

Thèse

pour obtenir le grade de
Docteur d'Aix-Marseille Université

Docteur de l'Université Mohammed V de Rabat
Spécialité : Sciences de l'Ingénieur

présentée et soutenue publiquement par
Mourad ABOUELALA

Évaluation des outils de modélisation et de simulation dans le domaine de l'enseignement de la fabrication mécanique. (Cas des logiciels de la FAO)

Sous la co-direction de
Pascale Brandt-Pomares
Et
Mourad TAHA JANAN

Soutenue le 16 Octobre 2015
Devant le jury

M. Abdellah EL GHARAD (Président)
M. Mohamed AGOUZOUL (Rapporteur)
M. Mario COTTRON (Rapporteur)
M. Jacques GINESTIÉ (Rapporteur)
M. Pascale BRANDT-POMARES (Co-directrice de thèse)
M. Mourad TAHA JANAN (Directeur de thèse)

Remerciements

Cette thèse doit en partie son aboutissement au soutien et aux encouragements de nombreuses personnes. Je les en remercie toutes très sincèrement.

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à Madame Pascale Brandt-Pomares, à Monsieur Jacques Ginestié et à Monsieur Mourad. Taha Janan.

Monsieur Taha Janan m'a permis de me mettre sur la voie de la recherche et m'a aidé énormément dans l'accomplissement de ce travail Il était toujours confiant en la réalisation et l'aboutissement de cette thèse, c'était important pour moi. Madame Brandt-Pomares qui, par son soutien, ses précieux conseils ainsi que par l'encadrement de travail m'a permis de parvenir au bout du long tunnel que représente la thèse.

Je remercie également M. Mohamed Agouzoul et M. Mario Cottron de l'intérêt qu'ils ont témoigné à ce travail en acceptant d'être rapporteurs, ainsi que M. Jacques Ginestié et M. Abdellah El Gharad d'avoir acceptés de faire partie du jury.

Je remercie aussi tous les membres des deux équipes, celle de Gestepro et l'équipe de LM2PI de l'ENSET de Rabat à laquelle j'appartiens de leur soutien pendant la réalisation de cette thèse.

Je remercie très sincèrement ceux qui ont participé à ce travail, des professeurs, des collègues et les étudiants.

Un grand merci à mes parents, ma femme, mes enfants, mes frères et amis.

Résumé

Les outils de simulation sont des moyens pour faciliter la mise en place d'une production sur les Machines Outil à Commande Numérique, ces outils sont devenus très courants dans l'industrie et, par conséquent, dans l'éducation. Plusieurs problèmes importants émergent, telles que des questions d'ordre pédagogique, des aspects liés à l'ergonomie des interfaces, le coût d'acquisition de l'équipement et d'adaptabilité des étudiants aux multitudes de logiciels de fabrication assistée par ordinateur, de ce fait le problème de la sélection du logiciel est soulevé dans l'éducation afin d'assurer une efficacité des processus d'enseignement et d'apprentissage des étudiants.

Cette thèse est conduite dans l'objectif d'étudier une méthodologie pour sélectionner un logiciel de FAO qui pourrait être efficace en tant que support d'apprentissage de la FAO en premier cycle des universités techniques, des écoles d'ingénieurs et autres établissements similaires.

Les facteurs déterminants l'efficacité des étudiants utilisant un logiciel dans leurs apprentissages de la FAO ont été déduits du cadre théorique de la thèse qui s'est basé sur la théorie de l'activité. Cette théorie prend en considération le contexte global de cette activité d'enseignement-apprentissage de la FAO à savoir l'étudiant, l'artefact, le professeur, l'établissement et la communauté des éditeurs de logiciels.

Outre l'élaboration d'un questionnaire qui était une étape importante, la détermination des principaux facteurs influençant l'activité d'enseignement-apprentissage de la FAO et leurs items et leurs relations, le traitement statistique des données recueillies à travers les réponses d'un échantillon de 50 étudiants ont été élaboré dans le but de confirmer nos hypothèses sur les principaux critères d'évaluation de logiciel de simulation en éducation.

Abstract

Simulation tools as means to facilitate setting up a production have become very common in industry and, therefore, in education. Among several significant problems, like pedagogical issues, the cost of equipment acquisition and the adaptability of students to the multitude of Computer-Aided Manufacturing, it is raise in education the problem of selecting software in order to ensure maximum effectiveness of teaching process and students learning.

This research study was designed to investigate a methodology to select CAM software that could be effective as a support of CAM learning in university, taking into account different features of CAM learning. We determine the student effectiveness in learning factors of CAM software and further, determine the relationship between the different main factors. The research was conducted using a questionnaire submitted to 50 students attending the second academic year of Mechanical Design and Production. The study provides results from empirical test of these relationships and provides criteria for evaluation simulation of software in education.

