous-séquences équivalentes qui sont composées de 5 actions.

Correspondance avec r -contigu:

Comme nous avons évoqué précédemment, nous avons utilisé la correspondance entre deux chaînes de caractères qui a été proposée par Forrest et ses collègues (Forrest et al., 1994). L'objectif principal de cette correspondance est le suivant : étant données deux chaînes x et y , correspondance (x, y) est vraie si x et y conviennent (match) au moins r emplacements contigus.

Exemple de correspondance :

X: AMINAZEDADRA

Y: AMINEABDAOUI

Match (x, y) faux dans le cas où $r = 5$ ou plus.

Match (x, y) vraie dans le cas où $r = 4$ ou moins.

Algorithme 3: Détection des mauvais parcours

Entrée : P = ensemble des traces pertinentes identifiées ($P=CTN$ (sortie de l'algorithme 5)).

Sortie : NP = ensemble des traces non pertinentes.

Début

Créer un ensemble vide **D** des détecteurs
Générer aléatoirement un ensemble des traces **T_R**

Pour toute (trace **t_R** ∈ **T_R**) **faire**

Pour toute (trace pertinente **p** ∈ **P**) **faire**

Si (**t_R** correspond **p**) **alors**

Ecarter **t_R**

Sinon

Placer **t_R** in **D**

Fin si

Fin pour

Fin pour

Tant que (il y a une nouvelle trace **n** à vérifier) **faire**

Recherche nouvelle trace **n**

Pour toute (détecteur **d** ∈ **D**) **faire**

Si (**n** correspond **d**) **alors**

Placer **n** dans **NP** et écarter

Sinon

Cloner **n**

Placer **n** dans **P**

Fin si

Fin pour

Fin tant que

Fin.

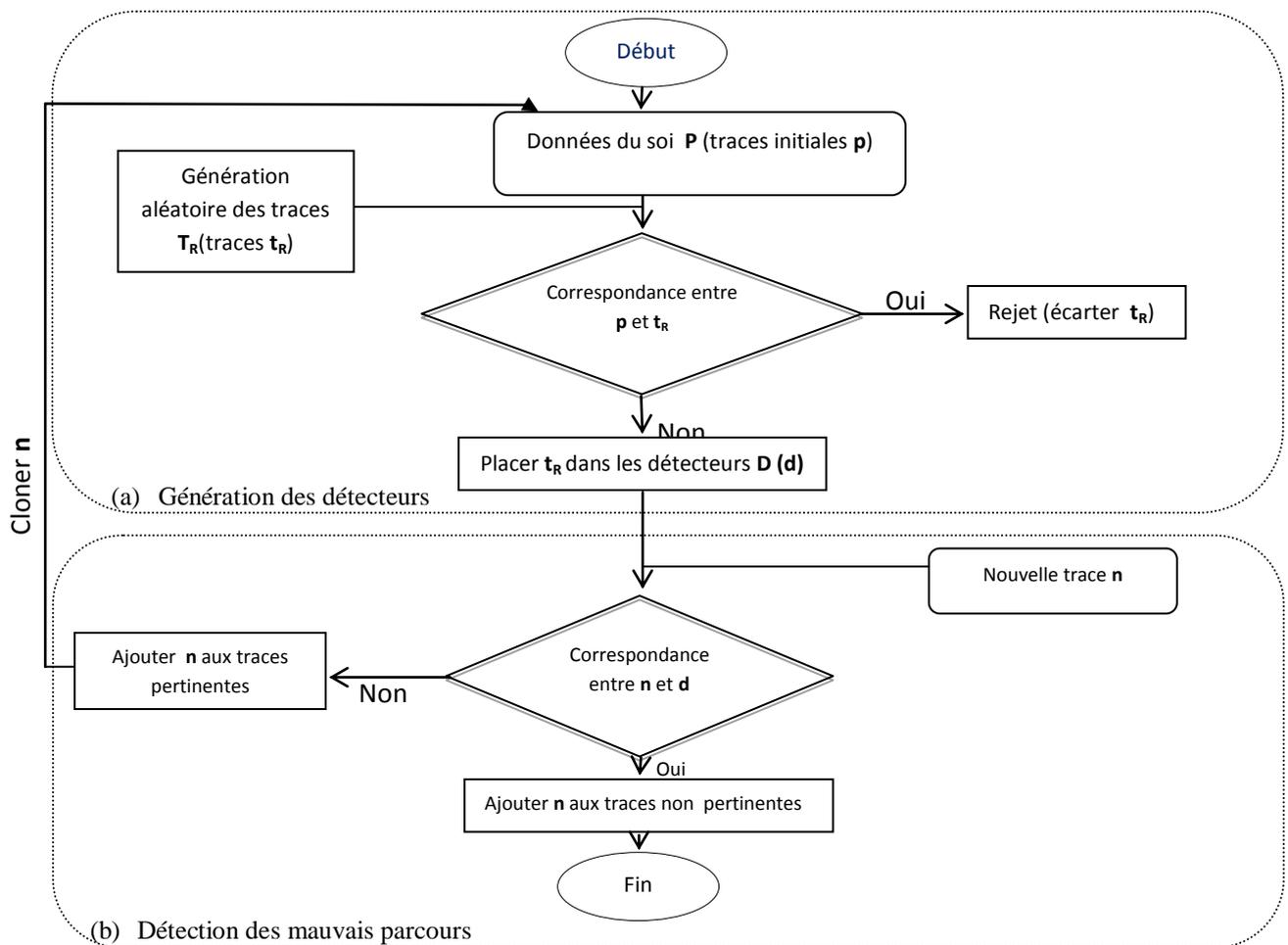


Figure 4.10. Structure générale de l’algorithme de détection (Zedadra et Lafifi, 2015).

5.3. Démodulateur :

Après l’utilisation de l’algorithme de détection des mauvais parcours, un démodulateur convertit les traces en scénarios (suite d’actions : connexion au système → apprentissage → accès aux objets d’apprentissage). Ce démodulateur effectue l’opération inverse du modulateur. En effet, il transforme les scénarios utilisés par l’algorithme de détection des mauvais parcours en une suite de traces compréhensibles pas l’utilisateur.

L’algorithme du démodulateur est donné en Algorithme 4.

Algorithme 4: Démodulateur

Entrée : CTN= P (traces pertinentes) et NP (traces non pertinentes).

Sortie : CT= ensemble des traces nettoyées (connexion au système, apprentissage, accès aux objets d’apprentissage, visualisation des ressources, téléchargement des ressources, accès au moteur de recherche, évaluation, accès au test d’évaluation,

communication, envoyer un e-mail, recevoir et répondre un e-mail, accès au forum, poser une question dans le forum, poser une réponse au forum, demande d'assistance, recevoir une réponse aux demandes d'assistance, répondre aux demandes d'assistance, visualisation des traces).

Début

Pour toute (trace $ctn \in CTN$) **faire**

Si ($ctn = "A"$) **alors**

$ct = "Connexion au système"$;

Sinon si ($ctn = "B"$) **alors**

$ct = "Apprentissage"$;

 ...

Sinon si ($ctn = "G"$) **alors**

$ct = "Evaluation"$;

 ...

Sinon si ($ctn = "L"$) **alors**

$ct = "Accès au forum"$;

 ...

Sinon si ($ctn = "O"$) **alors**

$ct = "Demande d'assistance"$;

 ...

Fin si

Fin pour

Fin

5.4. Déroulement de l'algorithme de détection des mauvais parcours

Dans cette section, nous présenterons le déroulement de l'algorithme de détection des mauvais parcours dans les deux cas possibles : le premier cas est celui d'une nouvelle trace pertinente rencontrée et l'autre cas est celui d'une nouvelle trace non pertinente rencontrée. L'algorithme génère un ensemble des détecteurs par la correspondance des deux ensembles (un ensemble des données du soi et un ensemble des traces aléatoirement générées). Ces détecteurs générés seront utilisés pour détecter les traces non pertinentes de celles pertinentes (Figure 4.11).

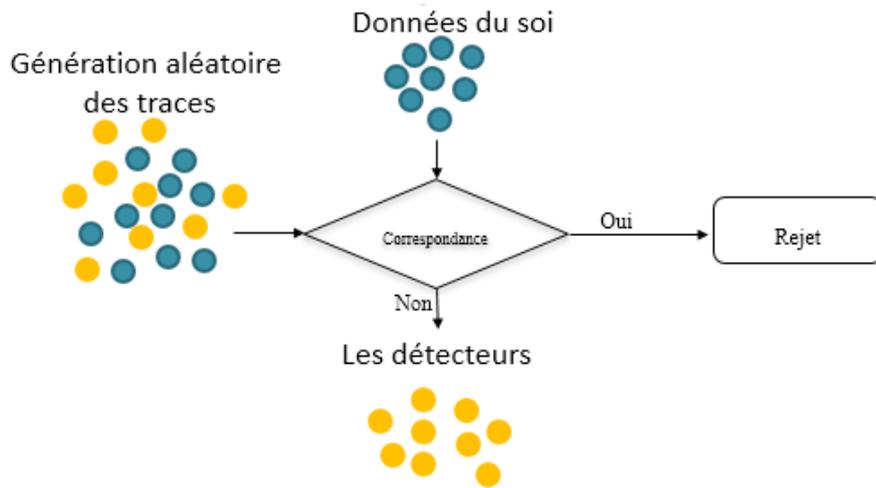


Figure 4.11. Génération des détecteurs.

- a) **Cas 1 : Une nouvelle trace pertinente rencontrée :** Une deuxième correspondance sera faite entre les détecteurs générés et la nouvelle trace arrivée. Dans ce cas, la nouvelle trace ne correspond pas à aucun des détecteurs. Alors, le système détecte une trace pertinente et il fera un clone pour mettre à jour l'ensemble des données de soi initialement défini (voir Figure 4.12).

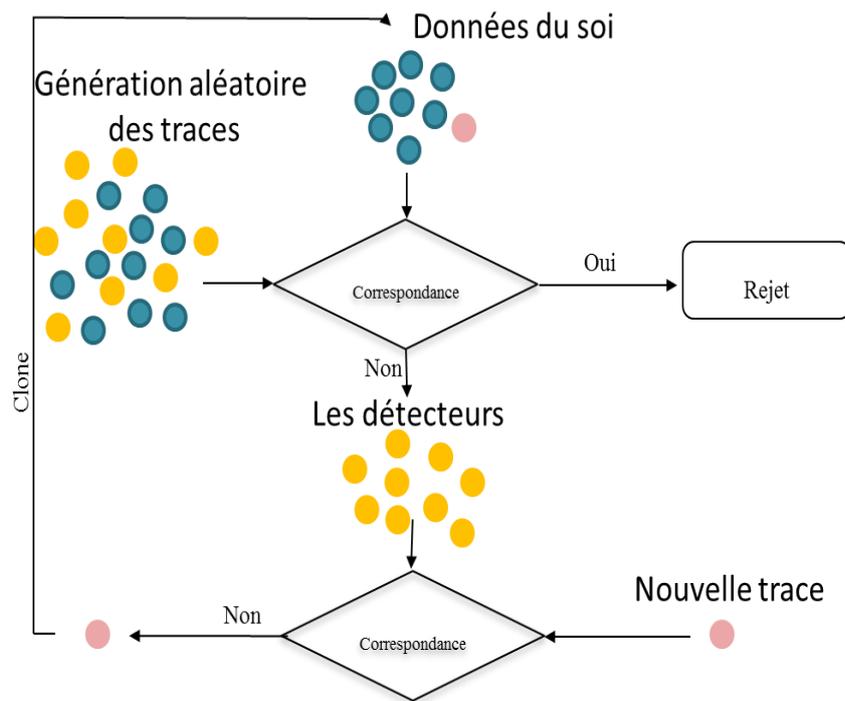


Figure 4.12. Cas d'une nouvelle trace pertinente rencontrée.

b) **Cas 2 : Une nouvelle trace non pertinente rencontrée** : De la même façon du premier cas, une deuxième correspondance sera faite entre les détecteurs générés et la nouvelle trace arrivée. Mais, dans ce cas la nouvelle trace correspond à un des détecteurs. Alors, le système détecte une trace non pertinente et il recommande l'apprenant par un envoi automatique d'un message contenant une trace pertinente (voir Figure 4.13).

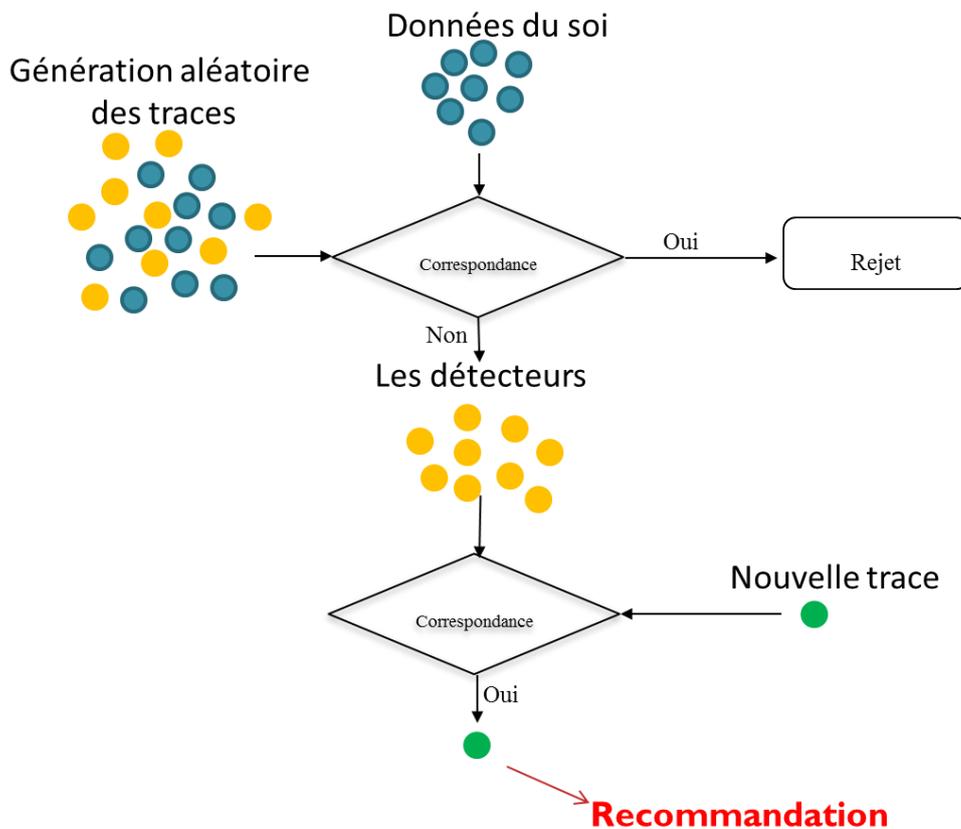


Figure 4.13. Cas d'une nouvelle trace non pertinente rencontrée.

6. Interprétation des traces

Généralement, l'interprétation permet de fournir une sémantique à une description symbolique. On peut définir l'interprétation des traces dans le domaine du e-learning comme « une analyse de chaque action effectuée par les apprenants lors de leurs interactions avec l'environnement d'apprentissage ». De nombreux outils peuvent être utilisés pour l'interprétation des traces. Parmi ces outils, on peut citer les agents conversationnels animés (ACA).

Dans ce contexte de recherche, nous avons utilisé ces agents conversationnels animés pour concevoir un système qui vise à aider les apprenants à connaître leurs activités passées et leurs fournissent des conseils. Aussi, il offre aux tuteurs une perception sur le comportement de leurs différents apprenants.

Notre objectif est de proposer un outil qui aide à comprendre les actions des apprenants en ligne. Cette interprétation concerne toutes les activités effectuées par les apprenants. En d'autres termes, au lieu d'avoir une suite de traces durant une période de temps relativement longue, une analyse de ces traces selon des indicateurs bien déterminés permet d'aider à comprendre le comportement des apprenants. Les indicateurs sur lesquels est basée cette interprétation sont calculés en fonction des traces pertinentes des apprenants.

Pour bien situer l'utilité de l'interprétation, supposons qu'un apprenant a laissé une suite de traces (T1, T2, T3...Tn) durant une période de temps (jour, semaine, etc.). Comment le tuteur peut aider cet apprenant en consultant une suite d'actions ? Comment le tuteur peut identifier les difficultés rencontrées par cet apprenant ? Est-ce que le tuteur est capable d'analyser et interpréter toutes les traces de cet apprenant qui peuvent être des centaines voire des milliers ? Rappelons que ces traces dépendent des interactions effectuées par un apprenant avec les autres acteurs du système (apprenants, tuteurs, enseignants...) ou avec le système lui-même (utilisation des outils de communication, outils de recherche...).

Enfin, l'interprétation des traces permet de donner un sens aux traces laissées par les apprenants. Au lieu de voir une suite de données (i.e. traces), on doit avoir une information qui indique qu'un apprenant n'a jamais évalué ces connaissances par exemple ou il a refusé le maximum des demandes de collaboration émises par ses co-équipiers, etc.

C'est dans ce contexte qu'on a proposé d'utiliser les agents conversationnels animés pour interpréter les traces laissées par les apprenants. Ces agents utilisent un ensemble d'indicateurs pour mener à bien leurs tâches. Ces indicateurs sont calculés en fonction des traces des apprenants. En plus, chacun d'eux concerne une activité pédagogique particulière.

Les détails de notre proposition sont présentés dans la section suivante. Nous commençons tout d'abord par la justification du choix des agents conversationnels animés comme un outil d'interprétation des traces.

6.1. Pourquoi utiliser les agents conversationnels animés pour interpréter les traces ?

Les agents conversationnels sont des personnages virtuels interactifs. Ils sont définis par leurs présences animés dans un dispositif visuel (généralement un écran), quelles que soient leurs apparences. En plus, ils ont un rôle de communication indépendamment du degré de développement et la modalité d'expression (mot parlé, écrit, communication non verbale, etc.) (Buisine, 2005).

De nombreuses études sur les agents conversationnels ont été effectuées dans différents contextes et avec différents objectifs. Leurs buts ne sont pas similaires et ils n'utilisent pas des outils comparables. Il existe de nombreuses applications dans différents domaines tels que: la psychologie (Buisine, 2005), la médecine (Morales-Rodríguez, 2007), l'éducation (Graesser et al., 2005), etc.

Dans le domaine du e-learning, Graesser et ses collègues (2005) développent un système « AutoTutor », qui simule un tuteur humain tenant une conversation avec l'apprenant en langage naturel. Cette conversation se fait par un agent conversationnel animé et des simulations interactives en trois dimensions afin d'améliorer le processus d'apprentissage des apprenants. Dans un autre travail, Mao et ses collègues (2012) proposent un framework de tutorat en utilisant un agent conversationnel. Les auteurs montrent que le mode interactif du système e-learning est plus attrayant pour les apprenants. Grâce à un système multi-agents, Griol et ses collègues (2011) proposent un système d'enseignement "EducAgent", qui a été développé pour donner un soutien et un auto-apprentissage pour l'apprenant. La plateforme offre la création d'un espace virtuel innovant pour chaque apprenant afin de rendre le processus d'apprentissage plus souple, participatif et attrayant en utilisant les agents conversationnels. Aussi, Nakamura et ses collègues (2012) utilisent une méthode pour estimer le niveau des apprenants de leurs comportements non verbaux en utilisant un agent conversationnel.

Plusieurs recherches ont utilisé les ACA dans les systèmes de e-learning (Neji et Ben Ammar, 2007), (Carlier et Renault, 2010), (Kumar et Rose, 2011)), mais ils n’existent pas des travaux de recherche antérieurs qui ont utilisé les agents conversationnels animés afin d’interpréter des traces dans les systèmes d'apprentissage collaboratif. Vu la croissance d’utilisation des agents conversationnels animés et vu leurs efficacités dans les systèmes précédents, nous avons choisi l’utilisation des agents conversationnels animés comme un outil d’interprétation des traces. Ces agents conversationnels animés ont été exploités afin d’animer, assister et attirer les apprenants pendant leurs sessions d’apprentissage.

6.2. Comportement général de l’Agent Conversationnel Animé (ACA)

Le comportement de l'ACA est représenté par une machine d'états finis (Figure 4.14). Dans chaque état, l'agent exécute un ensemble de séquences (si ... alors actions) (Zedadra et al., 2014).



Figure 4.14. Machine d’états finis générale de l’agent conversationnel (Zedadra et al., 2014).