Table des matières

| | |
|---|------|
| Remerciements | i |
| Table des matières | iv |
| Liste des figures | viii |
| Liste des tableaux | x |
| Liste des abréviations | xi |
| Introduction | 1 |
| Chapitre 1 Évolution de l'industrie de production des pièces mécaniques par usinage..... | 6 |
| 1.1 Introduction | 6 |
| 1.2 Description de l'évolution de l'industrie de production des pièces mécaniques par usinage..... | 6 |
| 1.3 Histoire du développement de la commande numérique..... | 8 |
| 1.4 Types de machines CNC | 9 |
| 1.4.1 Centres d'usinage..... | 9 |
| 1.4.2 Centres de tournage..... | 11 |
| 1.5 Commande Numérique Directe (DNC)..... | 12 |
| 1.5.1 Objectifs de la DNC..... | 13 |
| 1.5.2 Intégration du système CAO/FAO avec DNC..... | 14 |
| 1.5.3 Commande numérique distribuée | 15 |
| 1.6 Élaboration de programmes CNC à l'aide d'un logiciel de Fabrication Assistée par Ordinateur : | 15 |
| 1.6.1 Besoin de produire de grands programmes..... | 16 |
| 1.6.2 Développement de la fabrication assistée par ordinateur | 16 |
| 1.6.3 Les étapes de création d'un programme en code G à l'aide d'un logiciel FAO..... | 18 |
| 1.7 Principales tâches à effectuer par les étudiants utilisant le logiciel de FAO..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 1.8 Étapes de travail de l'étudiant pour la generation du code G d'une pièce étudiée..... | 22 |
| 1.9 Conclusion..... | 32 |
| Chapitre 2 Problématique relative à l'enseignement de la FAO | 34 |
| 2.1 Cadre théorique..... | 34 |
| 2.2 Questions de recherche | 36 |
| 2.3 Pratiques d'enseignement de la FAO | 36 |
| 2.4 Conclusion..... | 39 |
| Chapitre 3 : Les modèles d'apprentissage et notion de tâches. | 41 |
| 3. 1 Les modèles d'apprentissage..... | 41 |
| 3.1.1 Approche behaviouriste..... | 41 |
| 3.1.2 Approche cognitiviste:..... | 42 |
| 3.1.3 Approche constructiviste: | 43 |
| 3.1.4 Approche socioconstructiviste :..... | 43 |
| 3.2 Notion et description de tâche et d'action :..... | 51 |
| 3.2.1 La tâche : définition générale | 51 |
| 3.2.2 Les composantes des situations d'actions..... | 52 |
| 3.2.3 La tâche prescrite | 55 |
| 3.3 L'activité | 56 |
| 3.3.1 Activité et tâche prescrite..... | 56 |
| 3.3.2 Activité et tâche effective. | 58 |
| 3.3.3. Élaboration de l'activité et tâche effective..... | 59 |
| 3.4 L'analyse des situations..... | 59 |
| 3.5 Identification des tâches prescrites, des activités et des actions dans le cas de la FAO citée précédemment :..... | 61 |
| 3.6 Conclusion..... | 67 |

| | |
|---|-----|
| Chapitre 4 La théorie de l'action & la théorie de l'activité..... | 69 |
| 4.1 Introduction à la théorie de l'action | 69 |
| 4.2 Action située..... | 69 |
| 4.3 La théorie de l'action appliquée dans le cas de l'interaction étudiant avec le logiciel FAO | 71 |
| 4.4 Introduction à La théorie de l'activité | 73 |
| 4.4.1 Modélisation de l'interaction de l'Etudiant avec un logiciel FAO dans un contexte d'éducation: | 73 |
| 4.4.2 Le modèle d'Engeström..... | 76 |
| 4.5 Application de la théorie de l'activité à l'interaction étudiant/logiciel dans le cadre de l'apprentissage de la FAO | 80 |
| 4.6 Catégorisation des critères d'évaluation déduites du modèle de la TA | 82 |
| 4.7 Conclusion..... | 86 |
| Chapitre 5 : Techniques d'évaluation des logiciels | 89 |
| 5.1 Introduction | 89 |
| 5.2 Méthodes d'évaluation centrés sur l'évaluation de l'utilisabilité..... | 91 |
| 5.3 Méthodes, techniques et outils d'évaluation des systèmes interactifs..... | 99 |
| 5.3.1 Approches centrées sur l'utilisateur..... | 100 |
| 5.3.2 Approche empirique de diagnostic d'usage | 100 |
| 5.3.3 Questionnaire d'utilisation..... | 100 |
| 5.4 Conclusion :..... | 103 |
| Chapitre 6 : Le processus de recherche et résultats statistiques..... | 104 |
| 6.1 Introduction | 104 |
| 6.2 Echantillonnage : | 105 |
| 6.3 Conception du questionnaire | 107 |
| 6.3.1 Elaboration des questions..... | 107 |