- **Dédution des traces:** dans l’état initial, l'agent reçoit le choix de l’apprenant et déduit le type de la trace et il tourne vers l'état *d'extraction des indicateurs*.
- **Extraction des indicateurs:** l'agent dans cet état extrait les indicateurs du type de la trace sélectionnée par l’apprenant et il tourne vers l'état de *détection des moments*.
- **Détection des moments:** dans cet état l'agent détecte cinq moments de changement (maximal, minimal, moyen, période de succès et période constante) de l'indicateur extrait et il tourne vers l'état *contenu d'interprétation*.
- **Contenu d'interprétation:** dans cet état final, l'agent interprète chaque moment détecté de l'indicateur extrait.

6.3. Comportement de l'agent développé

Pour mettre en œuvre et évaluer les performances de l'utilisation des agents conversationnels animés, nous avons intégré le système développé dans la plateforme LETline 2.0. Le système propose une interprétation des différents indicateurs (Apprentissage, Collaboration et Tutorat) et recommande plusieurs conseils pour les apprenants en fonction de leurs états.

La figure 4.15 présente un cas d'utilisation où nous avons utilisé seulement trois types de traces: (i) l'apprentissage, (ii) la collaboration et (iii) le tutorat.

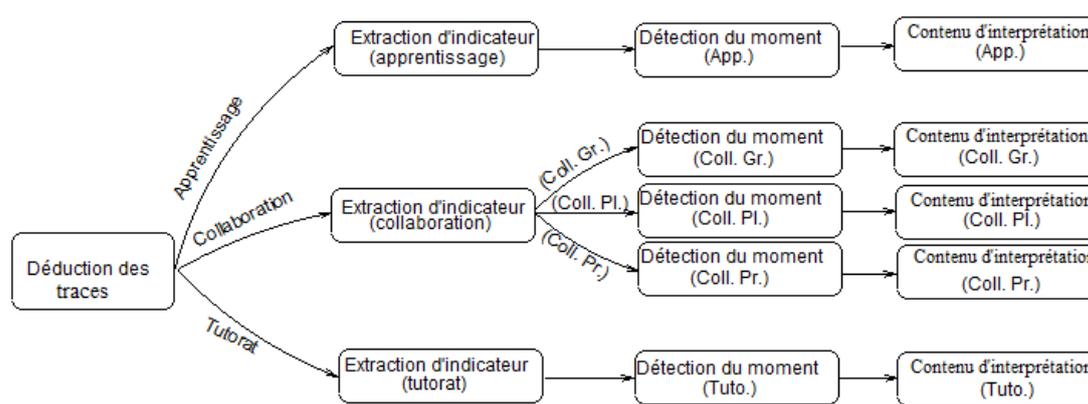


Figure 4.15. Machine d'états finis de l'agent développé (Zedadra et al., 2014).

- **Dédution des traces:** si la trace est « **Apprentissage** », alors l'agent tourne à l'état: *Extraction d'indicateur (apprentissage)*, sinon si la trace est « **collaboration** » alors l'agent tourne à l'état *Extraction d'indicateur (collaboration)*, sinon il tourne à l'état *Extraction d'indicateur (tutorat)*.
- **Extraction des indicateurs (collaboration):** dans cet état, l'agent extrait les indicateurs à partir des traces de collaboration. Dans ce cas, l'agent extrait trois types d'indicateurs : collaboration avec les membres du même groupe (Coll. Gr.), Collaboration avec tous les membres de la plateforme (Coll. Pl.) et communication privée (Coll. Pr.)). Si **indicateur** est Coll. Gr. alors l'agent tourne à l'état *Détection du moment (Coll. Gr.)*, sinon si **indicateur** est Coll. Pl. alors l'agent tourne à l'état *Détection du moment (Coll. Pl.)*, sinon si **indicateur** est Coll. Pr. alors l'agent tourne à l'état *Détection du moment (Coll. Pr.)*.

- **Le comportement de l'agent dans les états** *Extraction d'indicateur (apprentissage)* et *Extraction d'indicateur (tutorat)* **est le même de celui de l'état** *Extraction d'indicateur (collaboration)*.
- **Détection des moments (Coll. Gr.):** dans cet état, cinq moments de changement peuvent être détecté (maximal, minimal, moyen, période de succès et période constante) de l'indicateur (Coll. Gr.) et l'agent tourne automatiquement à l'état *Contenu d'interprétation (Coll. Gr.)*.
- **Le comportement de l'agent dans les états** *Détection du moment (App.)*, *Détection du moment (Coll. Pl.)*, *Détection du moment (Coll. Pr.)* et *Détection du moment (Tuto.)* **est le même de celui de l'état** *Détection du moment (Coll. Gr.)*.
- **Contenu d'interprétation (Coll. Gr.):** dans l'état final, l'agent interprète les moments de changement de l'indicateur.
- **Le comportement de l'agent dans les états** *Contenu d'interprétation (App.)*, *Contenu d'interprétation (Coll. Pl.)*, *Contenu d'interprétation (Coll. Pr.)* et *Contenu d'interprétation (Tuto.)* **est le même de celui de l'état** *Contenu d'interprétation (Coll. Gr.)*.

6.4. Indicateurs proposés

Nous avons modélisé toutes les actions qui peuvent être réalisées par les apprenants pendant leurs sessions d'apprentissage. Dans le cadre de cette thèse, nous avons utilisé seulement 3 types de traces (apprentissage, tutorat et collaboration). Le Tableau 4.2 présente plus de détails sur quelques valeurs de chaque état dans la machine d'états finis de l'agent implémenté.

Type de la trace	Nom de l'indicateur (abréviation.)	Moment de changement de chaque indicateur	Contenu de l'interprétation
Apprentissage	Apprentissage (App.)	App. maximal	Votre fréquence d'accès à l'espace d'apprentissage est maximale/minimale/moyenne
		App. minimal	

		App. moyen	dans le jour "JJ-MM-AAAA"
		App. période constante	Votre fréquence d'accès à l'espace d'apprentissage est stable/réussie entre le jour "JJ-MM-AAAA" et le jour "JJ-MM-AAAA"
		App. période de succès	
Collaboration	Collaboration avec les membres du groupe (Coll. Gr.)	Coll. Gr. maximale	Votre collaboration avec les membres du groupe est maximale/minimale/moyenne dans le jour "JJ-MM-AAAA"
		Coll. Gr. minimale	
		Coll. Gr. moyenne	
		Coll. Gr. période constante	Votre collaboration avec les membres du groupe est stable/réussie entre le jour "JJ-MM-AAAA" et le jour "JJ-MM-AAAA"
		Coll. Gr. période de succès	
	Collaboration avec les membres de la plateforme (Coll. Pl.)	Coll. Pl. maximale	Votre collaboration avec les membres de la plateforme est maximale/minimale/moyenne dans le jour "JJ-MM-AAAA"
		Coll. Pl. minimale	
		Coll. Pl. moyenne	
		Coll. Pl. période constante	Votre collaboration avec les membres de la plateforme est stable/réussie entre le jour "JJ-MM-AAAA" et le jour "JJ-MM-AAAA"
		Coll. Pl. période de succès	
	Communication privée (Coll. Pr.)	Coll. Pr. maximale	Votre communication privée est maximale/minimale/moyenne dans le jour "JJ-MM-AAAA"
		Coll. Pr. minimale	
		Coll. Pr. moyenne	
		Coll. Pr. période constante	Votre communication privée est stable/réussie entre le jour "JJ-MM-AAAA" et le jour "JJ-MM-AAAA"
		Coll. Pr. période de succès	
Tutorat	Tutorat (Tuto.)	Tuto. maximale	Votre demande d'assistance est maximale/minimale/moyenne dans le jour "JJ-MM-AAAA"
		Tuto. minimale	
		Tuto. moyenne	
		Tuto. période	Votre demande d'assistance est

		constante	stable/réussie entre le jour “JJ-MM-AAAA” et le jour “JJ-MM-AAAA”
		Tuto. période de succès	

Tableau 4.2. Quelques valeurs de la machine d'états finis de l'agent développé.

7. Regroupement des apprenants

Dans les environnements d'apprentissage collaboratif, les apprenants sont regroupés en groupes de petite taille. Cette dernière caractéristique joue un rôle important dans le déroulement des activités collaboratives. En outre, la composition d'un groupe ainsi que la méthode de formation sont des éléments essentiels dans la réussite d'une session d'apprentissage collaboratif.

Dans le chapitre un, nous avons présenté un ensemble de travaux de recherche qui ont traité le problème de la formation des groupes d'apprentissage collaboratif. Nous avons remarqué que plusieurs méthodes ont été proposées dont l'objectif est de favoriser l'apprentissage et augmenter les compétences des apprenants. Mais, ces travaux permettent de regrouper les apprenants d'une manière statique. En d'autres termes, les apprenants restent ensemble durant les prochaines activités collaboratives malgré que les résultats déjà obtenus aient été jugés négatifs ou même si un trouble a été observé sur le fonctionnement du groupe.

Afin d'éliminer ces problèmes, nous avons proposé une nouvelle méthode de regroupement des apprenants dans les environnements d'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur. La méthode proposée consiste à regrouper dynamiquement les apprenants en fonction de leurs traces d'apprentissage et de collaboration. Comme dans nos précédentes contributions, ces traces ont subi les tâches de nettoyage et de filtrage afin de n'utiliser que les traces pertinentes pour le regroupement des apprenants.

L'idée proposée consiste à regrouper les apprenants d'une manière circulaire en représentant les apprenants sur un repère à deux dimensions. Les abscisses et les ordonnées constituent respectivement les traces d'apprentissage et celles de collaboration.

Puisque les groupes d'apprenants se construisent dynamiquement, une autre stratégie est utilisée pour mettre à jour les groupes d'apprenants. En effet, nous avons adopté le comportement collectif des pingouins en hiver pour chercher la nourriture.

Les étapes de notre stratégie proposée de regroupement sont les suivantes. Initialement, les groupes sont formés en utilisant le regroupement circulaire (Algorithme 6, page 95) à base des traces après l'utilisation du système en mode libre (utilisation du système sans regroupement). Le comportement des pingouins est modélisé (Algorithme 5, page 93) afin de proposer une nouvelle approche (Algorithme 7, page 95) dont le but est de mettre à jour les groupes d'apprenants en fonction de la centralité du degré de chacun des apprenants dans le groupe. Les étapes de cette nouvelle technique de regroupement dynamique sont présentées dans la Figure 4.16.

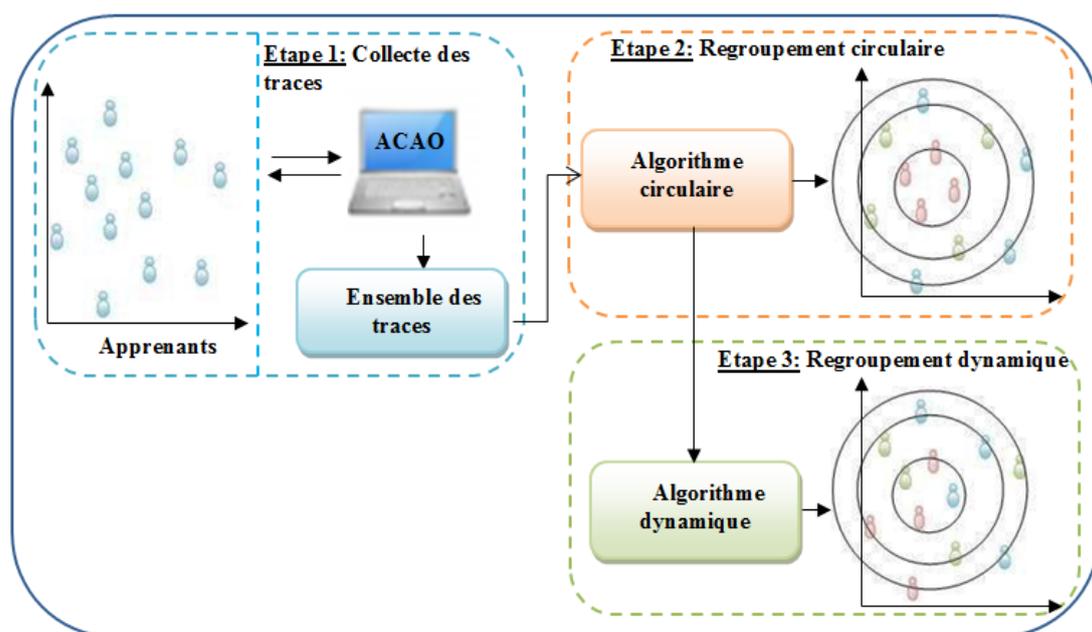


Figure 4.16. Description de l'approche de regroupement dynamique proposée (Zedadra et al., 2015).

7.1. Pourquoi utiliser le comportement des colonies des pingouins ?

Le comportement des pingouins lors de leurs déplacements pendant la saison d'hiver où le degré du froid atteint moins 45° est collaboratif. Afin de modéliser ce comportement, plusieurs stratégies le caractérisent ((Pinshow et al., 1976), (Blanchette et al., 2012), (Beckes et Coan, 2011), (Gerum et al., 2013) et (Gheraibia et Moussaoui, 2013)):

Stratégie 1. Les pingouins vivent dans un monde avec moins 37° en hiver.

Stratégie 2. La dynamique des colonies des pingouins assure leurs vies dans ce milieu froid.

Stratégie 3. La population des pingouins est composée de différents groupes.

Stratégie 4. Chaque groupe est composé d'un nombre différent des pingouins qui peut se varier selon la nourriture disponible dans une zone spécifique.

Stratégie 5. Les pingouins sont des animaux sociaux, vivant en colonie. Ils chassent ensemble et peuvent coordonner leurs prolongées.

Stratégie 6. Les pingouins sont des animaux qui se dispersent en hiver dans l'océan pour chercher la nourriture.

Stratégie 7. Les pingouins de la colonie se regroupent en des caucus (en anglais huddle).

Stratégie 8. Chaque caucus peut comprendre des milliers d'individus.

Stratégie 9. Chaque individu s'appuyant sur l'un de ses voisins pour réduire la surface du corps exposée au froid.

Stratégie 10. Les pingouins situés à l'extérieur du groupe ont tendance à s'introduire lentement dans la masse. Alors, ce n'est pas toujours les mêmes individus qui sont exposés au froid.

Stratégie 11. La température dans le centre du groupe est 37° en moyenne et pas plus.

Algorithme 5 décrit le comportement des pingouins.

Algorithme 5 : Comportement des pingouins

Entrée : P : Population aléatoire des colonies des pingouins.

Sortie : G : groupes des pingouins qui se déplacent en groupes pour sauver leurs vies dans un environnement froid.

Début

Tant que (existe un pingouin $p \in P$ n'est pas affecté à aucun groupe) **faire**

Affecter p à un groupe $g \in G$

Fin tant que

Pour (chaque individu $p \in P$) **faire**

Si (degré de température dans le groupe $> 37^\circ$) **alors**

Si (p est froid) **alors**

 Mettre à jour l'emplacement du pingouin p à l'intérieur du groupe.

Sinon si (p n'est pas froid) **alors**

Mettre à jour l'emplacement du pingouin **p** à l'extérieur du groupe.

Fin si

Fin si

Fin pour

Fin.

Nous décrivons dans le Tableau 4.3 l'analogie entre le système réel et artificiel.

Système réel	Système développé
Pingouin est froid	Apprenant isolé
Degré de la température atteint moins 37°	Profil du groupe < 40% ¹ (ce seuil peut être modifié)
Mise à jour des emplacements des pingouins	Changement du groupe des apprenants
Conserver la température à 37°	Équilibrer les groupes afin qu'il ait un profil acceptable (i.e. bon)

Tableau 4.3. Analogie entre le système réel et le système développé.

7.2. Algorithme de regroupement des apprenants basé sur le comportement des pingouins

Comme nous avons déjà évoqué, l'approche proposée consiste à former des groupes en se basant sur les traces d'apprentissage et celles de collaboration. En outre, elle consiste à mettre à jour leur position dans les groupes après chaque projet collaboratif. Algorithme 6 est proposé pour le regroupement des apprenants de façon circulaire, où nous avons présenté chaque apprenant comme un point dans un plan cartésien. Les abscisses du plan sont les traces d'apprentissage et les ordonnées sont les traces de collaboration de chaque apprenant. L'algorithme a comme entrée le nombre total des apprenants, leurs traces d'apprentissage et de collaboration. Et il a comme sortie le groupe approprié où l'apprenant a été affecté.

Le profil cognitif est calculé à partir des tests d'évaluations faits par l'apprenant dans chaque cours. Le profil comportemental est calculé à partir des données d'accès aux outils de communication et de collaboration disponibles dans la plateforme LETline

¹ Un travail de recherche est en cours afin de déterminer cette valeur automatiquement.

2.0. Les formules utilisées pour calculer les deux profils sont données par Lafifi et ses collègues (Lafifi et al., 2010a).

Algorithme 6 : Regroupement circulaire

Entrée : **Pcm**: profils comportementaux des apprenants,

Pcg: profils cognitifs des apprenants.

A: apprenants

Sortie : **G**: groupes des apprenants.

Début

- Calculer le centre **C (x, y)** du plan
- $$x = \frac{\max(\mathbf{Pcm}) - \min(\mathbf{Pcm})}{2}$$
- $$y = \frac{\max(\mathbf{Pcg}) - \min(\mathbf{Pcg})}{2}$$
- Calculer la distance euclidienne **DIST²** entre le centre **C (x, y)** et tous les autres points **P (c, b)**, sachant que ‘**c**’ est le profil cognitif et ‘**b**’ est le profil comportemental de chaque apprenant **a** \in **A**
- Trier la matrice des distances **DIST** en se basant sur la colonne des distances
- Regroupement circulaire :
 - ❖ Calcul du rayon **R**: on calcule la distance entre le centre et le 4^{ème} point, le centre et le 8^{ème} point, et le centre et le $i^{ème}$ point sachant que $i \bmod 4 = 0$:
 - $K = 1$,
 - Pour ($i = 1; i = i+4; i < |A|$)
 - {
 - $R_k = \mathbf{DIST}[2][i+3]$;
 - Affecter les apprenants $i, i+1, i+2$ et $i+3$ au groupe **G_k**
 - }

Fin.

Pour avoir une possibilité de mise à jour des groupes d'apprenants, nous avons utilisé le comportement des pingouins pour proposer un nouvel algorithme (Algorithme 7). Ce dernier met à jour la position des apprenants dans les groupes appropriés en fonction du profil du groupe et le degré de centralité de chaque membre dans le groupe.

Algorithme 7 : Regroupement dynamique

Entrée : **T** : Traces des apprenants,

A: apprenants,

Gr: groupes initiaux des apprenants

Sortie : **Gr'**: Mise à jour des groupes d'apprenants

² Matrice des distances : $\mathbf{DIST}[2][|A|]$, où la première colonne contient les identificateurs des apprenants et la deuxième colonne contient la distance entre la position de l'apprenant et le centre

Début

Pour (chaque groupe $gr \in Gr$) **faire**

Calculer les profils de chaque groupe gr (**Table**);

Fin pour ;

TableS = trier(**Table**);

Gr' = **Gr** ;

LT = (length (**TableS**))/2;

Pour (i=1; i=i+1; I <= **LT**) **faire**

Si (**TableS**[i] <= 40) **alors**

Pour (chaque groupe $Gr'_{(i)} \in Gr'$) **faire**

a = chercher un apprenant avec le plus bas **CD**³

Fin pour;

Pour (chaque groupe $Gr'_{(LT-(i-1))} \in Gr'$) **faire**

a₁ = chercher un apprenant avec le plus haut **CD**

Fin pour;

Mettre **a** dans le groupe $Gr'_{(LT-(i-1))}$

Mettre **a₁** dans le groupe $Gr'_{(i)}$

Fin si;

Fin pour;

Fin.

La figure 4.17 présente un exemple qui explique en détail l'algorithme 7. Dans la première itération de l'algorithme, les groupes sont triés. Après cela, le système cherche l'apprenant avec le CD (centrality degree) le plus faible dans le premier groupe et cherche l'apprenant avec le plus grand CD dans le dernier groupe. Enfin, le système met à jour la position de chacun et ainsi de suite.

³ Formule CD_a (Degré de centralité de chaque apprenant **a**) avec les membres de son groupe ($j \in J$)

$$CD_a = \frac{\sum_{j=1}^M (\sum_{i=1}^N T_{ij})}{N-1}$$

Avec : M : nombre des membres dans le groupe, N: nombre des traces

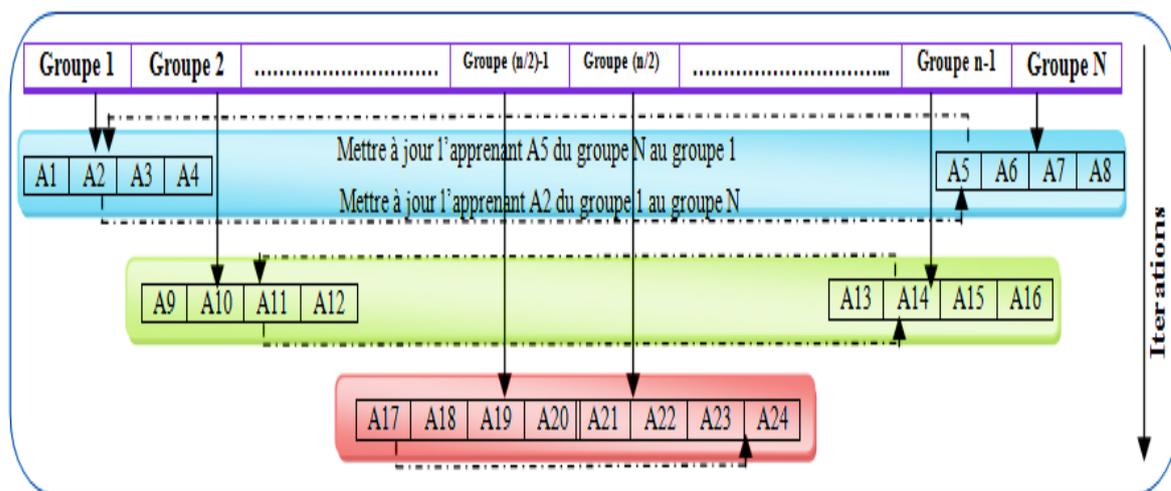


Figure 4.17. Regroupement dynamique des apprenants (Zedadra et al., 2015).

8. Conclusion

L'interprétation des actions des apprenants dans un contexte d'apprentissage collaboratif permet de comprendre leurs itinéraires pédagogiques et détecter leurs difficultés rencontrées. Ces actions ou simplement traces sont volumineuses et très hétérogènes. Elles concernent toutes les actions pédagogiques effectuées par les apprenants.

L'objectif de ce travail de recherche est la proposition d'une nouvelle approche d'interprétation des traces dans les environnements d'ACAO. De ce fait, nous avons utilisé les agents conversationnels pour interpréter les traces des apprenants verbalement et les représentations graphiques et textuelles pour les visualiser aux apprenants et aux tuteurs afin de les aider dans leurs différentes tâches. Aussi, une nouvelle technique a été proposée pour le filtrage des traces afin de minimiser leur nombre volumineux. D'autre part, nous avons proposé une nouvelle méthode de regroupement des apprenants afin d'améliorer les compétences cognitives et comportementales des apprenants.

Dans ce chapitre, nous avons donné en premier lieu la problématique de notre travail. Par la suite, nous avons décrit la contribution majeure de cette thèse. Puis, nous avons détaillé la description de l'approche proposée dans la section 4. Ensuite, nous avons décrit chaque technique indépendamment : (i) Détection et amélioration des mauvais

parcours des apprenants, (ii) Interprétation des traces et (iii) Regroupement des apprenants.

Afin de valider nos propositions et le choix des outils et stratégies à adopter, nous avons implémenté puis testé un ensemble d'outils avec des échantillons réels des étudiants universitaires. La description des outils développés, le déroulement des expérimentations réalisées ainsi que les résultats obtenus feront l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 5 :

Mise en œuvre et Expérimentations

1. Introduction

Pour mettre en œuvre nos différentes propositions, nous avons développé un ensemble d'outils informatiques indépendant de la plateforme utilisée. En effet, nous avons développé un sous-système pour la détection des mauvais parcours qui est intégré dans une plateforme d'apprentissage collaboratif (i.e. LETline), un agent conversationnel animé pour l'interprétation des traces et un sous-système qui prend en charge le regroupement dynamique des apprenants. Tous ces outils sont basés sur les concepts et les stratégies présentés dans le chapitre précédent.

Afin de valider nos propositions et les différents choix adoptés, nous avons conduit une série des expérimentations avec des étudiants et des enseignants universitaires de l'université 8 mai 1945 Guelma. Ces expérimentations ont été déroulées dans des périodes différentes et sur des échantillons divers.

Tout d'abord, nous avons effectué un premier recueil des besoins des différents acteurs humains en septembre 2012 afin d'améliorer la plateforme selon leurs besoins. Après l'amélioration de la plateforme, nous avons effectué une première expérimentation pour tester le premier sous système de détection des mauvais parcours et une deuxième expérimentation pour tester le sous-système d'interprétation des traces.

Dans ce chapitre, nous décrivons dans un premier temps le contexte de validation de nos outils et propositions. Puis, nous présentons l'objectif et le contexte de chaque expérimentation. Ensuite, nous décrivons leurs déroulements. Enfin, nous présentons les résultats obtenus ainsi que leurs impacts sur les activités des différents acteurs d'apprentissage.

2. Choix du contexte de travail : la plateforme LETline

LETline (<http://www.labstic.com/letline>) est une plateforme développée par Lafifi et ses collègues (Lafifi et al. 2010a). Elle est utilisée dans le cadre de l'enseignement et de tutorat en ligne. Notre principale raison de choisir cette plateforme est le fait qu'elle trace toutes les actions des utilisateurs lors de leurs utilisations du système (i.e. plateforme basée sur les traces). En effet, toutes les actions des utilisateurs humains sont enregistrées et visualisées aux acteurs concernés. Il est donc possible de récolter les traces des acteurs et de les exploiter pour des différents objectifs. En plus, il était possible de la faire évoluer et améliorer selon les besoins des utilisateurs (tuteurs, apprenants et enseignants).

Le système LETline est un environnement d'apprentissage et de tutorat en ligne, qui est composé de deux grandes parties. La première est un système de gestion d'apprentissage qui offre aux enseignants tous les moyens pour préparer leurs objets d'apprentissage. En outre, les apprenants sont amenés à construire leurs connaissances. La seconde partie est un système de suivi du tutorat. Ce dernier offre tous les moyens pour faciliter la tâche du tutorat qui est assurée par des tuteurs, ainsi que tous les outils nécessaires afin de faciliter la tâche de demande du tutorat exprimée par les apprenants.

Comme dans n'importe quelle plateforme d'enseignement en ligne, les apprenants peuvent télécharger un ensemble de ressources pédagogiques, apprendre et résoudre des exercices d'autoévaluation individuellement ou en collaboration avec les autres membres de leurs groupes. Ils utilisent un ensemble de demandes d'assistance (de tutorat) associées à chaque rôle du tuteur. Ce dernier est affecté à un groupe d'apprenants formés aléatoirement. Dans la première version du système, quatorze rôles des tuteurs ont été adoptés.

Enfin, le système fournit aux enseignants des outils qui facilitent la gestion des objets d'apprentissage et des exercices d'autoévaluation ainsi que la visualisation des traces de leurs activités. La figure 5.1 présente l'interface principale du système LETline.



Figure 5.1. L'interface principale du système LETline.

3. Mise en œuvre des approches proposées

Afin de valider les approches proposées dans le chapitre précédent, trois sous-systèmes ont été implémentés au sein du laboratoire des sciences et des technologies de l'information et de la communication (LabSTIC) de l'université de Guelma. Chacun des outils développés est implémenté indépendamment avant son intégration globale à la plateforme. En d'autres termes, ces outils peuvent être adaptés afin d'être utilisés dans d'autres plateformes d'apprentissage à base de traces. Nous présentons dans ce qui suit, une description de chaque outil développé ainsi que quelques captures d'écran.

3.1. Détection et amélioration des mauvais parcours en utilisant les techniques des systèmes immunitaires artificiels

Afin de valider notre approche, nous avons mis en place un sous-système appelé AIS4FT (Artificial Immune System for Filtering Traces). Il vise à filtrer l'ensemble des traces non pertinentes et laisser celles qui sont pertinentes. En outre, le système aide les apprenants en envoyant des messages de recommandation visant à améliorer leurs profils d'apprentissage. Les figures 5.2 et 5.3 montrent deux exemples d'un message qui a été envoyé automatiquement aux apprenants après la détection qu'ils suivent un mauvais scénario.

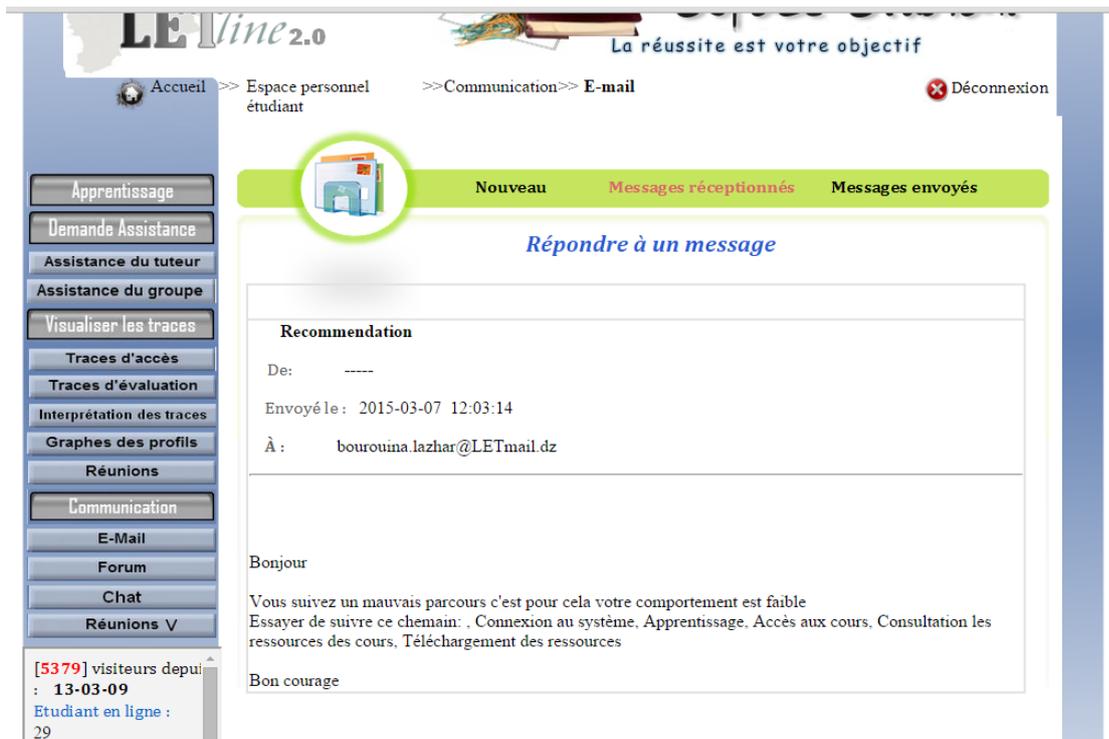


Figure 5.2. Message de recommandation envoyé à un apprenant (B. L).

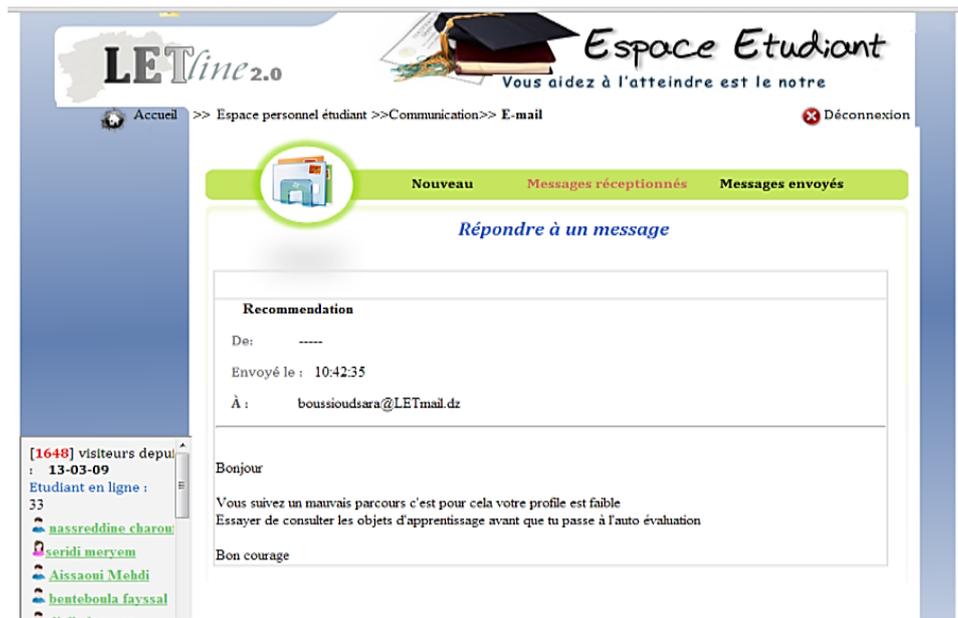


Figure 5.3. Message de recommandation envoyé à un apprenant (B. S) (Zedadra et Lafifi, 2015).

Comme il est montré dans les deux figures, les apprenants avaient reçu des messages ayant comme objet: « Recommandation ». Ce dernier contient des bonnes actions à suivre pour la

réussite de son processus d'apprentissage. Ce message de recommandation a été envoyé automatiquement par le système après l'application de notre algorithme.

3.2. Interprétation des traces

Afin d'assurer la tâche d'interprétation des traces, nous avons implémenté un agent conversationnel animé. Ce dernier permet d'interpréter les traces des apprenants en se basant sur les valeurs d'un ensemble d'indicateurs. Ces derniers sont associés à chaque type activité des apprenants. Notre outil d'interprétation permet d'utiliser des graphes, des textes et de la voix pour bien interpréter les traces.

La figure 5.4 montre des interprétations graphiques et textuelles qui aident les apprenants à connaître leurs états pendant leurs activités d'apprentissage. Ces représentations graphiques sont jointées avec un agent conversationnel animé, qui présente les moments de changement détectés oralement (maximal, minimal, moyen, période de succès et période constante). La figure 5.5 montre des interprétations graphiques et textuelles de l'indicateur de collaboration.

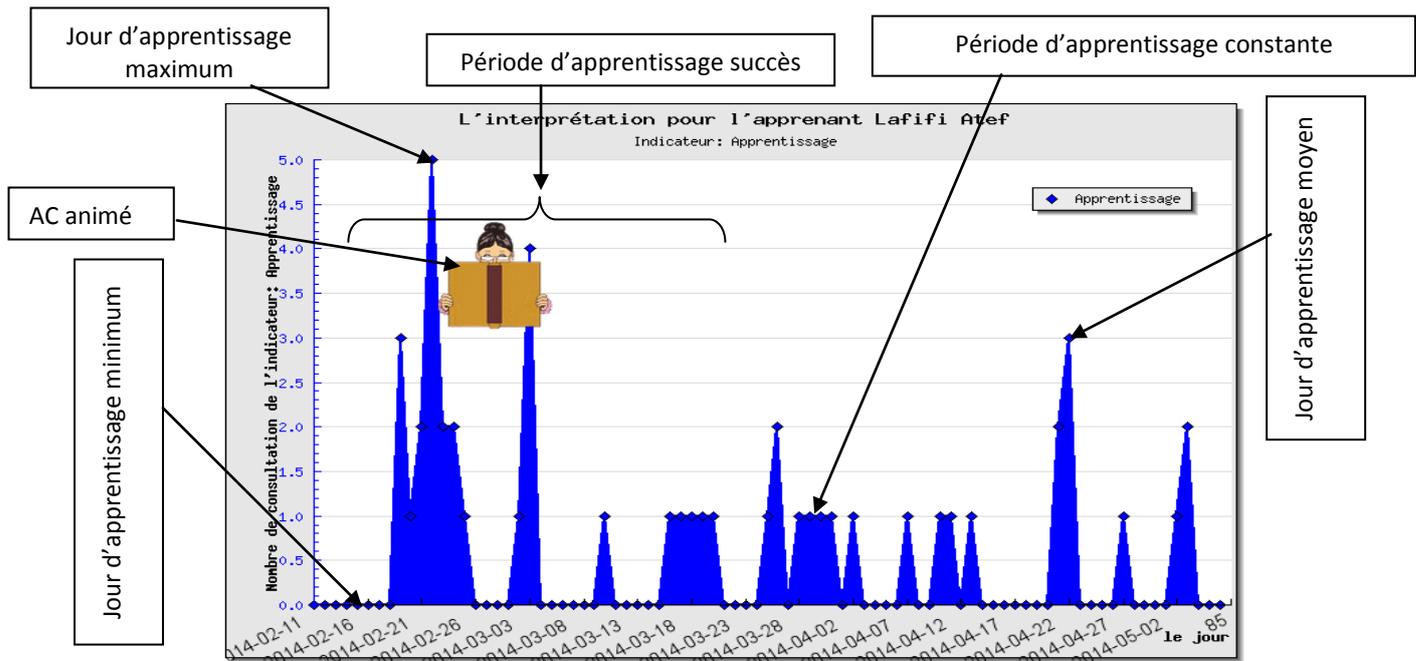


Figure 5.4. Interprétation des traces d'apprentissage (Zedadra et al., 2014).

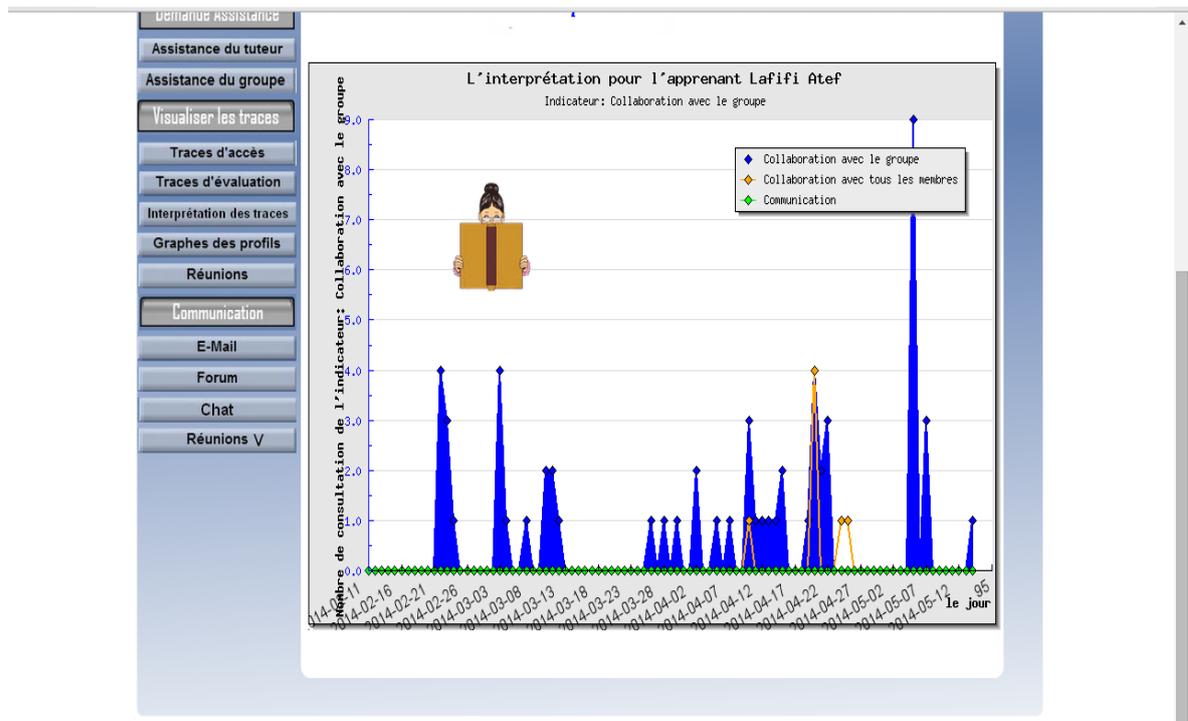


Figure 5.5. Interprétation des traces de collaboration.

3.3. Regroupement des apprenants

Le sous système de regroupement dynamique des apprenants a été implémenté puis intégré à la plateforme. Il est exécuté par l'administrateur du système qui doit choisir la méthode de regroupement des apprenants.

Ce sous-système donne en résultats des groupes d'apprenants de 4 membres chacun. Le choix de 4 comme taille de nos groupes a été fait en consultant plusieurs travaux de recherche menés sur la taille idéale des groupes dans les environnements d'ACAO. Toutefois, on doit signaler que notre outil peut être adapté à supporter n'importe quelle taille des groupes à adopter. Une fois exécutée, ce système mis à jour automatiquement les groupes d'apprenant suivant le nombre des activités pédagogiques demandées aux apprenants.