| | |
|---|-----|
| 6.4 Les facteurs du questionnaire des étudiants et leurs items : | 108 |
| 6.5 Description des variables et de leurs modalités | 112 |
| 6.6 Analyse exploratoire : | 112 |
| 6.7 Analyse de la fiabilité des facteurs : | 116 |
| 6.8 Statistique descriptive : | 118 |
| 6.9 Jugement de l'efficacité du logiciel FAO selon les différents critères | 122 |
| 6.9.1 Analyse de partitionnement des données | 122 |
| 6.9.2 Jugement de l'efficacité du logiciel FAO selon le premier critère | 122 |
| 6.9.3 Jugement de l'efficacité du logiciel FAO selon deuxième ; troisième, quatrième et cinquième critères | 123 |
| 6.9.4 Analyse de régression multiple des critères liés au logiciel et l'efficacité de l'apprentissage des étudiants | 125 |
| 6.9.5 Analyse en composantes principales (ACP) | 127 |
| 6.10 Rôle du professeur dans le contexte globale d'enseignement de la FAO | 129 |
| Le modèle TPCK appliqué au cas de l'apprentissage de la FAO | 130 |
| 6.11 Jugement du professeur sur l'efficacité | 134 |
| 6.12 Conclusion | 136 |
| Conclusions et perspectives | 139 |
| Bibliographie | 142 |
| Annexes | 149 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| FIGURE 1. 1: CONNEXION EN EN RESEAU DE PLUSIEURS MACHINES CNC | 13 |
| FIGURE 1. 2: LA CFAO DANS LE SYSTEME DNC | 14 |
| FIGURE 1. 3: ÉTAPES A ACCOMPLIR POUR LA CREATION D'UN PROGRAMME EN CODE G | 18 |
| FIGURE 1. 4: PART DE MARCHÉ DES PLUS GRANDS FOURNISSEURS DE LOGICIEL FAO EN 2006 | 20 |
| FIGURE 1. 5: PART DE MARCHÉ DES PRINCIPAUX ÉDITEURS DE LOGICIEL FAO POUR L'ANNÉE 2010 | 21 |
| FIGURE 1. 6: FONCTIONNALITES ET PLACE DE LA FAO DANS LA CHAÎNE NUMÉRIQUE | 22 |
| FIGURE 1. 7: IMAGE DE L'ASSEMBLAGE DES DEUX MODÈLES | 23 |
| FIGURE 1. 9: PARAMÉTRAGE DE LA PHASE D'USINAGE | 24 |
| FIGURE 1. 8: MENU DE PASSAGE VERS L'ATELIER USINAGE..... | 24 |
| FIGURE 1. 10: FENÊTRE POUR LE CHOIX DE LA MACHINE ET DE SES CARACTÉRISTIQUES | 25 |
| FIGURE 1. 11: FENÊTRE POUR LE CHOIX DE LA POSITION ET DE L'ORIENTATION DU TRIÈDRE D'USINAGE..... | 25 |
| FIGURE 1. 12: FENÊTRE POUR PRÉCISER AU LOGICIEL LE MODÈLE GÉOMÉTRIQUE DE LA PIÈCE FINIE ET LE MODÈLE GÉOMÉTRIQUE DE LA PIÈCE BRUTE | 26 |
| FIGURE 1. 13: FENÊTRE POUR CHOISIR L'OPÉRATION D'USINAGE | 26 |
| FIGURE 1. 14: FENÊTRE POUR DESIGNER LE PROFIL DE LA PIÈCE FINIE ET LE PROFIL DE LA PIÈCE BRUTE | 27 |
| FIGURE 1. 15: APRÈS SÉLECTION DES DEUX PROFILS LA COULEUR ROUGE DEVIENT VERTE..... | 27 |
| FIGURE 1. 16: FENÊTRE POUR LE CHOIX DES OUTILS DE COUPE | 27 |
| FIGURE 1. 17: FENÊTRE POUR LE CHOIX DES CONDITIONS DE COUPE..... | 28 |
| FIGURE 1. 18: FENÊTRE POUR LE CHOIX DES STRATÉGIES D'USINAGE | 28 |
| FIGURE 1. 19: FENÊTRE POUR LE CHOIX DES STRATÉGIES D'APPROCHE ET DE RETRAIT..... | 29 |
| FIGURE 1. 20: FENÊTRE DES PARAMÈTRES DE LA SIMULATION DES OPÉRATIONS SIMULÉES | 29 |
| FIGURE 1. 21: FENÊTRES DES PARAMÈTRES DE LA VISUALISATION DES OPÉRATIONS SIMULÉES..... | 29 |
| FIGURE 1. 22: FENÊTRE POUR LE CHOIX DES PARAMÈTRES DE GÉNÉRATION DU CODE G..... | 30 |
| FIGURE 1. 23: CODE G GÉNÉRÉ DE LA PIÈCE ÉTUDIÉE | 31 |
| FIGURE 3. 1: HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DES COURANTS THÉORIQUES DE L'APPRENTISSAGE (ADAPTE DE MINIER, 2003) | 46 |
| FIGURE 3. 2: SCHEMA DE L'INFLUENCE DE L'ACTIVITÉ SUR L'ÉTAT DU SUJET ET DE LA SITUATION..... | 54 |
| FIGURE 4. 1: ÉTAPES DE THÉORIE DE L'ACTION (DON NORMAN) | 70 |
| FIGURE 4. 2: MODÈLE MENTAL DE L'UTILISATEUR..... | 71 |
| FIGURE 4.3: SCHEMATISATION DE L'INTERACTION DE L'ÉTUDIANT AVEC LE LOGICIEL SELON LA THÉORIE DE L'ACTION | 72 |