La figure 5.6 présente les résultats de l'application de l'algorithme de regroupement circulaire dans notre système (avec 4 comme taille des groupes). Les cercles de la figure sont dessinés autour des groupes d'apprenants obtenus.

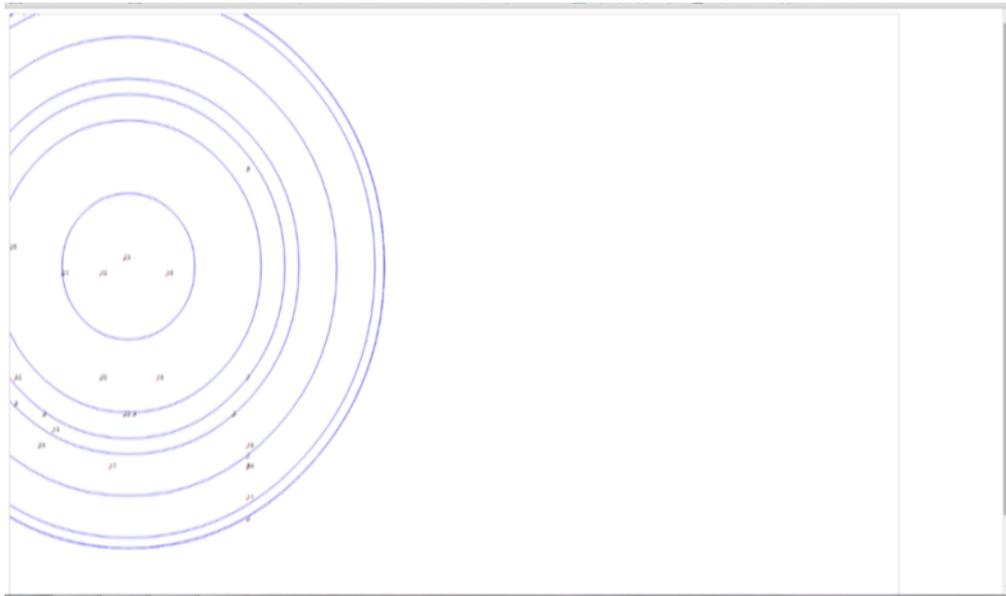


Figure 5.6. Regroupement circulaire (Zedadra et al., 2015).

Comme il est indiqué sur la figure 5.6, nous observons que le regroupement circulaire regroupe les apprenants avec différents profils dans des groupes homogènes. En effet, le groupe G1 est composé des membres suivants (Tableau 5.1):

Identifiant apprenant	Profil cognitif	Profil comportemental
A. B.	83,33 %	75,00 %
B. L	56,76 %	50,00 %
H. A	86,67 %	22,86 %
A.A. M.	36,76 %	5,71 %

Tableau 5.1. Profils cognitifs et comportementaux d'un groupe d'apprenants.

4. Schéma général du déroulement des expérimentations

Nous avons mené trois expérimentations successives durant deux années universitaires (2012/2013 et 2013/2014). La première expérimentation a été faite dans la plateforme existante LETline. Son objectif est d'extraire les besoins des acteurs d'apprentissage afin de l'améliorer. La deuxième expérimentation a été effectuée sur la plateforme améliorée LETline 2.0 avec le sous-système de détection des mauvais parcours. La dernière expérimentation a été menée avec la plateforme LETline 2.0 et comportant un sous-système d'interprétation des

traces. La figure suivante présente le schéma général du déroulement de ces trois expérimentations.

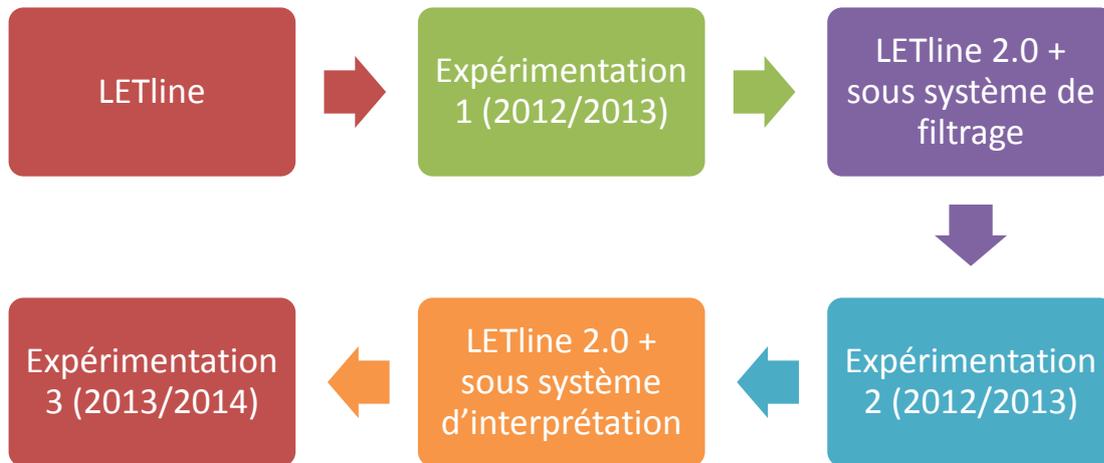


Figure 5.7. Schéma général du déroulement des expérimentations.

5. Expérimentation 1 : de LETline à LETline 2.0

5.1. Objectif

Cette expérimentation que nous qualifions de réussite vise à enrichir notre proposition initiale de rendre LETline (Système d'apprentissage et de tutorat) à LETline 2.0 (Système d'apprentissage collaboratif). Elle a également pour un objectif d'expérimenter le système LETline et savoir les besoins des acteurs d'apprentissage pour les rajouter dans la nouvelle version du système LETline 2.0.

5.2. Contexte

De septembre 2012 à janvier 2013, cette phase exploratoire a impliqué 4 tuteurs et 30 étudiants répartis en groupes de quatre apprenants par groupe (formés manuellement). Chaque apprenant suit plusieurs modules. Ces derniers constituent une unité d'enseignement (au sens Licence dans le cursus LMD). Dans cette expérimentation, l'enseignant chargé du module fournit aux étudiants différents objets d'apprentissage (cours, TD, TP) et des exercices d'autoévaluation de type QCM et des exercices supplémentaires. Afin d'atteindre nos objectifs

fixés auparavant, nous avons enquêté les acteurs d'apprentissage (tuteurs et étudiants) pour savoir leurs avis et leurs besoins.

5.3. Observations et résultats obtenus

À la fin de cette expérimentation, nous avons soumis deux questionnaires aux apprenants et aux tuteurs. Ensuite, nous avons collecté les réponses des questionnaires distribués afin de les analyser.

Nous présentons les réponses des étudiants sur les deux questions suivantes :

Question 1. Comment vous voyez l'utilisation du système?

Question 2. Comment vous voyez l'efficacité de l'utilisation du système?

Les résultats sont présentés sur les deux figures suivantes 5.8 et 5.9 :

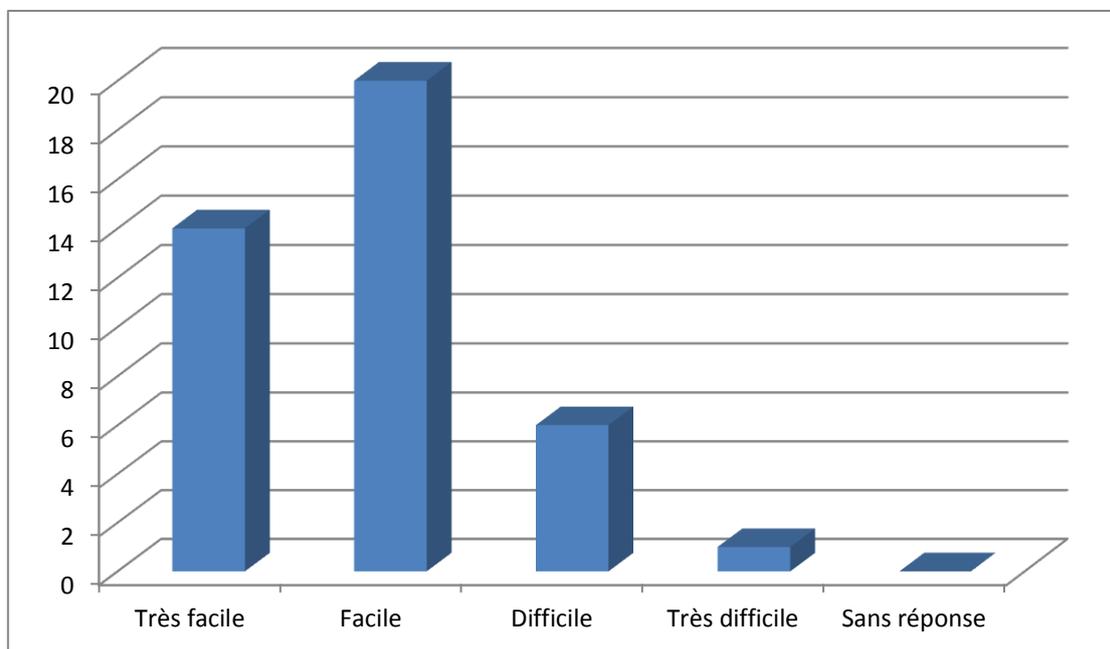


Figure 5.8. Les réponses des étudiants sur la question 1 (Expérimentation 1).

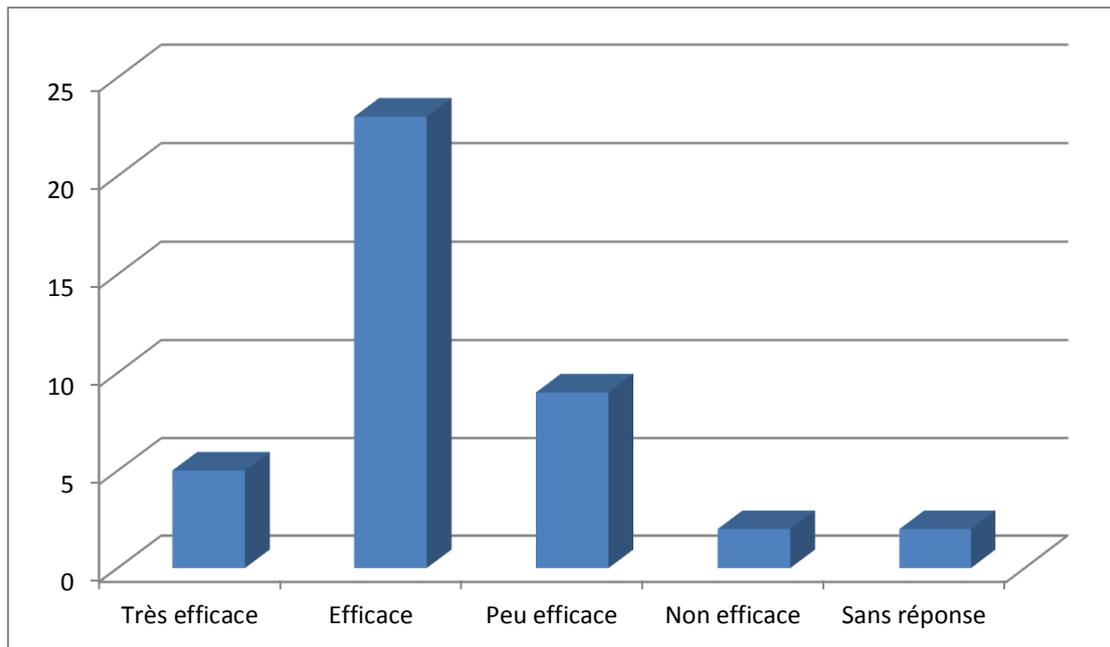


Figure 5.9. Les réponses des étudiants sur la question 2 (Expérimentation 1).

En analysant les résultats du questionnaire, nous observons que les étudiants ont jugé que l'utilisation du système est facile et efficace.

5.4. Besoins des acteurs d'apprentissage

Les acteurs d'apprentissage ont exprimé leurs différents besoins pour l'amélioration du système, nous citons quelques-uns :

- Manque d'interaction et de collaboration entre les acteurs du système.
- Manque de communication instantanée entre les apprenants et leurs tuteurs.

En se basant sur les besoins et les observations des acteurs d'apprentissage, nous avons amélioré la plateforme LETline en rajoutant des différents outils de collaboration.

La figure 5.10 présente l'une des interfaces de l'espace d'apprenant du système LETline 2.0, tandis que l'une des interfaces de l'espace d'enseignant du système LETline 2.0 est présentée dans la Figure 5.11.

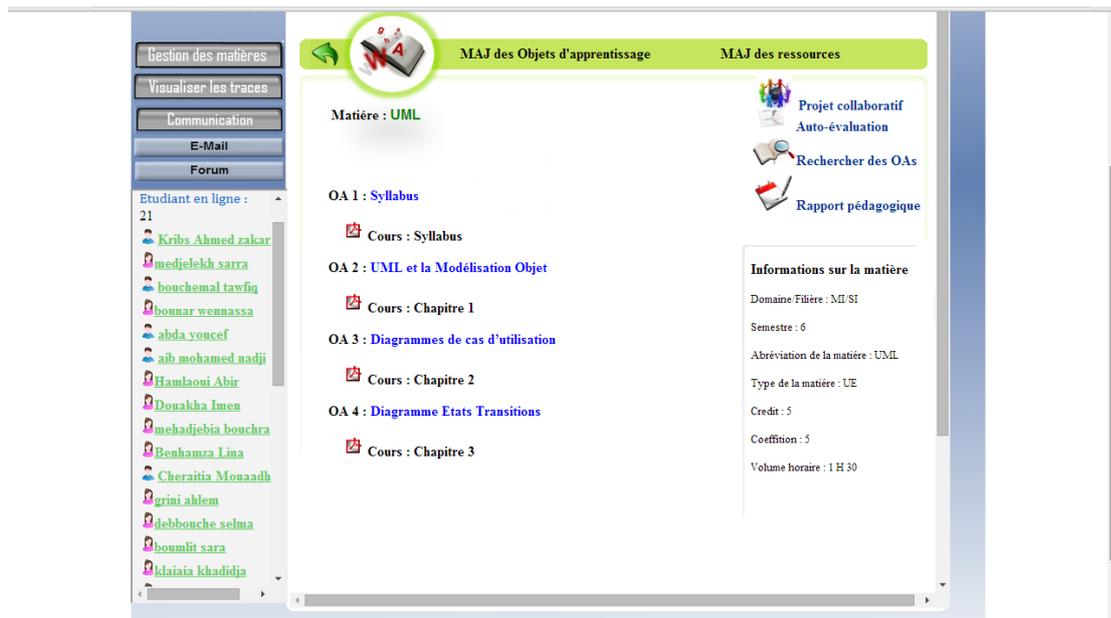


Figure 5.10. Interface de l'espace d'apprenant du système LETline 2.0.

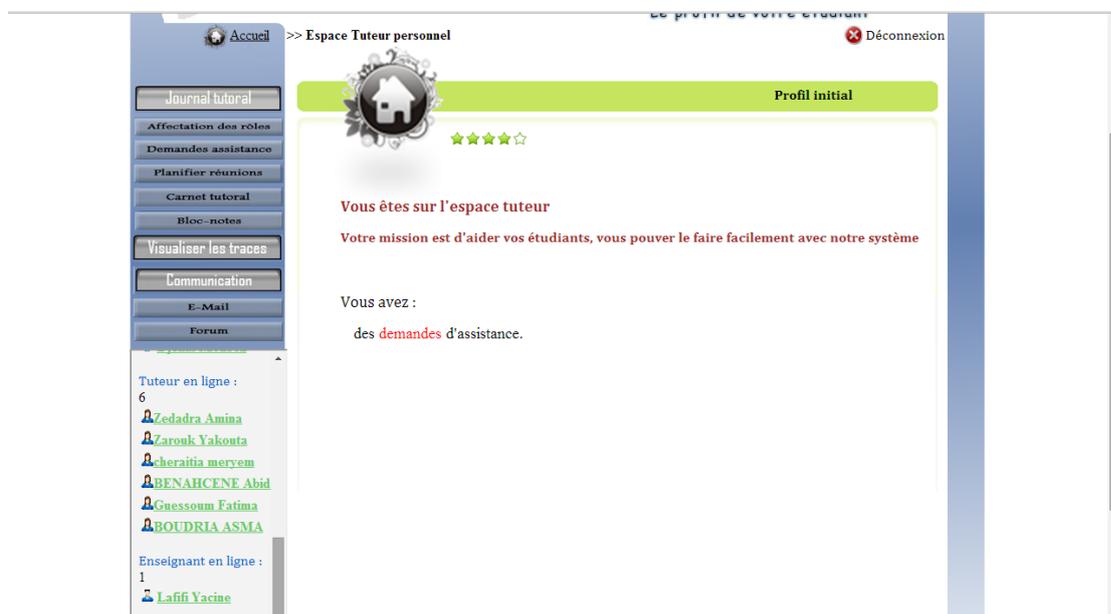


Figure 5.11. Interface de l'espace d'enseignant du système LETline 2.0.

6. Expérimentation 2 : Test du système de détection des mauvais parcours

6.1. Objectif

Cette expérimentation a comme objectif d'expérimenter le système LETline 2.0 contenant un système d'assistance automatique aux apprenants en se basant sur leurs traces laissées dans LETline 2.0.

6.2. Contexte

De mars à mai 2013, une expérimentation a été menée au département d'informatique à l'Université de Guelma (Algérie). Les participants étaient des enseignants, des tuteurs et des étudiants de la deuxième année (spécialité: Systèmes d'information). Tous ces participants peuvent utiliser la plateforme à partir de tout ordinateur sur <http://www.labstic.com/letline>

Les étudiants et les tuteurs peuvent accéder à la plateforme LETline 2.0 après toute inscription réussie. Chaque tuteur a ses propres groupes (un à cinq groupes en fonction de leurs préférences). L'attribution des tuteurs est effectuée par l'administrateur manuellement.

L'expérimentation a été effectuée en deux phases: la première a été faite sans utiliser le sous-système AIS4FT, tandis que la seconde étape a été faite en utilisant le sous-système AIS4FT. Au cours de la période expérimentale, les étudiants apprennent les concepts du module 'Théorie des langages'. Deux questionnaires ont été proposés par l'enseignant qui est le responsable du module. Ces questionnaires contiennent une série de questions sur deux objets d'apprentissage 'langages' et 'les expressions régulières'. Chaque questionnaire (voir Annexe 1) est composé d'un ensemble de questions à choix multiples (QCM).

Dans la première étape de l'expérimentation, un pré-test (premier questionnaire) a été donné pour évaluer les profils cognitifs des apprenants sans un système assistant. Cependant, dans la deuxième étape, un post-test (deuxième questionnaire) a été donné pour mesurer l'utilité du sous-système proposé sur les profils cognitifs des apprenants. Les profils cognitifs ont été calculés en se basant sur les résultats des questionnaires (réponses des étudiants sur les questions proposées). Nous avons adopté les mêmes formules proposées pour le calcul des profils cognitifs établies par Lafifi et son équipe (Lafifi et al., 2010a).

Nous avons choisi au hasard dix étudiants afin de vérifier l'utilité de la recommandation proposée aux étudiants lors de l'interaction avec les autres, et pour vérifier notre hypothèse de l'expérimentation. Lors de l'utilisation du système, les étudiants peuvent visualiser leurs profils cognitifs et leurs profils comportementaux. En outre, les tuteurs peuvent visualiser les profils de leurs apprenants pour les aider.

6.3. Observations et résultats obtenus

L'hypothèse de la recherche est:

- Hypothèse nulle H0: l'utilisation des techniques des systèmes immunitaires artificiels (SIA) ne peut pas aider les étudiants à améliorer leurs profils cognitifs (processus d'apprentissage).

Afin de vérifier notre hypothèse, nous avons calculé la différence entre les profils cognitifs des étudiants. Pour ce faire, chaque étudiant doit répondre à certaines questions d'évaluation.

Comme nous avons le même échantillon des étudiants qui a utilisé le système en deux phases (avant et après) et que le nombre des étudiants est inférieur à 30, nous avons utilisé le test du t-student apparié.

Avant d'utiliser le test t-student, nous devons nous assurer que les données sont normalement distribuées. Pour ce faire, nous avons utilisé le test de Shapiro-Wilk. Les résultats obtenus dans les deux échantillons sont: données pré-test: $W = 0,86$, $P = 0,07$; les données post-test: $W = 0,95$, $P = 0,74$. La valeur du P_{value} dans les deux échantillons est supérieure au niveau de signification $P = 0,05$. Alors, nos ensembles de données sont normalement distribués (Zedadra et Lafifi, 2015).