| | |
|--|-----|
| FIGURE 4. 4: MODELE DE BASE DE LA THEORIE DE L'ACTIVITE | 74 |
| FIGURE 4. 5: MODELE ETENDU DE LA THEORIE DE L'ACTIVITE | 75 |
| FIGURE 4.6: TRIANGLE SUJET-OUTIL-COMMUNAUTE | 78 |
| FIGURE 4. 7:LE TRIANGLE OUTIL-COMMUNAUTE-OBJET | 79 |
| FIGURE 4.8: LE TRIANGLE OBJET-COMMUNAUTES- DIVISION DE TRAVAIL | 79 |
| FIGURE 4.9: TRIANGLE SUJET –COMMUNAUTE-REGLES..... | 80 |
| FIGURE 4.10: MODELE DE LA THEORIE DE L'ACTIVITE DANS LE CONTEXTE D'APPRENTISSAGE DE LA FAO DANS LE DOMAINE DE L'EDUCATION..... | 81 |
| FIGURE 4.11: LES DIFFERENTS CRITERES ASSOCIES AU MODELE DE LA THEORIE DE L'ACTIVITE DANS LE CONTEXTE D'APPRENTISSAGE DE LA FAO DANS LE DOMAINE DE L'EDUCATION..... | 82 |
| FIGURE 4.12: CRITERES RELATIFS AU FACTEUR PROFIL DE L'ETUDIANT..... | 83 |
| FIGURE 4.13: CRITERES RELATIFS AUX ASPECTS ERGONOMIQUE DU LOGICIEL | 84 |
| FIGURE 4.14: CRITERES RELATIF AUX ASPECTS PEDAGOGIQUE DU LOGICIEL | 85 |
| FIGURE 4.15: CRITERES RELATIF A L'INTERACTION ETUDIANT AVEC LE LOGICIEL..... | 85 |
| FIGURE 5.1: POURCENTAGE DES DIFFERENTES CONTRIBUTIONS PAR CATEGORIES | 90 |
| FIGURE 5.2: DIMENSION DE L'EVALUATION D'UNE INTERFACE (SENACH, 1990) | 92 |
| FIGURE 5.3 CLASSES DES METHODES D'EVALUATION DEFINIES PAR WHITEFIELD ET AL..... | 93 |
| FIGURE 5.4: CLASSIFICATION DES METHODES D'EVALUATION TENANT COMPTE DU POINT DE VUE TAXONOMIQUE | 96 |
| FIGURE 5.5: EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE : (A) OUVERT A CHOIX MULTIPLES (B) A ECHELLE DE RANG (C) A ECHELLE DE LIKERT..... | 102 |
| FIGURE 6.1: RELATIONS DES ITEMS AVEC LA VARIABLE DEPENDANTE | 113 |
| FIGURE 6.2: GROUPE DES DIFFERENTS ITEMS LIES AUX VARIABLES INDEPENDANTES | 114 |
| FIGURE 6.3: RESULTAT RELATIF A L'EFFICACITE..... | 119 |
| FIGURE 6.4: RESULTAT RELATIF A LA QUALITE ERGONOMIQUE..... | 119 |
| FIGURE 6.5: RESULTAT RELATIF A LA QUALITE PEDAGOGIQUE..... | 120 |
| FIGURE 6.6: RESULTAT RELATIF A LA SATISFACTION DE LETUDIANT | 121 |
| FIGURE 6.7: RESULTAT RELATIF A L'EFFICIENCE DE L'ETUDIANT..... | 121 |
| FIGURE 6.8: GRAPHE DE DEPENDANCE ENTRE L'EFFICACITE DE L'APPRENTISSAGE DES ETUDIANTS ET LES CRITERES LIES AU LOGICIEL..... | 125 |
| FIGURE 6.9: RECAPITULATIF DES RESULTATS APRES LE TRAITEMENT STATISTIQUE DU QUESTIONNAIRE..... | 127 |
| FIGURE 6. 10: GRAPHE ACP DE LA COMBINAISON DES ETUDIANTS PAR RAPPORT AUX CRITERES LIES AU LOGICIEL..... | 129 |
| FIGURE 6.11: DIFFERENTES COMPOSANTES DU TPCK | 130 |
| FIGURE 6.12: APPLICATION DU MODELE TPCK DANS LE CAS DE L'ENSEIGNEMENT DE LA FAO..... | 133 |
| FIGURE 6. 13:RESULTAT DE L'EFFICACITE A TRAVERS LE DEGRES D'ASSISTANCE DU PROFESSEUR | 134 |
| FIGURE 6.14: GRAPHE ACP DES VARIABLES DE L'ENQUETE PROFESSEUR | 135 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| TABLEAU 3. 1: PRINCIPAUX COURANTS THEORIQUES SELON LE POINT DE VUE : ENSEIGNEMENT, APPRENTISSAGE ET PEDAGOGIQUE (KOZANITIS 2005)..... | 45 |
| TABLEAU 3. 2: EXEMPLE DE DECOMPOSITION D'UNE TACHE EN ACTIVITES ET EN ACTIONS | 66 |
| TABLEAU 4. 1: CRITERES INFLUENÇANT L'EFFICACITE DE L'APPRENTISSAGE DE L'ÉTUDIANT SUR UN LOGICIEL FAO DONNE | 86 |
| TABLEAU 5.1: DOCUMENTS TRAITANT L'ÉVALUATION DES LOGICIELS DE SIMULATION | 90 |
| TABLEAU 5.2: ANALYSE DE LA TAXONOMIE DES METHODES D'ÉVALUATION D'UTILISABILITE..... | 95 |
| TABLEAU 6.1: VARIABLE DEPENDANTE Y..... | 108 |
| TABLEAU 6.2: ASPECT ERGONOMIQUE DU LOGICIEL FAO | 109 |
| TABLEAU 6.3: ASPECT PEDAGOGIQUE ET CONTENU TECHNIQUE DU LOGICIEL FAO | 109 |
| TABLEAU 6.4: DURÉE DE RÉALISATION DU TRAVAIL | 110 |
| TABLEAU 6.5: SATISFACTION DE L'ÉTUDIANT DU RESULTAT DONNE PAR LE LOGICIEL FAO | 110 |
| TABLEAU 6. 6: CONNAISSANCES PREALABLES EN INFORMATIQUE ET INFOGRAPHIE | 111 |
| TABLEAU 6. 7: PROFIL DU SUJET | 111 |
| TABLEAU 6.8: COEFFICIENT DE SATURATION LES ITEMS ET L'EFFICACITE..... | 115 |
| TABLEAU 6.9: MATRICE DES INTERCORRELATION RELATIF A LA VARIABLE "ERGO_COMPOSED" | 117 |
| TABLEAU 6.10: MATRICE DES INTERCORRELATIONS RELATIVE A LA VARIABLE «PEDAGOGIE ET CONTENU TECHNIQUE»..... | 117 |
| TABLEAU 6.11: MATRICE DES INTERCORRELATIONS RELATIVES A LA VARIABLE "EFFICACITE"..... | 118 |
| TABLEAU 6.12: DISTRIBUTION STATISTIQUE DES ETUDIANTS | 122 |
| TABLEAU 6.13: VALEURS DE K12 ET LA SIGNIFICATION STATISTIQUE DU CRITERE PROFIL LIE A L'ÉTUDIANT SUR L'EFFICACITE D'APPRENTISSAGE DE L'ÉTUDIANT SUR UN LOGICIEL FAO DONNE | 123 |
| TABLEAU 6.14: LES MOYENNES ET LES ECART-TYPE DES DEUX GROUPES RELATIFS AUX CRITERES LIES AU LOGICIEL..... | 124 |
| TABLEAU 6.15: VALEURS DES MOYENNES DES DEUX GROUPES D'ÉTUDIANTS..... | 124 |
| TABLEAU 6.16: RESULTATS DU TEST DE STUDENT ET DE COHEN-D | 125 |
| TABLEAU 6.17: CONTRIBUTION DES CRITERES ETUDIES AUX AXES 1 ET 2 | 128 |
| TABLEAU 6.18: MOYENNES DES DEUX CATEGORIES D'ASSISTANCE (EFFICACITE) POUR CHACUN DES CRITERES ÉVALUES | 134 |
| TABLEAU 6.19: CROISEMENT DES VARIABLES ASSISTANCE (EFFICACITE) X POLY/ECRAN..... | 135 |