Pour savoir si la différence est significative entre les deux moyens, un test t-student apparié est approprié pour comparer comment un score du groupe varie dans deux conditions du test différentes (taille de l'échantillon est égal à dix). Le logiciel R est utilisé pour calculer les données statistiques. Les résultats suivants sont obtenus avec un niveau de 95% ($\alpha = 0,05$) de confiance (Zedadra et Lafifi, 2015).

	<i>N</i>	<i>Moyenne</i>	<i>SD</i>	<i>t_{score}</i>	<i>P_{value}</i>	<i>r</i>
Pré-test	10	2.47	1.80	4,9485	0.0008	- 0.63
Post-test	10	5.81	2.23			

Tableau 5.2. Résultats du test t-student (Zedadra et lafifi, 2015).

De la table du test du t-student, $t_{0,975} = \pm 2,26$, donc $t_{\text{score}} > t_{0,975}$ ($4,94 > 2,26$). Comme résultats, la différence était statistiquement significative. Alors, l'hypothèse nulle H0 est rejetée. De ce fait, l'hypothèse alternative est prouvée et nous pouvons affirmer que 'l'utilisation des techniques des systèmes immunitaires artificiels (SIA) améliore les profils cognitifs des apprenants'.

L'objectif principal de cette approche était d'étudier l'effet du sous-système AIS4FT sur les profils cognitifs des étudiants. Tout d'abord, il y avait une différence significative entre la moyenne du pré-test des étudiants (moyenne = 2,47; SD = 1,80) et la moyenne du post-test des étudiants (moyenne = 5,81; SD = 2,23). Deuxièmement, le test de corrélation de Pearson a également été réalisé pour analyser la corrélation entre les résultats des étudiants. En termes de coefficient de corrélation, la taille de l'effet observé ($r = -0,63$) indique que les scores des étudiants sont négativement corrélés. D'après les résultats obtenus, nous observons que notre système détecte automatiquement les mauvais scénarios et les améliore.

6.4. Les effets de l'algorithme proposé sur la détection des mauvais scénarios

La figure 5.12 présente la variation des scénarios de dix étudiants quand ils sont connectés à la plateforme LETline 2.0 durant les premiers jours.

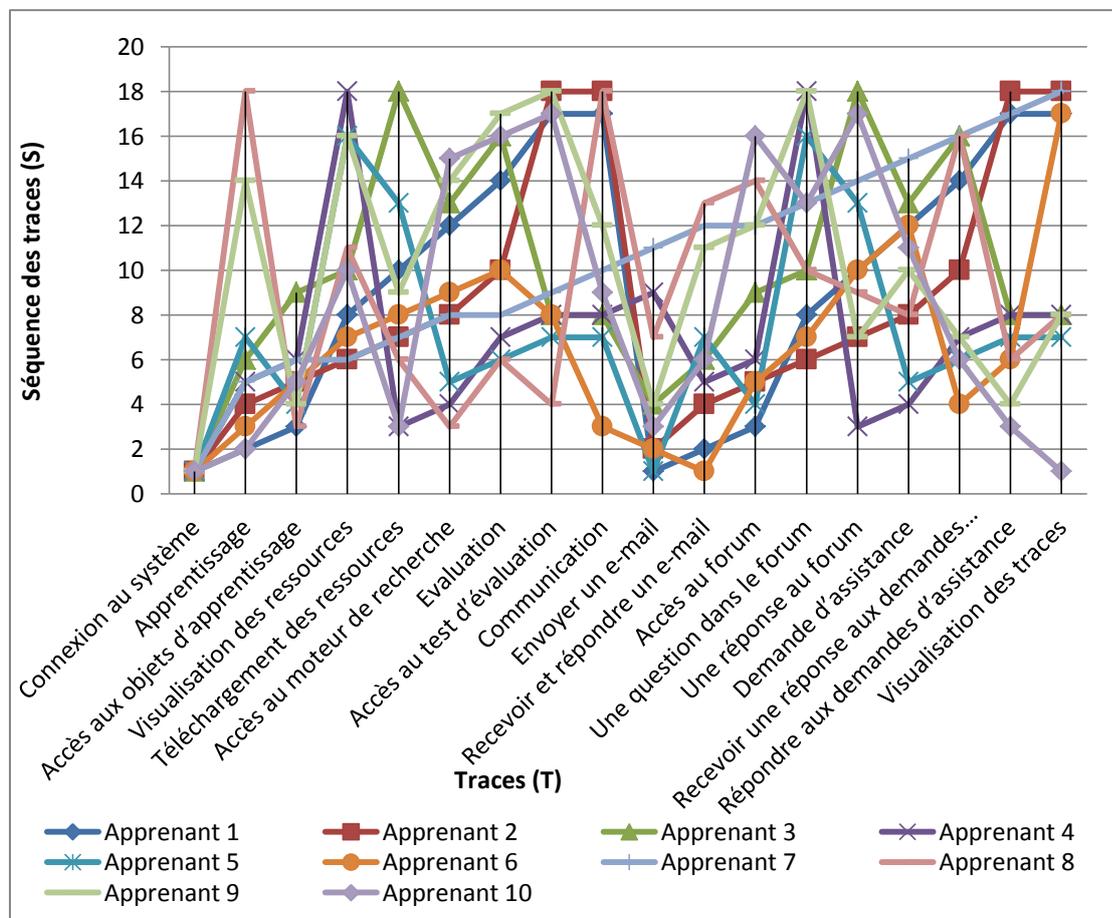


Figure 5.12. Variation des scénarios des étudiants.

Comme le montre la figure 5.12, les abscisses sont les différentes traces et les ordonnées sont l'ordre de traces dans le scénario de chaque apprenant. Chaque trace a sa position dans le

scénario de « un » à « dix-huit » (par exemple, tous les apprenants se connectent au système qui est la première trace dans le scénario, puis chaque apprenant suit ses propres activités). Nous observons que la variation des scénarios des étudiants n'est pas parfaite, cette mauvaise variation revient aux mauvaises navigations des étudiants sur la plateforme, ce qui perd le temps des étudiants dans des mauvais scénarios (Par exemple, l'apprenant 5 a la trace connexion au système (1^{ère} position), évaluation (2^{ème} position), visualisation des ressources (3^{ème} position), recevoir un réponse à une demande d'assistance (4^{ème} position), ce qui résulte un mauvais résultat avec un profil bas).

Figure 5.13 présente la variation des scénarios d'apprentissage des étudiants après l'application de notre algorithme.

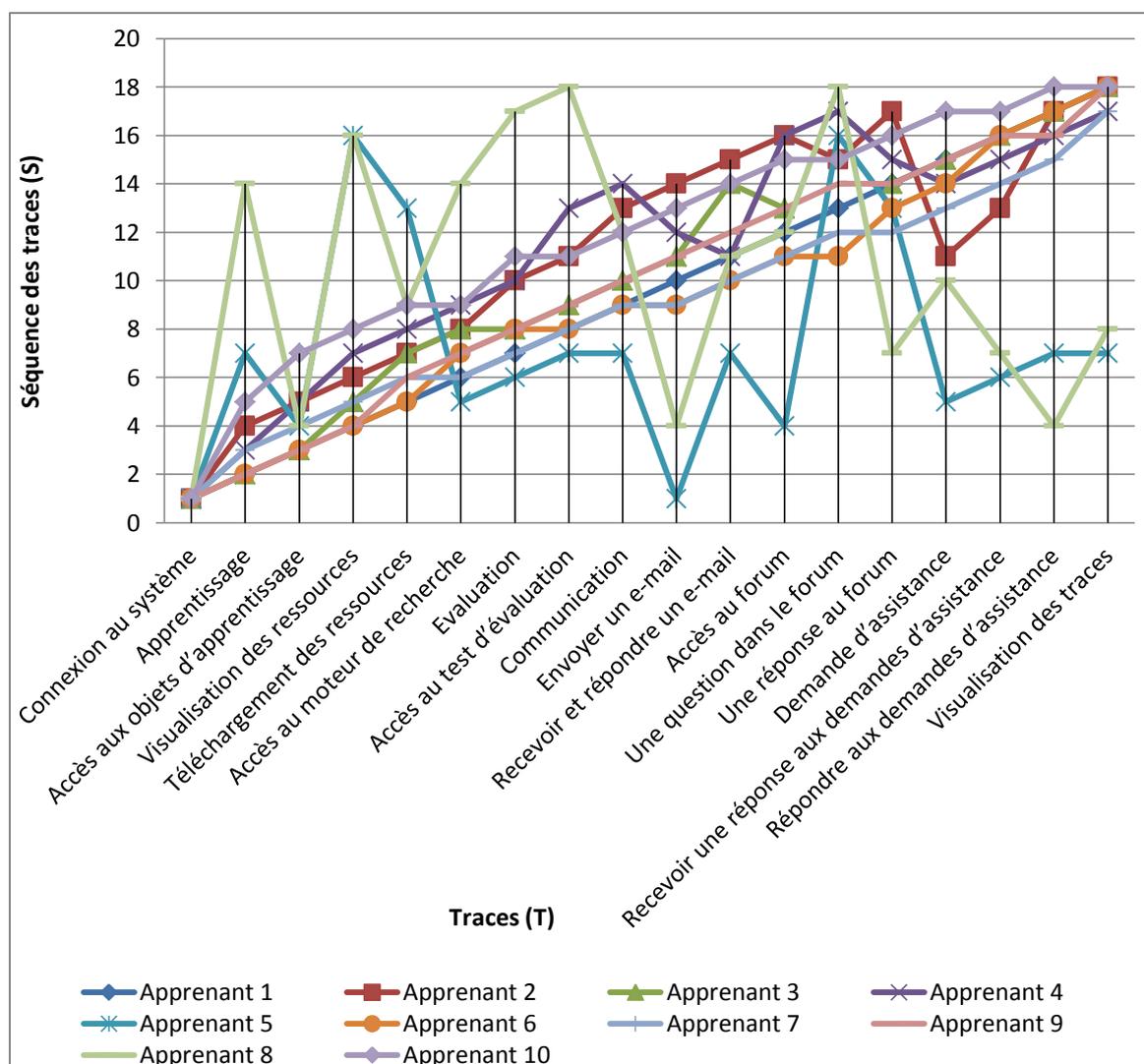


Figure 5.13. Variation des scénarios des étudiants après l'application de l'algorithme proposé.

Comme il est présenté dans la figure 5.13, nous observons que les scénarios des apprenants sont améliorés dans le bon sens, où le sous-système de filtrage détecte les mauvaises traces et recommande les étudiants avec les bons scénarios. Dans la figure 5.13, nous observons que huit apprenants (apprenant 1, apprenant 2, apprenant 3, apprenant 4, apprenant 6, apprenant 7, apprenant 9 et apprenant 10) ont amélioré leurs scénarios en utilisant la recommandation fournie par le sous-système, qui comprend des traces pertinentes (suite d'actions). En effet, le scénario de l'apprenant 5 et l'apprenant 8 n'est pas amélioré parce qu'ils n'ont pas pris en considération les recommandations proposées par le sous-système de filtrage.

Enfin, nous pouvons confirmer que l'introduction des techniques des SIA dans les systèmes ACAO/CSCL pour détecter les mauvais scénarios d'apprentissage donne de bons résultats.

7. Expérimentation 3 : Interprétation des traces

7.1. Objectif

Cette expérimentation a un double objectif. Elle consiste d'une part, à savoir l'impact d'interprétation des traces si elle aide les apprenants à connaître leurs états et si elle fournit aux tuteurs une perception sur le comportement de leurs groupes. D'autre part, cette expérimentation vise à vérifier si les outils de collaboration sont conformes aux besoins des apprenants.

7.2. Contexte

Cette deuxième expérimentation a été effectuée du septembre 2013 à février 2014. Elle a impliqué 8 tuteurs et 39 étudiants de la troisième année licence en informatique à l'université de Guelma (spécialité : systèmes d'information).

Au cours de l'expérimentation, les apprenants peuvent visualiser leurs traces et peuvent voir leur interprétation. Dans l'espace du tuteur, les tuteurs peuvent visualiser les traces de leurs groupes et gérer les demandes d'assistance de leurs apprenants.

À la fin de l'expérimentation, nous avons distribué un questionnaire (voir Annexe 2) aux étudiants et aux tuteurs qui ont utilisé le système. Le questionnaire contient 20 questions sur les caractéristiques du système et les appréciations des tuteurs et des étudiants.

7.3. Observations et résultats obtenus

Dans le cadre de nos observations, nous avons analysé les réponses des acteurs d'apprentissage sur le questionnaire distribué (voir Annexe 2).

7.3.1. Impact de l'interprétation sur l'activité des apprenants

Dans cette section, nous voulons examiner la pertinence de l'interprétation des traces dans les environnements d'apprentissage collaboratif. Nous présentons dans cette partie les réponses des étudiants sur deux questions.

Question 1. Comment trouverez-vous l'interprétation des traces?

Question 2. Quelle est la meilleure méthode d'interprétation des traces : Agent conversationnel animé ou représentations graphiques/textuelles?

Nous avons obtenu pour la première question comme résultats :

- Dans 15 % des cas (soit 6 apprenants) où les apprenants ont apprécié l'interprétation et ont trouvé que cette approche est très efficace.
- 20 apprenants ont trouvé que le système est efficace.
- Dans 10 % des cas où les apprenants ont jugé que le système est peu efficace.
- 8% des cas où les apprenants ont trouvé que le système n'est pas efficace.
- 6 apprenants n'ont pas répondu sur cette question du questionnaire.

Nous avons obtenu pour la deuxième question comme résultats :

- Dans 28 % des cas (soit 11 apprenants) où les apprenants ont apprécié l'interprétation en utilisant les agents conversationnels animés.
- 18 apprenants ont apprécié l'interprétation en utilisant les représentations graphiques et textuelles.
- 16 % des cas où les apprenants ont jugé que l'interprétation en utilisant l'hybridation des deux méthodes est la meilleure.
- 4 apprenants n'ont pas répondu sur cette question du questionnaire.

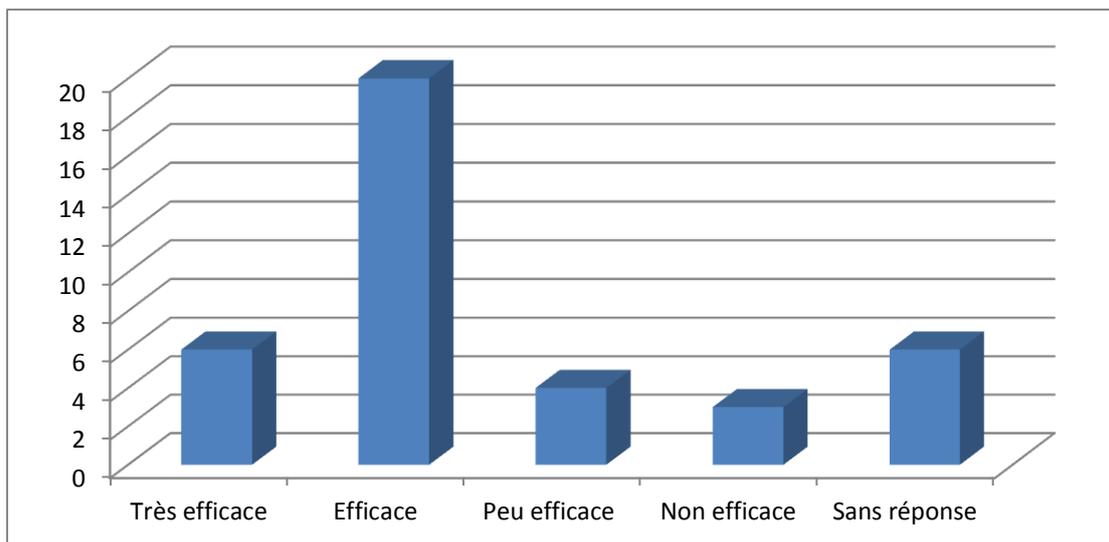


Figure 5.14. Les réponses des étudiants sur la question 1 (Expérimentation 3).

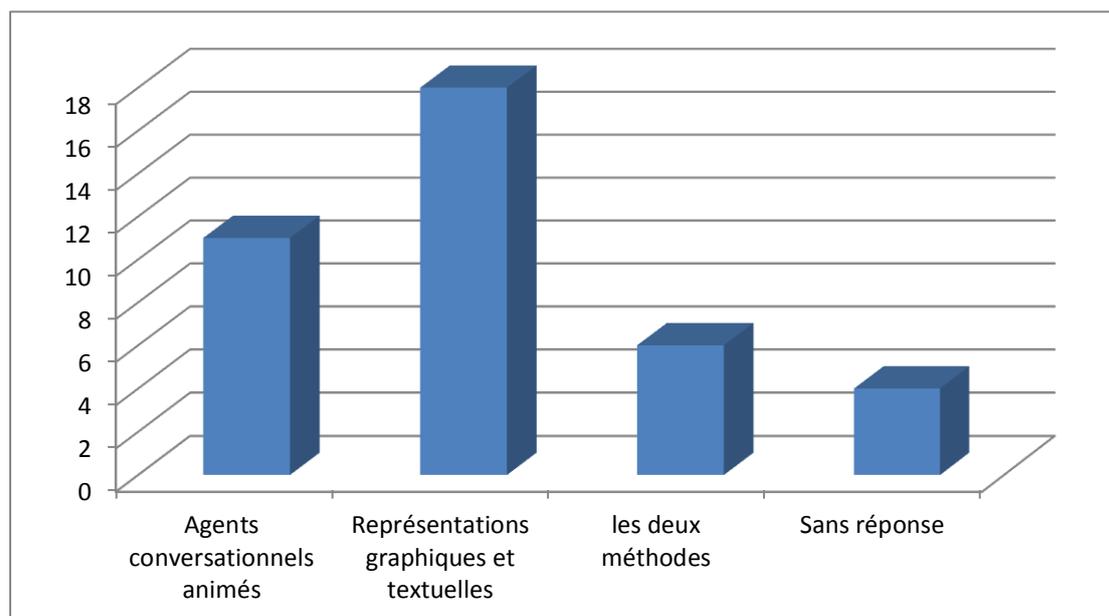


Figure 5.15. Les réponses des étudiants sur la question 2 (Expérimentation 3).

En analysant les résultats du questionnaire, nous apercevons que les étudiants ont trouvé que l'interprétation des traces est efficace. Aussi, les étudiants ont apprécié les deux méthodes d'interprétation des traces soit en utilisant les agents conversationnels animés soit en utilisant les représentations graphiques et textuelles.

7.3.2. Impact de l'interprétation sur l'activité des tuteurs

Nous présentons les réponses des tuteurs sur deux questions relatives à l'impact de l'interprétation des traces.

Question 1. Comment trouvez-vous l'interprétation des traces?

Question 2. Est-ce que l'interprétation des traces vous a aidé à savoir les états de vos apprenants?

Nous avons obtenu pour la première question comme résultats :

- Dans 12,5 % des cas (soit un seul tuteur) où les tuteurs ont apprécié l'interprétation et ont trouvé que cette approche est très efficace.
- Cinq tuteurs ont trouvé que le système est efficace.
- Un seul tuteur a jugé que le système est peu efficace.
- 12,5 % des cas où les tuteurs ont trouvé que le système n'est pas efficace.

Nous avons obtenu pour la deuxième question comme résultats :

- Dans 87,5 % des cas, où les tuteurs ont apprécié l'interprétation, car elle vise à fournir une information sur le comportement de leurs apprenants.
- Un seul tuteur a trouvé que l'interprétation ne donne pas une information sur le comportement de ses apprenants.