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

AHP : Analytic Hierarchy Process (**Processus d'Analyse Hiérarchique**)

APT : Automatically Programmed Tooling (Langage générique pour les langages de programmation en commande numérique)

ATC : Automatic Tool Changer

CAD : Computer Aided Design

CAM : Coputer Aided Manufacturing

CL : Cutter Location

CN : Commande Numérique

CNC :Commande Numérique par Calculatuer

DNC : Direct Numerical Control (Commande Numérique Direct)

EDM : Electrical Discharge Machine

FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur

IHM : l'Interaction Homme-Machine

MOCN : Machine Outil à Commande Numérique

OMS : Outil de Modélisation et de Simulation

TA : Théorie de l'Activité

VLSI : Very-Large-Scale Integration

Introduction

Les systèmes de production sont devenus complexes et coûteux. Les Outils de Modélisation et Simulation (OMS) se présentent comme étant des outils de préparation, d'analyse et d'évaluation de la fabrication des produits avant la phase d'exécution. Les OMS sont des moyens interactifs et visuels permettant une meilleure préparation de la fabrication et une bonne approche d'éventuels problèmes lors de l'usinage.

La pratique de la simulation dans le domaine de la productique a été facilitée par le nombre croissant d'OMS disponibles sur le marché. D'un autre côté, la concurrence vive a poussé les industriels, en vue d'augmenter leur compétitivité, à mettre en œuvre ces moyens pour réduire les coûts, augmenter la qualité des produits et permettre une flexibilité de la production. L'usage d'outils de simulation comme moyen pour faciliter la mise en œuvre des productions est devenu très courant dans l'industrie et par conséquent dans l'enseignement. Les entreprises cherchent des conseils à propos des caractéristiques voulues et souhaitées concernant l'OMS en productique, en adéquation avec leurs objectifs: type de production, type de machines, performance et coût global d'acquisition. Les établissements d'enseignement technologique se trouvent confrontés au même problème de choix, compte tenu de son incidence sur les compétences requises en relation avec le marché de travail. Concernant l'enseignement, le choix a un double impact. Il concerne l'objectif double de scénarisation adoptée par le professeur en tenant compte des profils des étudiants, de leur motivation et l'atteinte des performances visées et celui de la facilité d'apprentissage des étudiants.

La formation d'ingénieurs et de techniciens en génie mécanique vise à les former dans les domaines de conception et fabrication industriels, en plus d'autres domaines complémentaires. L'articulation entre l'université espace d'apprentissage et de formation, et l'entreprise lieu d'activité de production et de performances doit être l'objet de l'attention de tous les acteurs intervenant dans cette activité de formation. Ainsi, à l'université, on vise à permettre à l'étudiant de construire les savoirs académiques, techniques et technologiques qui lui permettront non seulement d'intégrer le domaine de l'entreprise, mais aussi de pouvoir exercer son métier, armé des compétences et outils nécessaires à cela. Dans l'entreprise, le diplômé doit faire preuve d'adaptation à l'environnement de travail et être prêt à l'usage d'une multitude d'outils.

Dans la littérature on trouve souvent des méthodes d'évaluation à travers des critères définis. Nous avons noté l'absence d'un cadre théorique pour conduire la recherche de ces critères. Plusieurs critères d'évaluation ont été utilisés, faisant appel à des notions très générales tels que la flexibilité, la conception des interfaces, le graphisme, le temps d'exécution et le coût et la survie de l'outil (Bovone et al., 1989 et Holder, 1990). Des différences entre les critères et leur hiérarchie peuvent être observées lorsqu'il s'agit d'applications industrielles ou dédiées à l'apprentissage. Il n'est pas possible de dessiner une ligne absolue entre les deux en raison des variations de l'environnement et de la réalité dynamique de production. Certains critères ont plus d'importance pour un groupe que pour l'autre. Ces niveaux d'importance ne peuvent pas être analytiquement justifiés. Ils dérivent d'une expérience extensive des auteurs dans la sélection et l'utilisation des logiciels de simulation pour l'enseignement, la recherche et les organismes de consultation pour l'aide à la prise de décision dans le choix des OMS.

Tous les critères qui ont trait à l'apprentissage et la rapidité de mise en œuvre auront plus d'importance que ceux liés à la manipulation d'une large quantité de données ou d'une modélisation détaillée en raison de la durée relativement courte des leçons ou séances de simulation dans la plupart des cas. Ainsi, les étudiants ne doivent pas passer beaucoup de temps dans la construction des modèles. Ils doivent apprendre les bases de la méthodologie de la simulation; le développement de modèle conceptuel, la validation du modèle et les techniques de vérification; la conception des expériences et l'analyse des résultats de simulation tel que suggéré par Hlupic et Rey (1999).

Nous avons aussi relevé, dans la littérature, l'absence d'un modèle théorique qui permet de décrire le contexte global de l'enseignement-apprentissage de la simulation dans le milieu universitaire.

On ne peut faire une prise de décision concernant le choix d'un outil-support pour l'enseignement-apprentissage de la simulation dans le milieu universitaire sans aborder les aspects de la didactique professionnelle liée au domaine de l'enseignement-apprentissage de la simulation. Le cadre de notre travail nous impose de tenir compte de ces considérations quant aux approches que nous avons suivies pour traiter de la problématique du choix d'outils pour l'enseignement en fabrication mécanique, utilisant des outils de modélisation et de simulation.

En plus des aspects didactiques intrinsèques à la simulation, l'étudiant doit obligatoirement, dans cette discipline, utiliser un outil de médiation qui est un logiciel de

simulation, d'où la nécessité d'incorporer les dimensions de la didactique professionnelle qui, en plus de la didactique de la discipline, ajoute deux autres composantes : celle des sciences de l'action et l'ergonomie. D'une part, les pratiques ergonomiques considèrent de plus en plus la formation comme un moyen d'agir sur les situations de travail et d'autre part, les milieux de la formation ressentent de plus en plus la nécessité de concevoir des contenus proches des réalités du travail. Il est à noter que la didactique professionnelle est une didactique, de part son but, qui est l'étude des processus de transmission et d'appropriation des connaissances en ce qu'elles ont de spécifique par rapports aux contenus à apprendre mais, elle se centre beaucoup plus sur l'activité que sur les savoirs. Dès lors notre recherche de modèle pour comprendre comment l'étudiant interagit avec l'outil de simulation dans l'objectif de l'appropriation de la connaissance et l'efficacité dans cet apprentissage nous a conduit vers les sciences cognitives et la théorie de l'action. Ces deux voies s'avèrent limitées dans le cas de cette recherche comme nous le montrons dans ce travail, car ils ne rendent pas compte du contexte global de l'enseignement-apprentissage de la simulation à savoir le facteur lié à l'enseignant, aux concepteurs des outils de simulation, à l'institution d'enseignement « espace d'apprentissage et d'organisation de la formation »

Notre analyse a été conduite à partir de deux constats principaux :

Le premier suppose que la théorie de l'activité peut répondre au besoin énoncé auparavant qui est la détermination, en premier lieu, des facteurs influençant l'enseignement-apprentissage des OMS lié à un environnement plus global à savoir : le type de profil de l'étudiant, les spécificités du logiciel, la communauté des concepteurs des logiciels de simulation et l'établissement d'enseignement et de formation. L'un des objectifs de la recherche a consisté à analyser l'influence de chacune des composantes de l'environnement global.