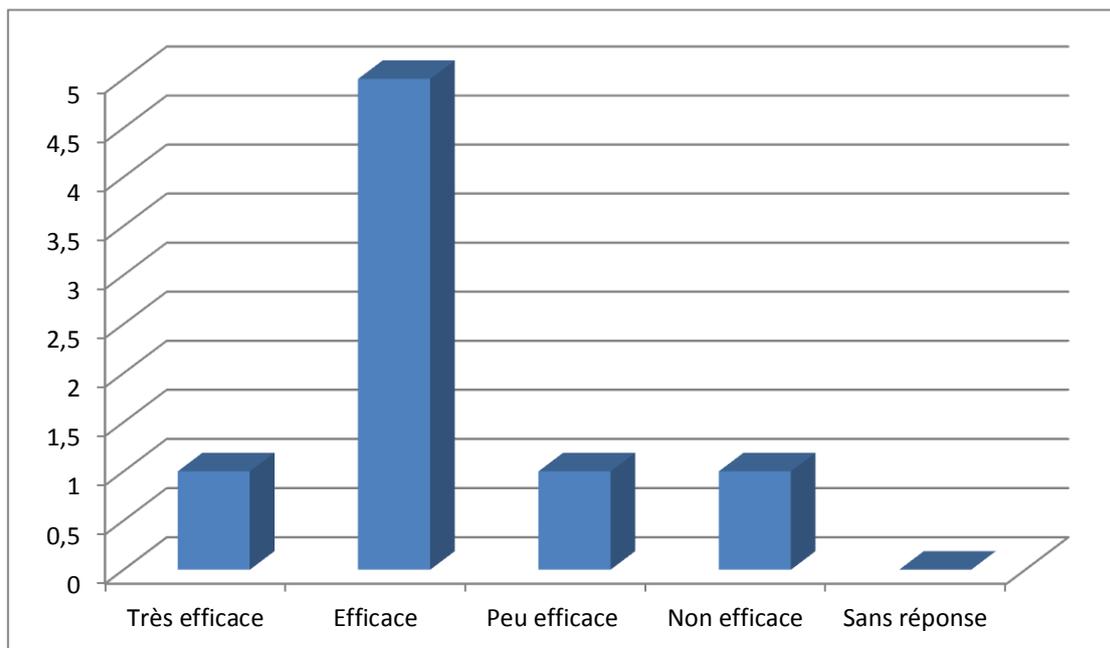


Figure 5.16. Les réponses des tuteurs sur la question 1 (Expérimentation 3).

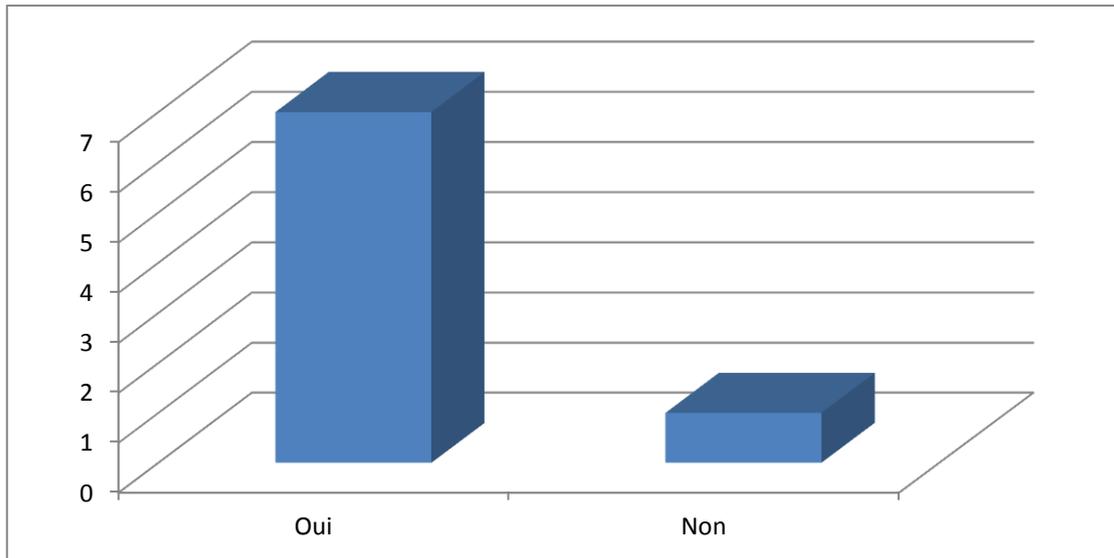


Figure 5.17. Les réponses des tuteurs sur la question 2 (Expérimentation 3).

Comme il est indiqué sur les deux figures 5.16 et 5.17, nous observons que les tuteurs ont trouvé que l'interprétation des traces est efficace. Aussi, les tuteurs ont trouvé que l'interprétation des traces donne une perception sur le comportement de leurs apprenants.

7.3.3. Appréciation des apprenants aux outils de collaboration

Nous présentons les réponses des étudiants sur quelques questions relatives à l'utilisation des outils de collaboration.

Question 3. Comment trouvez-vous les outils de collaboration?

Question 4. Comment trouvez-vous la collaboration par messagerie électronique?

Question 5. Comment trouvez-vous la collaboration par les réunions virtuelles?

Question 6. Comment trouvez-vous la collaboration par la messagerie instantanée?

Question 7. Comment trouvez-vous la collaboration par le forum?

Les résultats sont présentés sur les deux figures suivantes 5.18 et 5.19 :

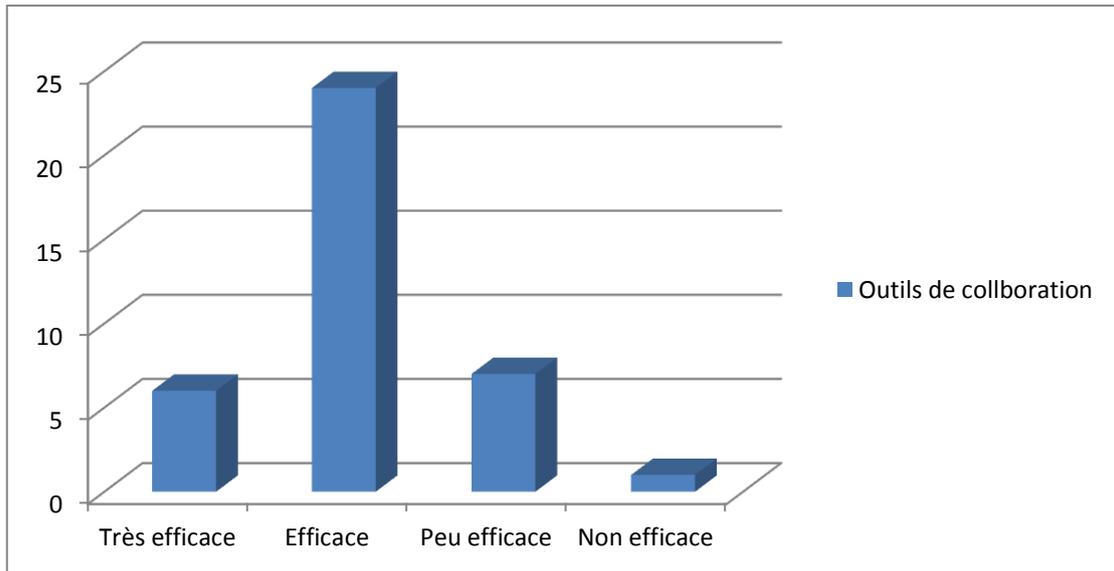


Figure 5.18. Les réponses des étudiants sur la question 3 (Expérimentation 3).

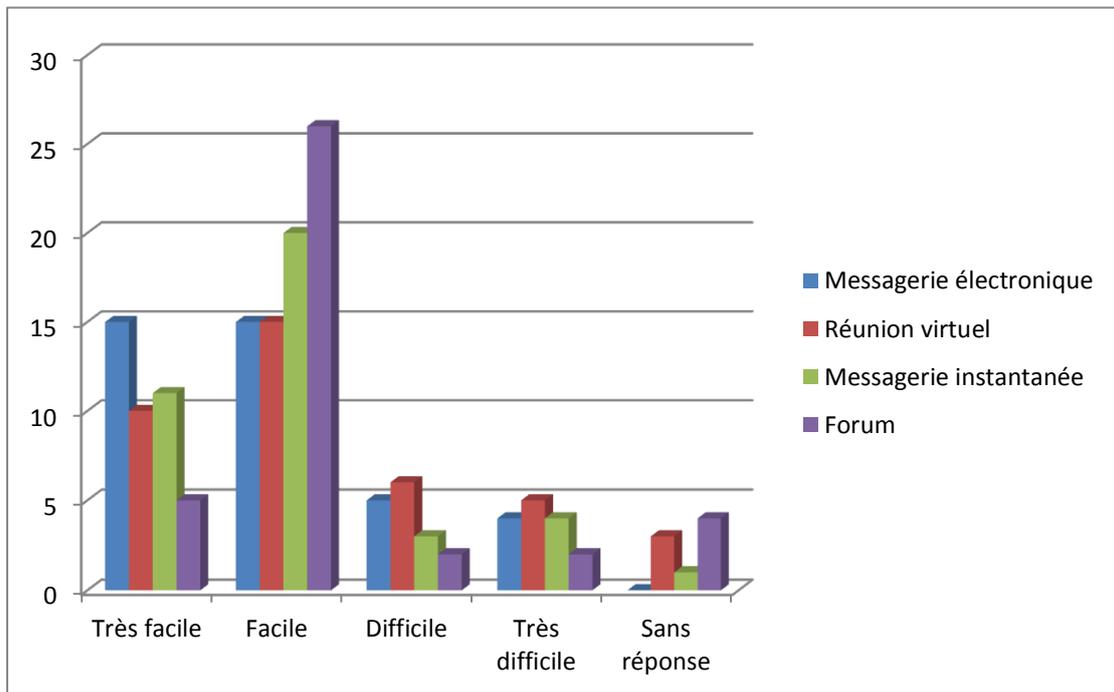


Figure 5.19. Les réponses des étudiants sur les questions [4, 5, 6 et 7] (Expérimentation 3).

Après l’analyse des réponses du questionnaire, nous remarquons que les étudiants ont jugé que les outils de collaboration sont efficaces pour enrichir la communication entre les membres. Aussi, les étudiants ont trouvé que l’utilisation des outils fournis est facile à exploiter.

7.3.4. Observations des tuteurs et des étudiants

Après cette expérimentation, les tuteurs ont rencontré quelques difficultés et problèmes. Nous donnons quelques-uns :

- L'absence d'un guide électronique pour les nouveaux tuteurs.
- L'absence de messages pour encourager les tuteurs au cours de leurs tâches avec les étudiants.

De leurs côtés, les étudiants ont apprécié la qualité de l'interprétation de leurs traces. Toutefois, ils ont exprimé certaines difficultés:

- Certains étudiants ont cité l'absence de leurs tuteurs.
- Certains étudiants voient que les réponses des tuteurs sur leurs demandes d'assistance ont été trop tard.
- L'absence de visualisation des sujets mises à jour faites par les enseignants.

En outre, les tuteurs et les étudiants ont exprimé quelques propositions:

- Ajout de nouvelles représentations afin de refléter la situation réelle de l'apprenant pour les tuteurs.
- Laisser le choix de la forme de l'agent pour chaque apprenant/tuteur.
- Améliorer les outils de collaboration entre les apprenants.

8. Conclusion

Dans ce travail de recherche, nous avons implémenté trois outils destinés respectivement pour la détection des mauvais parcours, l'interprétation des traces et le regroupement des apprenants. Tous ces outils ont été expérimentés dans un contexte d'apprentissage à distance. Les résultats de ces expérimentations nous permettent d'extraire les besoins et les difficultés des acteurs d'apprentissage dans la plateforme utilisée LETline, ce qui nous a amené à améliorer le système dans sa nouvelle version LETline 2.0.

Nous avons mené dans des différentes périodes trois expérimentations dans un contexte d'apprentissage collaboratif. À travers les résultats de ces trois expérimentations, toutes nos propositions ont été approuvées et validées. Les résultats de ces expérimentations ont été encourageants.

Conclusion générale et Perspectives

Bilan des travaux et apports de la thèse

L'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur est un champ de recherche qui vise à améliorer la qualité de l'apprentissage à distance en introduisant la possibilité de la collaboration entre les apprenants. Toutes les interactions des apprenants seront enregistrées comme des traces d'apprentissage pour une utilisation ultérieure. Ces traces souffrent de leur grand nombre, leurs différents types, ainsi que le manque de leurs aspects sémantiques pour qu'ils soient compréhensibles par les acteurs humains.

Notre axe de recherche s'articule sur l'interprétation des traces des apprenants dans les systèmes d'apprentissage collaboratif afin de les assister en utilisant des différentes méthodes d'assistance et de suivi. La première contribution de ce travail de recherche est l'utilisation des techniques des systèmes immunitaires artificiels pour le filtrage des traces non pertinentes. De ce fait, nous avons présenté un apport, que nous considérons très important dans l'amélioration de l'apprentissage des apprenants. Pour cela, nous avons proposé un algorithme de détection des mauvais parcours à base de traces dans les systèmes d'apprentissage collaboratif. Ce système est conçu pour détecter les traces non pertinentes faites par les apprenants et les recommander par celles pertinentes en envoyant des messages électroniques automatiquement. Ces derniers contiennent des bons scénarios (une bonne suite d'actions à suivre). Les résultats obtenus montrent la faisabilité et les avantages de l'utilisation des techniques des systèmes immunitaires artificiels pour la détection des mauvais parcours dans les systèmes d'ACAO.

La deuxième contribution est la proposition d'un outil pour l'interprétation des traces. Donc, nous avons fourni aux apprenants et aux tuteurs des interprétations des traces laissées par les apprenants. Ces interprétations sont des représentations graphiques et textuelles. Aussi, le système offre une interprétation verbale en utilisant les agents conversationnels animés. Ces derniers sont des agents ayant des comportements cognitifs. Ils offrent aux apprenants une interprétation de tous leurs moments de changement du comportement. Ces interprétations permettent aux apprenants de s'autoréguler leurs activités d'apprentissage, car elles offrent des conseils de chaque moment de changement du comportement. En outre, elles offrent aux tuteurs une perception des comportements de leurs apprenants/groupes d'apprenants.

D'autre part, nous avons proposé et implémenté une nouvelle méthode de regroupement. Cette dernière permet de regrouper les apprenants ayant des profils hétérogènes dans des groupes homogènes. Après une étude bibliographique sur les techniques de regroupement des apprenants, nous avons remarqué que les méthodes de regroupement existantes souffrent d'un problème majeur où elles regroupent les apprenants d'une manière statique. De ce fait, nous avons modélisé un phénomène naturel collaboratif (déplacement des pingouins dans la saison d'hiver afin de protéger leurs vies du froid) pour proposer une nouvelle technique de regroupement dynamique. Cette technique permet de mettre à jour les positions des apprenants dans des groupes différents dans chaque projet collaboratif.

Toutes nos contributions décrites précédemment ont été testées avec des étudiants universitaires de différents niveaux. A chaque expérimentation menée, des mesures statistiques ont été extraites et discutées. Les résultats obtenus sont jugés très intéressants et ont permis de valider nos choix et propositions.

Perspectives

Comme nous avons déjà signalé précédemment, les résultats obtenus de nos approches sont encourageants. Aussi, nous considérons que les résultats des expérimentations menées sur notre système sont très satisfaisants et prometteurs. Mais, il est néanmoins important de noter que nos approches sont loin d'être finies et qu'elles doivent évoluer (nous l'espérons dans un futur proche). Par conséquent, ce travail de recherche dégage plusieurs perspectives. Pour cela, nous proposons les futures visions suivantes.

1. Amélioration de l'algorithme de détection des mauvais parcours

L'algorithme des systèmes immunitaires artificiels détecte les mauvais parcours faits par les apprenants lors de leurs processus d'apprentissage automatiquement. Mais, il souffre du problème du temps de calcul plus élevé. Plus précisément, avec l'augmentation de traces dans la base de données initiale, l'exécution de l'algorithme avait pris beaucoup de temps. Donc, nous proposons un nouvel algorithme de classification des données de la base initiale. L'algorithme de classification des traces vise à classer la base de données initiale en plusieurs classes. Après l'application de l'algorithme amélioré, le système permettra de récupérer la

trace similaire à celles arrivées seulement dans les classes constituées par l'algorithme de classification et non pas dans la base de données entière.

2. Amélioration de l'algorithme de regroupement dynamique des apprenants

Nous proposons plusieurs perspectives dans le regroupement des apprenants. Premièrement, nous envisageons d'expérimenter le système développé sur des projets collaboratifs. Deuxièmement, nous prévoyons de résoudre le problème de démarrage à froid par la proposition des techniques d'initialisation des profils cognitifs et comportementaux de chaque apprenant. Finalement, nous voulons comparer les méthodes de regroupement proposées avec les autres méthodes dans le même environnement et avec le même échantillon.

Nous espérons grandement que ce travail puisse apporter une modeste contribution aux problèmes du e-learning, et nous souhaitons vivement prolonger nos travaux de recherche jusqu'à leurs aboutissements.

Bibliographie

Abdelhadi, A., Mouss, L.H., & Kadri, O. (2010). *Algorithmes du système immunitaire artificiel pour la surveillance industrielle*. International Conference On Industrial Engineering and Manufacturing, 9-10 Mai, Batna, Algérie.

Abnar, S., Orooji, F., & Taghiyareh, F. (2012, Janvier). An evolutionary algorithm for forming mixed groups of learners in web based collaborative learning environments. *2012 IEEE International Conference on Technology Enhanced Education (ICTEE)*, (pp. 1-6). IEEE.

Ait-Adda, S. (2008). *Vers une adaptabilité des parcours d'apprentissage par l'analyse des interactions*. Mémoire de magister, Institut National D'informatique, Alger, Algérie.

Ait-Adda, S., Balla, A., & Zucker, C.F. (2012). *Gestion de l'expérience d'apprentissage à base de traces pour l'adaptabilité dans un EAIH*. SNTE'2012, 6-7 Mars, Guelma, Algérie.

Al-enezi, J.R., Abbod, M.F., & Alsharhan, S. (2010). Artificial immune systems – models, algorithms and applications. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences IJRRAS*, 3(2), 118-131.

Alfonseca, E., Carro, R. M., Martín, E., Ortigosa, A., & Paredes, P. (2006). The impact of learning styles on student grouping for collaborative learning: a case study. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 16(3-4), 377-401.

Al-Otaibi, S. T., & Ykhlef, M. (2014, Juillet). An Artificial Immune System for job recommendation. *International Work Conference on Bio-inspired Intelligence (IWOB)*, (pp. 37-43). IEEE.

Analoui, B. D., Sambrook, S., & Dolorient, C. H. (2014). Engaging students in group work to maximise tacit knowledge sharing and use. *The International Journal of Management Education*, 12(1), 35-43.

Aronson, A. (1978). *The Jigsaw classroom*. Beverly Hills, CA: Sage.

Artigues, F.F. (2009a). *Un système tutoriel intelligent à base de système immunitaire artificiel*. Rapport de Master, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest, France.

Artigues, F.F. (2009b). *Reconnaissance d'actions à partir des traces d'utilisation*. Rapport de Master, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest, France.

Barani, F. (2014, Février). A hybrid approach for dynamic intrusion detection in ad hoc networks using genetic algorithm and artificial immune system. *Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS)* (pp. 1-6). IEEE.

Barré, V., & Choquet, C. (2005). *Une aide à la réingénierie d'un scénario pédagogique via la préconisation et la formalisation d'observables*. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH'2005, 25-27 Mai, Montpellier, France.

- Barros, B., & Verdejo, M. F. (2000). Analysing student interaction processes in order to improve collaboration. The DEGREE approach. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11(3), 221-241.
- Beckes, L., & Coan, J.A. (2011). Social baseline theory: The role of social proximity in emotion and economy of action. *Social and Personality Psychology Compass*, 5(12), 976-988.
- Behaz, A. (2012). *Environnement numérique de travail de type hypermédia adaptatif dynamique*. Thèse de doctorat, Université de Batna, Algérie.
- Bendiab, E. (2011). *Vie artificielle, analyse, traitement et fouille de données*. Thèse de doctorat, Université de Constantine, Algérie.
- Benraouane, S.A. (2011). *Guide pratique du e-Learning: stratégie [ie stratégie], pédagogie et conception avec le logiciel Moodle*. Dunod.
- Besnaci, M. (2012). *Interprétation des traces d'interaction dans un EIAH par appariement structurel*. Les rencontres jeunes chercheurs en EIAH, 23-24 Mai, Amiens, France.
- Betbeder, M.L., Reffay, C., & Chanier, T., (2006). *Environnement audio graphique synchrone : recueil et transcription pour l'analyse des interactions multimodales*. Acte des Premières journées Communication et Apprentissage instrumentés en réseau, JOCAIR 2006, 6-7 juillet, Amiens, France.
- Blanchette, F., Waters, A., & Kim, A. (2012). Modeling huddling penguins. *Bulletin of the American Physical Society*, 57.
- Bousbia, N. (2011a). *Analyse des traces de navigation des apprenants dans un environnement de formation dans une perspective de détection automatique des styles d'apprentissage*. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure d'Informatique, Alger, Algérie.
- Bousbia, N. (2011b). *Traces de navigation des apprenants dans un environnement de formation sur le web*. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH'2011, 24-27 Mai, Mons, Belgique.
- Bouvier, P., Sehaba, K., Lavoué, E., & George, S. (2013, Juillet). Using Traces to Qualify Learner's Engagement in Game-Based Learning. *13th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 432-436). IEEE.
- Broisin, J., & Vidal, P. (2007). Une approche conduite par les modèles pour le traçage des activités des utilisateurs dans des EIAH hétérogènes. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, 14, 1-18.
- Buisine, S. (2005). *Conception et Evaluation d'Agents Conversationnels Multimodaux Bidirectionnels*. Thèse de doctorat, René Descartes, France.
- Carlier, F., & Renault, V. (2010). iFrimousse: Portails web éducatifs augmentés de terminaux mobiles. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, 17, 1-14.
- Chabane, Y. (2006). *Elaboration d'un contrôleur adaptatif pour un robot mobile base sur les réseaux immunitaires artificiels*. Mémoire d'ingénieur, Blida, Algérie.

- Champin, P.A. (2003). *ARDECO : an assistant for experience reuse in CAD*. From Structured Cases to Unstructured Problem Solving Episodes for Experience-Based Assistance (Workshop 5 of ICCBR'03), 23-26 Juin, Trondheim, Norway.
- Champin, P.A., & Prié, Y. (2002). *Musette: un modèle pour réutiliser l'expérience sur le web sémantique*. Journées scientifiques Web sémantique, 10-11 Octobre, Paris, France.
- Chang, A., Liao, J.F., Chang, P.C., Teng, C.H., & Chen, M.H. (2014, Mai). Application of artificial immune systems combines collaborative filtering in movie recommendation system. *Proceedings of the 2014 IEEE 18th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, (pp. 277-282). IEEE.
- Cheype, A. (2006). *Recherche de motifs séquentiels pour guider l'interprétation des traces d'apprentissage dans un EAIH*. 1^{ère} Rencontres Jeunes Chercheurs en EAIH, 11-12 Mai, Every, France.
- Choquet, C., & Iksal, S. (2007). Modeling Tracks for the Model Driven Re-engineering of a TEL System. *Journal of Interactive Learning Research*, 18(2), 161-184.
- Christodoulopoulos, C.E., & Papanikolaou, K.A. (2007, Octobre). A group formation tool in an e-learning context. *19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence* (Vol. 2, pp. 117-123). IEEE.
- Chu, K.K., Lee, C.I., & Tsai, R.S. (2011). Ontology technology to assist learners' navigation in the concept map learning system. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11293-11299.
- Cisel, M., & Bruillard, E. (2012). Chronique des MOOC. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, 19, 1-18.
- Clauzel, D., Sehaba, K., & Prié, Y. (2011). Enhancing synchronous collaboration by using interactive visualisation of modelled traces. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(1), 84-97.
- Cordier, A., Mascret, B., & Mille, A. (2010). *Raisonnement à partir de cas dynamique pour la réutilisation contextuelle de l'expérience*. 18^{ème} Atelier de raisonnement à partir de cas, 29-30 Juin, Strasbourg, France.
- Craig, M., Horton, D., & Pitt, F. (2010, Novembre). Forming reasonably optimal groups: (FROG). *Proceedings of the 16th ACM international conference on Supporting group work* (pp. 141-150). ACM.
- Cram, D. (2007). *Visualisation de Traces : Application aux Traces Réflexives d'eLycée*. Rapport de recherche, université Claude Bernard, Lyon, France. Disponible sur « <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=3001> ». ».
- Cram, D. (2010). *Découverte interactive de chroniques : application à la coconstruction de connaissances à partir de traces*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon, France.
- Cram, D., Jouvin, D., & Mille, A. (2007). Visualisation interactive de traces et réflexivité : application à l'EIAH collaboratif synchrone EMEDIATHEQUE. *Revue des Sciences et*

Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement et la Formation, Spécial issue : Analyses des traces d'utilisation dans les EIAH, 14. Disponible sur « <http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2007/06-cram/sticef2007cram06.htm> ».

Cutello V., Narzisi G., Nicosia G., & Pavone M. (2005). *An Immunological Algorithm for Global Numerical Optimization*. Artificial Evolution: 7th Int. Conference, Evolution Artificielle, 26-28 Octobre, Lille, France.

Dabrowski, J., & Kubale, M. (2008, Avril). Computer experiments with a parallel clonal selection algorithm for the Graph Coloring Problem. *International Symposium on Parallel and Distributed Processing, IPDPS 2008* (pp. 1-6). IEEE.

Daele, A., & Berthiaume, D. (2011). *Choisir ses stratégies d'évaluation*. Février 2011, Université de Lausanne, Suisse.

Darouich, A., Khoukhi, F., & Douzi, K. (2013, Octobre). Mining fuzzy motivation indicator in learning environment through Human Computer Interaction. *Science and Information Conference (SAI)* (pp. 712-720). IEEE.

Dasgupta, D. (2006). Advances in artificial immune systems. *Computational intelligence magazine, IEEE*, 1(4), 40-49.

David, J.P., Lejeune, A., Luengo, V., Pernin, J.P., Diagne, F., Adam, J.M., Choquet, C. (2005). State of art of tracking and analysing usage. Délivrable de la tâche 32.3.1 (Final) du projet DPULS, Kaleidoscope, 47p.

De Castro, L. N., & Von Zuben, F. J. (2001). aiNet: an artificial immune network for data analysis. *Data mining: a heuristic approach*, 1, 231-259.

De Castro, L.N. (2001). *An Introduction to the Artificial Immune Systems*. 5th International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms ICANNGA'2001, 22-25 Avril, Prague, Czech Republic.

De Castro, L.N. (2007). Fundamentals of natural computing: an overview. *Physics of Life Reviews*, 4(1), 1-36.

De Castro, L.N., & Timmis, J. (2002). *Artificial immune systems: A novel paradigm to pattern recognition*. SOCO-2002, University of Paisley, UK, pp. 67-84.

De Castro, L.N., & Von Zuben, F.J. (1999). Artificial immune systems: Part I—basic theory and applications. *Universidade Estadual de Campinas, Dezembro de, Tech. Rep*, 210.

De Castro, L.N., & Von Zuben, F.J. (2002). Learning and optimization using the clonal selection principle. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 6(3), 239-251.

Decamps, S. (2014). *La scénarisation pédagogique d'activités collaboratives en ligne*. Thèse de doctorat, Université de Mons, Belgique.

Depover, C., Quintin, J.J., & De Lièvre, B. (2003, Avril). Un outil de scénarisation de formations à distance basées sur la collaboration. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain 2003* (pp. 469-476). ATIEF : INRP.

Diagne, F. (2009). *Instrumentation de la supervision de l'apprentissage par la réutilisation d'indicateurs : Modèles et Architecture*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble, France.

Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning?. *Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches*, 1-19.

Dillenbourg, P., Poirier, C., & Carles, L. (2003). Communautés virtuelles d'apprentissage: e-jargon ou nouveau paradigme. A. Taurisson et A. Sentini. *Pédagogies. Net. Montréal, Presses*, 11-47.

Dimitracopoulou, A., & Bruillard, E. (2006). Enrichir les interfaces de forums par la visualisation d'analyses automatiques des interactions et du contenu. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, 13, 1-40.

Dimitracopoulou, A., Martinez Mones, A, Dimitriadis, Y., Morch, A, Ludvigsen, S., Harrer, A., Hoppe, U., Barros, B., Verdejo, F., Hulshof, C., de Jong, T., Fessakis, G., Petrou, A., Lund, K., Baker, M., Jermann, P., Dillenbourg, P., Kollias, V., Vosniadou, S. (2004). State of the art on Interaction and Collaboration Analysis. Délivrable 26.1.1 du projet ICALT du réseau européen Kaleidoscope.

Djouad, T. (2011). *Ingénierie des indicateurs d'activités à partir de traces modélisées pour un environnement informatique d'apprentissage humain*. Thèse de doctorat, Université Mentouri de Constantine, Algérie.

Djouad, T., Benmohammed, M., & Mille, A. (2010, Mai). Indicators computation from modeled traces in the context of computer Human Learning environment. *International Symposium on Modelling and Implementation of Complex systems, Constantine, Algérie* (pp. 1-7).

Djouad, T., Mille, A. & Benmohammed, M. (2011). *SBT-IM: Système à base de traces-Indicateurs d'interactions Moodle*. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH'2011, 24-27 mai, Mons, Belgique. Disponible sur « <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=5170> ».

Djouad, T., Mille, A., Reffay, C., & Benmohamed, M. (2009). Ingénierie des indicateurs d'activités à partir de traces modélisées pour un Environnement Informatique d'Apprentissage Humain. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, 16, 1-28.

Ehret, C., & Ultes-Nitsche, U.N. (2008). Immune System Based Intrusion Detection System. Information Security for South Africa ISSA'2008, 7-9 Juillet, Johannesburg, South Africa.

Eyssautier-Bavay, C. (2008). *Modèles, langage et outils pour la réutilisation de profils d'apprenants*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble, France.

Feng, W., Li, Y., & Jia, Y. (2011, Aout). Individual behaviour in group formation. *2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC)*, (pp. 2146-2148). IEEE.

- Forrest, S., Perelson, A. S., Allen, L., & Cherukuri, R. (1994, Mai). Self-nonsel self discrimination in a computer. *IEEE Symposium on Security and Privacy* (pp. 202-202). IEEE Computer Society.
- France, L., Heraud, J.M., Marty, J.C., & Carron, T. (2007). *Visualisation et régulation de l'activité des apprenants dans un EIAH tracé*. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH'2007, 27-29 Juin, Lausanne, Suisse.
- Georgeon, O.L., Mille, A., Bellet, T., Mathern, B., & Ritter, F.E. (2012). Supporting activity modelling from activity traces. *Expert Systems*, 29(3), 261-275.
- Georges, F. (2006). *Analyser les traces d'apprentissage pour réguler et améliorer sa pratique d'enseignement en ligne*. Projet de thèse, Belgique.
- Gerum, R.C., Fabry, B., Metzner, C., Beaulieu, M., Ancel, A., & Zitterbart, D.P. (2013). The origin of traveling waves in an emperor penguin huddle. *New Journal of Physics*, 15(12), 125022.
- Gharbi, M. (2006a). *Optimisation grâce aux Systèmes Immunitaires Artificiels*. Rapport de Master, CERV : Centre Européen de Réalité Virtuelle, Brest, France.
- Gharbi, M. (2006b). *Systèmes Immunitaires Artificiels et Optimisation*. Présentation du rapport de Master, CERV : Centre Européen de Réalité Virtuelle, Brest, France.
- Gheraibia, Y., & Moussaoui, A. (2013). Penguins search optimization algorithm (PeSOA). *Recent Trends in Applied Artificial Intelligence* (pp. 222-231). Springer Berlin Heidelberg.
- Ghorbani, F., & Montazer, G.A. (2012, Février). Learners grouping improvement in e-learning environment using fuzzy inspired PSO method. *Third International Conference on E-Learning and E-Teaching (ICELET)*, (pp. 65-70). IEEE.
- Gohau, G. (1990). Le Soi et le non-Soi, ASTER N°10. L'immunologie, Jeux de miroirs. INRP, Cedex, Paris, pp.47-58.
- Gong, M., Jiao, L., Zhang, L., & Ma, W. (2007, Novembre). Improved real-valued clonal selection algorithm based on a novel mutation method. *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)* (pp. 662-665). IEEE.
- Gonzales, L.J., & Cannady, J. (2004, Juin). A self-adaptive negative selection approach for anomaly detection. *Congress on Evolutionary Computation*. (Vol. 2, pp. 1561-1568). IEEE.
- Graesser, A.C., Chipman, P., Haynes, B.C., & Olney, A. (2005). AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 612-618.
- Greensmith, J., Aickelin, U., & Cayzer, S. (2005). Introducing dendritic cells as a novel immune-inspired algorithm for anomaly detection. *Artificial Immune Systems* (pp. 153-167). Springer Berlin Heidelberg.
- Greensmith, J., Aickelin, U., Tedesco, G. (2010a). Information Fusion for Anomaly Detection with the Dendritic Cell Algorithm. *Journal Information Fusion*, 11(1), 21-34.

Greensmith, J., Whitbrook, A., & Aickelin, U., (2010b). Chapter 14 Artificial Immune Systems, M. Gendreau, J.Y. Potvin, (Eds.) *Handbook of Metaheuristics, 421 International Series in Operations Research & Management Science* 146, 421-448. Springer Science + Business Media, LLC.

Grigoriadou, M., Papanikolaou, & K., Gouli, E. (2006, Juillet). Investigating how to group students based on their learning styles. *Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 1139-1140), Kerkrade, Netherlands.

Griol, D., García-Herrero, J., & Molina, J.M. (2011). The EducAgent platform: intelligent conversational agents for e-learning applications. *Ambient Intelligence-Software and Applications* (pp. 117-124). Springer Berlin Heidelberg.

Guéraud, V., Michelet, S., & Adam, J.M. (2007). *Suivi de classe à distance : propositions génériques et expérimentation en électricité*. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH'2007, 27-29 Juin, Lausanne, Suisse.

Guettat, B., Chorfi, H., & Jemni, M. (2010, Janvier). Customized learning environment based on heterogeneous traces. *Proceedings of the 2010 International Conference on e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning* (pp. 193-197). IEEE Computer Society.

Guettat, B., Farhat, R., & Jemni, M. (2013, Mars). Activities' traces sharing for e-learners using heterogeneous LMS. *International Conference on Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA)*, (pp. 1-4). IEEE.

Gwenegan, R. (2005). *Structuration et analyse de traces hybrides issues de situation d'apprentissage*. Rapport de recherche, Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

Gweon, G., Jun, S., Lee, J., Finger, S., & Rosé, C.P. (2011). A framework for assessment of students project groups on-line and off-line. S. Puntambekar, G. Erkens, & C.E. Hmelo-Silver (Eds.), *Analyzing interactions in CSCL: Methods, approaches and issues* (pp. 293-317). New York, USA: Springer US.

Halimi, K. (2009). *Architecture d'un système d'apprentissage collaboratif à base de Grid*. Mémoire de magister, Guelma, Algérie.

Halvaiee, N.S., & Akbari, M.K. (2014). A novel model for credit card fraud detection using Artificial Immune Systems. *Applied Soft Computing*, 24, 40-49.

Henry, T. R. (2013, Mars). Creating effective student groups: an introduction to groupformation. org. *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 645-650). ACM.

Heraud, J.M., France, L., Mille, A. (2004). *Pixed: An ITS that guides students with the help of learners' interaction logs*. 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (Workshop Analyzing Student-Tutor Interaction Logs to Improve Educational Outcomes), 30 Aout -3 Septembre, Maceió, Alagoas, Brazil.

Heraud, J.M., Marty, J.C., France, L., Carron, T. (2005). *Une aide à l'interprétation de traces : application à l'amélioration de scénarios pédagogiques*. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain EIAH'2005, 25-27 mai, Montpellier, France.

- Hernández-Ramos, P. (2004). Web logs and online discussions as tools to promote reflective practice. *The Journal of Interactive Online Learning*, 3(1), 1-16.
- Hórreo, V. S., & Carro, R. M. (2007). Studying the impact of personality and group formation on learner performance. *Groupware: Design, Implementation, and Use* (pp. 287-294). Springer Berlin Heidelberg.
- Huang, W., Jiao, L. (2008). Artificial immune kernel clustering network for unsupervised image segmentation. *Natural Science*, 18(4), 455-461.
- Hussaan, A. M. (2010). *Utilisation des traces pour la mise à jour des connaissances du domaine et du profil de l'apprenant dans les EIAH adaptatifs*. 3^{ème} Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH, 6-7 Mai, Lyon, France,
- Hussaan, A.L., Sehaba, K., Mille, A. (2011). Helping Children with Cognitive Disabilities through Serious Games: Project CLES. *The 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 251-252), 24-26 Octobre, Dundee, Scotland, UK.
- Jain, K., & Agrawal, S. (2014). A hybrid approach for spam filtering using support vector machine and artificial immune system. *The First International Conference on Networks & Soft Computing*, (pp.5-9). IEEE.
- Jermann, P., Soller, A., & Muehlenbrock, M. (2001). From mirroring to guiding: A review state of the art technology for supporting collaborative learning. *Proceedings of the First European Conference on Computer-Supported Collaborative Learning, Euro-CSCL* (pp. 324-331), Maastricht, Netherlands.
- Ji, M., Michel, C., Lavoue, E., & George, S. (2013). An Architecture to Combine Activity Traces and Reporting Traces to Support Self-Regulation Processes. *The International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 87-91). IEEE.
- Jules, C. (2007). *Diversity of Member Composition and Team Learning In Organizations Organizational Behavior*. Thèse de doctorat, Université de Case Western Reserve, États-Unis.
- Khelil, H., & Benyettou, A. (2010). Application du système immunitaire artificiel ordinaire et amélioré pour la reconnaissance des caractères artificiels. *Nature et Technologie*, 2, 9-13.
- Khelil, H., Benyettou, A., & Belaïd, A. (2008). *Application du système immunitaire artificiel pour la reconnaissance des chiffres*. Maghrebien Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence - MCSEAI'08, 28-30 Avril, Oran, Algérie.
- Kraut, R.E., Fussell, S.R., Brennan, S.E., & Siegel, J. (2002). Understanding effects of proximity on collaboration: Implications for technologies to support remote collaborative work. *Distributed work*, 137-162.
- Kumar, R., & Rose, C.P. (2011). Architecture for building conversational agents that support collaborative learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(1), 21-34.
- Kumar, V.S., Gress, C.L., Hadwin, A.F., Winne, P.H. (2010). Assessing process in CSCL: An ontological approach. *Journal of Computers in Human Behavior*, 26(5), 825–834.

Kyprianidou, M., Demetriadis, S., Tsiatsosn, T., & Pombortsis A. (2012). Group formation based on learning styles: can it improve students' teamwork?. *Education Tech Research Dev*, 60, 83-110.

Laal, M., & Laal, M. (2012). Collaborative learning: what is it?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 31, 491-495.

Lafifi Y., Azzouz, K., Faci, H., & Herkas, W. (2010a). Dynamic Management of Tutor's Roles in an Online Learning System. *International Journal of Learning Technology (IJLT)*, 5(2), 103-129.

Lafifi, Y. (2007). *SACA: un système d'apprentissage collaboratif*. Thèse de doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

Lafifi, Y., Gouasmi, N., Halimi, K., Herkas, H., Ghodbani, A., & Salhi, N. (2010b). Trace-based Collaborative Learning System. *Journal of Computing and Information Technology*, 18(3), 207-219.

Lafifi, Y., Halimi, K., Herkas, W., Ghodbani, A., & Salhi, N. (2009). Learners Monitoring Based on Traces in CSCL System. *INFOCOMP: Journal of Computer Science*, 8(2), 61-72.

Laflaquiere, J. (2009). *Conception De Système A Base De Traces Numériques Dans Les Environnements Informatiques Documentaires*. Thèse de doctorat. Université de Technologie de Troyes, France.

Lefevre, M. (2009). *Processus unifié pour la personnalisation des activités pédagogiques : méta-modèle, modèles et outils*. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard, France.

Lekira, A. (2012a). *Rendre compte des effets des interventions tutorales à travers une approche orientée indicateurs*. Thèse de doctorat. Université du Maine, France.

Lekira, A. (2012b). *Une approche orientée indicateurs pour supporter les activités du tuteur*. Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH RJC EIAH' 2012, 23-24 Mai, Amiens, France.

Leperrousaz, C. (2006). *Le suivi individuel d'apprenants engagés dans une activité collective à distance, TACSI : un environnement informatique support aux activités du tuteur*. Thèse de doctorat. Université de Maine, France.

Li, C.T., & Shan, M.K. (2012, Octobre). Composing activity groups in social networks. *Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management* (pp. 2375-2378). ACM.

Li, Q., Abel, M.H., & Barthès, J.P.A. (2014). Modeling and exploiting collaborative traces in web-based collaborative working environment. *Computers in Human Behavior*, 30, 396-408.

Lin, K.C., Shiau, M.L., Lin, S.Y., & Tai, J. (2009, Décembre). Optimal grouping by using Genetic Algorithm and Support Vector Machines. *Joint Conferences on Pervasive Computing (JCPC)* (pp. 777-782). IEEE.

Lipponen, L., Hakkarainen, K., & Paavola, S. (2004). Practices and orientations of CSCL. *What we know about CSCL* (pp. 31-50). Springer Netherlands.