Le deuxième est la nécessité de faire une catégorisation des différents facteurs selon leurs aspects techniques, pédagogiques ou sociaux et déterminer les interrelations entre les différents facteurs en vue de déterminer les plus influents.

Notre but est de répondre, à la question relative à une méthodologie de choix d'un outil de Fabrication Assistée par Ordinateur dans le domaine de l'enseignement.

Le présent document s'organise en six chapitres. Le premier chapitre trace l'évolution de l'industrie de production des pièces mécaniques par usinage et l'évolution des machines grâce

aux avancées considérables de l'informatique. Nous traitons aussi l'évolution qui a donné lieu à la nécessité de l'usage de la Fabrication Assistée par Ordinateur.

De nos jours la fragmentation du marché des logiciels FAO et la vitesse rapide de leur développement impliquent la lourde tâche pour les équipes pédagogique universitaire et des écoles d'ingénieur pour la définition des critères de choix d'un logiciel FAO dans les établissements d'enseignement. L'étude de cas détaillée et explicitée en utilisant un logiciel de FAO ainsi que les conclusions de ce chapitre nous ont permis de se poser plusieurs questions relatives à l'enseignement et à l'apprentissage de la FAO dans les établissements universitaires.

Le deuxième chapitre met en évidence l'articulation entre l'université, espace d'apprentissage et de formation, et l'entreprise lieu d'activité de production et de performances et met l'accent sur la nécessité de porter attention à tous les acteurs intervenant dans cette activité de formation.

Nous proposons une modélisation de l'activité d'enseignement-apprentissage de la FAO en vue de répondre à de nombreuses questions qui se posent quant à l'environnement dans lequel s'effectue cet apprentissage. Le questionnement introduit par ce chapitre était : Quel type de support matériel doit on adopter pour un apprentissage efficace de ce type d'enseignement?

Le troisième chapitre relate d'abord les modèles d'apprentissage et la notion de tâche, notamment le modèle constructiviste permettant à l'enseignant d'élaborer un tutoriel qui définira le travail à effectuer par les étudiants par une démarche d'apprentissage étape par étape et lui fournit des éléments pour comprendre et gérer les interactions dynamique entre pairs. Ce chapitre analyse aussi les tâches prescrites et les tâches effectives et leur décomposition exhaustive en activités et actions exécutées par l'étudiant sur un exemple choisi.

Le quatrième chapitre développe l'argumentation selon la quelle des approches plus approfondies sont nécessaires dans le domaine de l'enseignement-apprentissage de la FAO et soutient que la théorie de l'activité peut répondre au besoin énoncé, à savoir, la détermination des facteurs influençant l'enseignement-apprentissage de la FAO liés à un environnement global tenant compte de tous les acteurs intervenant dans cette action d'enseignement-apprentissage.

Après avoir défini le cadre théorique pour l'étude de notre problématique et exploré les différents facteurs influençant l'enseignement-apprentissage de la FAO dans le contexte universitaire, nous avons exploré dans le cinquième chapitre les différentes techniques d'évaluation des logiciels et leurs rapports avec le cadre théorique de notre recherche. Ce chapitre se conclut par l'adoption de deux questionnaires comme moyen de recueillir les jugements des étudiants des enseignants du fait que ceux-ci sont les utilisateurs effectifs de l'outil pendant la formation.

Dans le sixième chapitre nous avons conduit une analyse exploratoire et confirmatoire dans le but de vérifier nos hypothèses et suppositions et par ailleurs les groupements des items pour simplifier l'analyse statistique des données et aussi confirmer la fiabilité de notre questionnaire et sa validité. Les principaux résultats obtenus par l'utilisation de la statistique descriptive et l'ACP y sont exposés et analysés.

Chapitre 1 Évolution de l'industrie de production des pièces mécaniques par usinage.

1.1 Introduction

Les équipements de production utilisant la commande numérique par ordinateur sont une composante majeure du CIM (Computer Integrated Manufacturing).

La commande numérique par ordinateur appliquée aux Machines-Outils (CNC) a ouvert la voie à l'introduction de l'automatisation et la flexibilité dans les systèmes de production. La technologie de commande numérique par ordinateur est appliquée aujourd'hui à un large éventail d'équipements utilisés dans le domaine de la transformation des matériaux. Le développement dans le domaine de la CNC a été l'un des principaux facteurs qui ont contribué à l'évolution des systèmes CAO/FAO et ensuite au CIM.