- Loghin, G.C. (2006). *Aide à la compréhension du comportement de l'utilisateur par la transformation des traces collectées*. 1^{ère} Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH RJC-EIAH'2006, 11-12 mai, France.
- Loghin, G.C. (2008). *Observer un Environnement Numérique de Travail pour réguler les activités qui s'y déroulent*. Thèse de doctorat. Université de Savoie, France.
- Ludvigsen, S., & Mørch, A. (2010). Computer-supported collaborative learning: Basic concepts, multiple perspectives, and emerging trends. *The international encyclopedia of education*, 5, 290-296.
- Luengo, V., Vadcard, L., Dubois, M., Mufti-Alchawafa, D. (2006). *TELEOS : de l'analyse de l'activité professionnelle à la formalisation des connaissances pour un environnement d'apprentissage*. 17^{ème} Journées francophones d'Ingénierie des connaissances Nantes 28-30 juin, Nantes, France.
- Luh, G.C., & Liu, W.W. (2004). Reactive immune network based mobile robot navigation. *Artificial Immune Systems* (pp. 119-132). Springer Berlin Heidelberg.
- Lund, K., & Mille, A. (2009). Traces, traces d'interactions, traces d'apprentissages: définitions, modèles informatiques, structurations, traitements et usages. *Analyse de traces et personnalisation des environnements informatiques pour l'apprentissage humain*. Hermès, 21-66.
- Maldonado, R.M., Kay, J., Yacef, K., & Schwendimann, K. (2012). *Unpacking traces of collaboration from multimodal data of collaborative concept mapping at a tabletop*. 10th International Conference of the Learning Sciences, 2-6 Juillet, Sydney, Australia.
- Mao, X., Sansonnet, J. P., & Li, L. (2012, Avril). Textual Conversation Agent for Enhancing Attraction in E-Learning. *Proceedings of International Conference on Computer Science and Information Technology* (Vol. 36).
- Mathern, B., Mille, A. & Bellet, T. (2010). An Interactive Method to Discover a Petri Net Model of an Activity. Décembre 2010. Disponible sur « <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=4927> ».
- Mathern, B., Mille, A. & Bellet, T. (2011). *Rendre interactive la découverte d'automates à partir de traces d'activités*. 22^{ème} Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, 16-20 Mai, Chambéry, France. Disponible sur « <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=5131> ».
- May, M. (2009). *Using tracking data as reflexive tools to support tutors and learners in distance learning situations (an application to computer-mediated communications)*. Thèse de doctorat. Institut Nationale de sciences appliquées, Lyon, France.
- May, M., George, S., & Prévôt, P. (2007). *Keeping tracks of users' activities on discussion forum: Reflection and proposal*. Conference on Learning through Online Exchanges: Tools, Tasks, Interactions, Multimodality, Corpora (EPAL 2007), 7-9 Juin, Grenoble, France.
- May, M., George, S., & Prévôt, P. (2008). Students' tracking data: an approach for efficiency tracking computer mediated communications in distance learning. *International Conference on Advanced Learning Technologies*, 1-5 Juillet, Santander, Cantabria, Spain.

May, M., George, S., & Prévôt, P. (2009). *Tracer, analyser et visualiser les activités de communications médiatisées des apprenants*. Journées Communication et Apprentissage Instrumentés en Réseau (JOCAIR), 27-29 août, Amiens, France.

Mazza, R., & Dimitrova, V. (2003). CourseVis: Externalising student information to facilitate instructors in distance learning. *Proceedings of the International conference in Artificial Intelligence in Education* (pp. 117-129). Sydney, Australia.

Mazza, R., & Dimitrova, V. (2004, Mai). Visualising student tracking data to support instructors in web-based distance education. *Proceedings of the 13th international World Wide Web conference on Alternate track papers & posters* (pp. 154-161). ACM.

Mazza, R., & Milani, C. (2005). *Exploring usage analysis in learning systems: Gaining insights from visualisations*. The Workshop on Usage analysis in learning systems, the twelfth International Conference on Artificial Intelligence in Education, 18-22 Juillet, Amsterdam, Netherlands.

Mille, M. (2012). *Vers une mise en relation des activités d'édition et de navigation dans les ressources d'apprentissage : cas de l'apprentissage d'un langage de programmation*. Rencontres Jeunes Chercheurs en EIAH RJC EIAH' 2012, 23-24 Mai, Amiens, France.

Montazer, G.A., & Rezaei, M.S. (2012, Juillet). A new approach in e-learners grouping using Hybrid Clustering Method. *International Conference on Education and e-Learning Innovations (ICEELI)*, (pp. 1-5). IEEE.

Morales-Rodríguez, M.L. (2007). *Modèle d'interaction sociale pour des agents conversationnels animés: Application à la rééducation de patients cérébro-lésés*. Thèse de doctorat. Université de Paul Sabatier, Toulouse, France.

Morris, L.V., Finnegan, C., & Wu, S.S. (2005). Tracking student behavior, persistence, and achievement in online courses. *The Internet and Higher Education*, 8(3), 221–231.

Muehlenbrock, M. (2006). Learning Group Formation based on Learner Profile and Context. *International Journal on e-learning*. 2(1), 19-24.

Mujkanovic, A., Lowe, D., Willey, K., & Guetl, C. (2012). Unsupervised learning algorithm for adaptive group formation: Collaborative learning support in remotely accessible laboratories. *International Conference on Information Society (i-Society)* (pp. 50-57), London, UK.

Nakamura, K., Kakusho, K., Shoji, T., & Minoh, M. (2012). *Investigation of a Method to Estimate Learners' Interest Level for Agent-Based Conversational e-Learning*. IPMU'2012 (pp. 425-433). Springer Berlin Heidelberg.

Nasir, A.N.M., Selamat, A., & Selamat, H. (2009, Décembre). An Artificial Immune System for recommending relevant information through political weblog. *Proceedings of the 11th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services* (pp. 420-424). ACM.

Neal, M. (2003). Met-Stable Memory in an Artificial Immune Network. *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Immune Systems (ICARIS)* (pp. 168-180). Springer.

Neji, M., & Ben Ammar, M. (2007). Agent-based collaborative affective e-learning framework. *The Electronic Journal of e-Learning*, 5(2), 123-134.

Ogata, H., Matsuura, K., & Yano, Y. (2007). Supporting awareness in distributed collaborative learning environments. *The Role of Technology in CSCL* (pp. 173-191). Springer US.

Ollagnier-Beldame, M., & Mille, A. (2007). *Faciliter l'appropriation des EIAH par les apprenants via les traces informatiques d'interactions ?*. Rapport de recherche. Disponible sur « <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=3043> ».

Ou, C.M., Ou, C.R., & Wang, Y.T. (2013). Agent-Based Artificial Immune Systems (ABAIS) for Intrusion Detections: Inspiration from Danger Theory. *Agent and Multi-Agent Systems in Distributed Systems-Digital Economy and E-Commerce* (pp. 67-94). Springer Berlin Heidelberg.

Oumaira, I., Messousi, R., & Touahni, R. (2010). *Mise en expérimentation d'un système d'assistance au tuteur base sur la réutilisation des indicateurs d'analyse automatique d'interactions*. Le 10^{ème} Colloque Africain sur la Recherche en Informatique et en Mathématiques Appliquées CARI'2010, 18-21 octobre, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

Parashar, A., Saurabh, P., & Verma, B. (2013, Janvier). A novel approach for intrusion detection system using artificial immune system. *Proceedings of All India Seminar on Biomedical Engineering (AISOBE '2012)* (pp. 221-229). Springer India.

Pernin, J.P. (2005). CSE, un modèle de traitement de traces. Rapport de recherche, Laboratoire Clips-Imag, Université Joseph Fourier Grenoble, France.

Pinshow, B., Fedak, M.A., Battles, D.R., & Schmidt-Nielsen, K. (1976). Energy expenditure for thermoregulation and locomotion in emperor penguins. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 231(3), 903-912.

Read, M., Andrews, P. S., & Timmis, J. (2012). An introduction to artificial immune systems. *Handbook of Natural Computing* (pp. 1575-1597). Springer Berlin Heidelberg.

Reffay, C., & Lancieri, L. (2006). Quand l'analyse quantitative fait parler les forums de discussion. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation (STICEF)*, 13, 1-24.

Romero, A., & Nino, F. (2007, Juillet). Keyword extraction using an artificial immune system. *Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation* (pp. 181-181). ACM.

Rossi, F., Lechevallier, Y., & El Golli, A. (2005). *Visualisation de la perception d'un site web par ses utilisateurs*. 5^{ème} Journées Extraction et Gestion des Connaissances (EGC 2005), Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, Janvier, Paris, France.

Rubens, N., Vilenius, M., & Okamoto, T. (2009, Septembre). Automatic group formation for informal collaborative learning. *Proceedings of the 2009 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology-Volume 03* (pp. 231-234). IEEE Computer Society.

Sandeep Kumar, E., Kusuma, S. M., & Vijaya Kumar, B. P. (2014, Mars). A random key distribution based Artificial Immune System for security in clustered wireless sensor networks. *IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)* (pp. 1-7). IEEE.

Sehaba, K., & Mailles-Viard, S. (2011). *Using interaction traces for evolutionary design support - Application on the Virtual Campus VCIel*. International Conference on Computer Supported Education, 6-8 Mai, Noordwijkerhout, Netherlands.

Settoui, L. Guin, G., Luengo, V., & Mille, A. (2011). *Towards Adaptable and Reusable RDF-based Query Patterns for Trace-Based Learner Modelling*. EC-TEL, Sixth European Conference on Technology Enhanced Learning: Towards Ubiquitous Learning, 20-23 Septembre, Palermo, Italie.

Settoui, L.S. (2011). *Systèmes à Base de Traces Modélisées : Modèles et Langages pour l'exploitation des traces d'Interactions*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon, France.

Settoui, L.S., Prié, Y., Mille, A., & Marty, J.C. (2006). *Systèmes à base de trace pour l'apprentissage humain*. Colloque International TICE, Toulouse, France.

Shamshirband, S., Anuar, N.B., Kiah, M.L.M., Rohani, V.A., Petković, D., Misra, S., & Khan, A.N. (2014). Co-FAIS: Cooperative fuzzy artificial immune system for detecting intrusion in wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 42, 102-117.

Siméone, A., Eneau, J., & Rinck, F. (2007). Scénario d'apprentissage collaboratif à distance et en ligne: des compétences relationnelles sollicitées et/ou développées. *International Journal of Information Sciences for Decision Marketing*, 29.

Slavin, R.E. (1987). *Cooperative learning: Student teams, what research says to teachers* (2nd ed., pp. 105–115), Washington, DC: Professional Library National Education Association.

Somasundaram, T.S., Rajalakshmi, S., & Govindarajan, K. (2013, Avril). Scalable clustering mechanism to analyze the traces and to predict the behavior of learners. *IEEE Conference on Information & Communication Technologies (ICT)*, (pp. 1165-1170). IEEE.

Stahl, G. (2006). *Group cognition: Computer support for building collaborative knowledge* (pp. 451-473). Cambridge, MA: Mit Press.

Stahl, G., Koschmann, T., & Suthers, D. (2006). *Computer-supported collaborative learning: An historical perspective*. Cambridge handbook of the learning sciences.

Taziri, A.B., & Allouche, B. (2005). *Les acteurs de l'enseignement à distance*. 3rd International Conference: Sciences of electronic, technologies of information and telecommunications, Tunisie.

Tchounikine, P. (2002). Pour une ingénierie des environnements informatiques pour l'apprentissage humain. *Information-Interaction-Intelligence*, 2, 59-95.

- Temperman, G., De Lièvre, B., Depover, C., & De Stercke, J. (2012, Décembre). Effets des modalités d'intégration d'un outil d'auto-régulation dans un environnement d'apprentissage collaboratif à distance. *Colloque Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement*, 11-13 Décembre, Lyon, France.
- Thibaud, H. (2009). *Analyser les traces d'activité pour évaluer les ressources électronique*. Colloque international Ressources électroniques académiques : mesures et usages, 26-27 Novembre, Lille, France.
- Thompson, L.F., & Coover, M.D. (2003). Teamwork online: The effects of computer conferencing on perceived confusion, satisfaction and postdiscussion accuracy. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 7(2), 135.
- Timmis, J., Hone, A., Stibor, T., & Clark, E. (2008). Theoretical advances in artificial immune systems. *Theoretical Computer Science*, 403(1), 11-32.
- Timmis, J.I. (2000). *Artificial immune systems: A novel data analysis technique inspired by the immune network theory*. Thèse de Doctorat, Université de Wales, Aberystwyth, UK.
- Walckiers, M., & De Praetere, T. (2004). L'apprentissage collaboratif en ligne, huit avantages qui en font un must. *Distances et savoirs*, 2(1), 53-75.
- Wang, D.Y., Lin, S.S., & Sun, C.T. (2007). DIANA: A computer-supported heterogeneous grouping system for teachers to conduct successful small learning groups. *Computers in Human Behavior*, 23(4), 1997-2010.
- Wessner, M., & Pfister, H.R. (2001, Septembre). Group formation in computer-supported collaborative learning. *Proceedings of the 2001 international ACM SIGGROUP conference on supporting group work* (pp. 24-31). ACM.
- Wessner, M., & Pfister, H.R. (2007). Points of cooperation: Integrating cooperative learning into web-based courses. *The role of technology in CSCL* (pp. 21-46). Springer US.
- Yan, Q., & Yu, J. (2006, Avril). AINIDS: An Immune-Based Network Intrusion Detection System. *Proceedings SPIE6241, Data Mining, Intrusion Detection, Information Assurance, and Data Networks Security*. doi: 10.1117/12.664752.
- Zakrzewska, D. (2008). Cluster analysis for users' modeling in intelligent E-learning systems. *New Frontiers in Applied Artificial Intelligence* (pp. 209-214), Springer Berlin Heidelberg.
- Zakrzewska, D. (2009). Cluster analysis in personalized E-learning systems. *Intelligent Systems for Knowledge Management* (pp. 229-250), Springer Berlin Heidelberg.
- Zarka, R., Cordier, A., Egyed-Zsigmond, E., Mille, A. (2011). *Trace replay with change propagation impact in client/server applications*. 22^{ème} Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, 16-20 Mai, Chambéry, France.
- Zedadra, A., & Lafifi, Y. (2013). *Using trace mining for filtering textual traces in CSCL systems*. The Fifth edition of the International Conference on Web and Information Technologies (ICWIT'13), Hammamet, Tunisie.

Zedadra, A., & Lafifi, Y. (2015). Learning Faults Detection by AIS Techniques in CSCL Environments. *Educational Technology & Society*, 18 (1), 276-291.

Zedadra, A., Lafifi, Y., & Zedadra, O. (2014, Novembre). Interpreting learners' traces in collaborative learning environments. *4th International Symposium ISKO-Maghreb: Concepts and Tools for knowledge Management* (pp. 1-8). IEEE.

Zedadra, A., Lafifi, Y., & Zedadra, O. (2015). *Dynamic group formation based on a natural phenomenon*. Soumis pour publication.

Zeng, J., Li, T., Liu, X., Liu, C., Peng, L., & Sun, F. (2007, Aout). A feedback negative selection algorithm to anomaly detection. *Third International Conference on Natural Computation* (Vol. 3, pp. 604-608). IEEE.

Zhang, H., Almeroth, K., Knight, A., Bulger, M., & Mayer, R. (2007). *Moodog: Tracking students' online learning activities*. World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, 25-29 Juillet, Vancouver, Canada.

Zhengbing, H., Ji, Z., & Ping, M. (2008, Janvier). A novel anomaly detection algorithm based on real-valued negative selection system. The *First International Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining*. (pp. 499-502). IEEE.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire utilisé pour l'expérimentation du système immunitaire artificiel

Un QCM a été mis en ligne pour tester les profils cognitifs des apprenants dans les deux objets d'apprentissage « Langages » et « Les expressions régulières » dans le module « Théorie des langages ».

Questions	Réponse1	Réponse 2	Réponse3	Réponse 4
Soit une grammaire dont A est l'axiome : $A \rightarrow aAaB/ab$; $B \rightarrow ab/ab$. Cette grammaire est de type :	Type 3	Type 2	Type 1	Type 0
Soit une grammaire dont A est l'axiome : $A \rightarrow aT/bA/baa$; $T \rightarrow aT/TT/\epsilon$. Cette grammaire est de type :	Type 3	Type 2	Type 1	Type 0
Soit une grammaire dont A est l'axiome : $A \rightarrow aA/bT/b$; $Ta \rightarrow aR/bT/a$; $R \rightarrow ab/\epsilon$. Cette grammaire est de type :	Type 3	Type 2	Type 1	Type 0
Soit une grammaire dont A est l'axiome : $aA \rightarrow baA/bT/ab$; $Ta \rightarrow aR/bT/a$; $R \rightarrow ab/\epsilon$. Cette grammaire est de type :	Type 3	Type 2	Type 1	Type 0
Soit une grammaire dont A est l'axiome : $A \rightarrow aA/bB/\epsilon$; $B \rightarrow aaB/\epsilon$. Cette grammaire est de type :	Type 3	Type 2	Type 1	Type 0
Soit la grammaire $G(\{a, b\}, \{S, T\}, S, P)$ avec $P = \{S \rightarrow aST/bT, T \rightarrow aTb/a\}$. Cette grammaire est de type :	Type 3	Type 2	Type 1	Type 0
Soit la grammaire $G(\{a, b\}, \{S, T\}, S, P)$ avec $P = \{S \rightarrow aST/bT, T \rightarrow aTb/a\}$. Est-ce que le mot <i>baaabb</i> appartient à $L(G)$?	Oui	Non	Je ne sais pas	
Soit la grammaire $G(\{a, b\}, \{S, T\}, S, P)$ avec $P = \{S \rightarrow aST/bT, T \rightarrow aTb/a\}$. Est-ce que le mot <i>bbbaaba</i> appartient à $L(G)$?	Oui	Non	Je ne sais pas	
Soit une grammaire dont A est l'axiome : $A \rightarrow aA/bB/\epsilon$; $B \rightarrow aaB/\epsilon$. Est-ce que le mot <i>aababb</i> appartient à $L(G)$?	Oui	Non	Je ne sais pas	
Soit une grammaire dont A est l'axiome : $A \rightarrow aA/bB/\epsilon$; $B \rightarrow aaB/\epsilon$. Est-ce que le mot <i>aaaab</i> appartient à $L(G)$?	Oui	Non	Je ne sais pas	

Annexe 2 : Questionnaire utilisé pour l'expérimentation faite sur l'interprétation des traces

تجربة نظام LETline 2.0

استبيان 2014/2013

من أجل تحسين نوعية الخدمات المطروحة في نظام LETline 2.0، نرجوا منكم الإجابة بجدية على هذا الاستبيان.

1. الجنس؟

ذكر انثى

2. هل أنت متحمس للتسجيل في نظام LETline 2.0؟

نعم لا

3. هل أنت راض عن التعليم عبر الإنترنت؟

راضي جدا راضي راضي قليلا غير راضي غير راضي تماما

4. في بضعة كلمات، ما رأيك في نظام LETline 2.0؟

.....
.....

5. كيف تجد استخدام هذا النظام؟

سهل جدا سهل صعب جدا صعب

6. كيف ترى كفاءة النظام

فعال جدا فعال فعال قليلا غير فعال

7. كيف تجد واجهة النظام؟

بسيطة جدا متوسطة جيدة جيدة جدا

تفتقر

..... إلى

8. هل أنت راض عن الفضاء الخاص بك؟

نعم لا

9. هل أنت راض عن المشرف الخاص بك؟

نعم لا

10. كيف تجدون الاتصال عن طريق (Email)؟

سهل جدا سهل صعب جدا صعب

11. كيف تجدون الاتصال عن طريق (Réunion virtuelle)؟

سهل جدا سهل صعب جدا صعب

12. كيف تجدون الاتصال عن طريق (Chat)؟

سهل جدا سهل صعب جدا صعب

13. كيف تجدون الاتصال عن طريق (Forum)؟

سهل جدا سهل صعب جدا صعب

14. كيف تجدون كفاءة أدوات الاتصال؟

فعال جدا فعال فعال قليلا غير فعال

15. كيف تجدون الجزء الجديد: تفسير الآثار (Interprétation des traces)؟

فعال جدا فعال فعال قليلا غير فعال

16. ما هي افضل طريقة لتفسير الآثار حسب رأيك؟

وكيل التخاطب (Agent conversationnel) تمثيلات رسومية ونصية (Représentations graphiques et textuelles)

17. ماهي اقتراحاتكم من أجل تحسين نوعية الجزء الجديد تفسير الآثار (Interprétation des traces)؟

18. اذكر ثلاث نقاط ضعف في هذا النظام؟

19. اذكر ثلاث نقاط قوة في هذا النظام؟

20. ماهي اقتراحاتكم من أجل تحسين نوعية الخدمات المطروحة في نظام LETline 2.0؟