Pour ce qui est du cas de la fabrication des pièces sur Machine Outil à Commande Numérique (MOCN), le processus CAO/FAO génère un programme en code G qui sera transmis à la MOCN pour effectuer les trajectoires des différents éléments de la machine et les conditions de coupe nécessaires pour l'usinage de la pièce.

Un historique du développement de la CN, les types de machines à commande numérique et les techniques de programmation sont présentés dans ce chapitre. La fonctionnalité du logiciel FAO et systèmes CNC y sont aussi discutés. Ceci nous permet de mettre le travail que nous avons mené dans son contexte, à savoir celui de la FAO dont l'usage est une nécessité des moyens de productions actuels, caractérisé la complexité des moyens utilisés et de leur mise en œuvre.

1.2 Description de l'évolution de l'industrie de production des pièces mécaniques par usinage.

Après la seconde guerre mondiale, il y eut une grande avancée dans le domaine de la conception et le développement de produits aérospatiaux comme les satellites, les lanceurs, les avions civils et militaires, etc...

Les machines à copier hydrauliques et les machines commandées par des éléments électriques utilisées à l'époque ne pouvaient pas relever les défis de la fabrication imposés par les conceptions aérospatiales complexes, notamment en termes de précision et de qualité. Les

ingénieurs de fabrication étaient donc à la recherche d'une meilleure façon d'automatiser les opérations d'usinage.

La commande numérique (CN) a été développée au début des années 50 pour répondre aux exigences essentielles de l'industrie aérospatiale. Beaucoup de composants utilisés dans les avions et dans les engins de l'espace sont usinés à partir de blocs de matières premières, impliquant souvent l'enlèvement de quantités considérables de copeaux et nécessitant plusieurs centaines de mouvements et de positionnement des chariots de la machine-outil. La manipulation manuelle dans ces circonstances est non seulement fastidieuse, mais également inefficace et improductive d'autant plus qu'après plusieurs heures d'usinage, les pièces sont susceptibles d'être rejetées en raison d'erreurs d'usinage.

La technologie numérique développée à des fins de communication est devenue très utile pour les concepteurs de commandes de machines-outils. Puisque l'information nécessaire pour actionner et contrôler les déplacements et les vitesses éléments de la machine est codée numériquement, cette technologie est connue sous le nom de la commande numérique.

Les concepteurs de machines CN ont réalisé une grande avancée dans les années soixante lorsqu'ils ont intégré un mini-ordinateur à une machine outil à commande numérique. La technologie était alors rebaptisée commande numérique par ordinateur. L'intégration des ordinateurs avec machine outils à commande numérique a permis les avantages suivants:

- augmentation de la mémoire pour le traitement du programme pièce ;
- augmentation de la capacité de stockage de grands programmes de pièces en termes de taille ;
- facilité d'édition de programmes pièce sur l'interface de commande ;
- réalisation de la logique de commande via le logiciel ;
- amélioration significative de la fiabilité de fonctionnement des machines ;
- intégration des machines à commande numérique dans le système de production dans son ensemble.

D'autres développements de l'intégration à grande échelle ont abouti à l'élaboration de microprocesseurs autour desquels les ordinateurs pourraient être utilisés. Cela a naturellement conduit au développement de systèmes CNC basés sur des microprocesseurs. Aujourd'hui,

toutes les machines CNC sont à microprocesseur et les deux abréviations NC et CNC signifient commande numérique par ordinateur.

1.3 Histoire du développement de la commande numérique

Comme mentionné au début de ce chapitre, la nécessité d'une nouvelle technologie pour contrôler les différents mouvements des machines a été ressentie à la fin des années 40 pour répondre aux défis de la production de composants aérospatiaux. La fabrication d'un grand nombre de ces composants implique plusieurs milliers de mouvements de la machine. Une contribution importante à ce développement a été faite par John Parsons qui a élaboré une technique de fabrication de modèles précis pour fabriquer des pales d'hélicoptère. Cela impliquait le calcul de 200 points sur une courbe et les percer sur un gabarit avec précision. Il a par la suite développé, en 1948, une méthode en 3-D de l'usinage avec fraise à bout sphérique.

Les réglages successifs de l'outil ont été déterminés à l'aide d'un lecteur de cartes perforées d'IBM. Parsons a ensuite eu la tâche de l'élaboration d'une fraiseuse à commande numérique qui fonctionne selon le même principe. Les forces aériennes américaines étaient le bailleur de fonds pour le développement des machines à commande numérique. Parsons a révélé que le lecteur de cartes perforées était trop lent et s'est adressé au Massachusetts Institute of Technology (MIT) afin de développer un lecteur de cartes perforées plus puissant pour la machine proposée. La collaboration entre Parsons et le MIT a ultérieurement rencontré plusieurs difficultés. US Air Force a accordé un contrat au MIT et les laboratoire des servomécanismes de celui-ci ont développé la première machine à commande numérique en 1952. Giddings et Lewis, General Electric et Bendix sont les entreprises qui ont porté un intérêt pour le développement de la technologie à commande numérique, dans ses premières années. Le développement des composantes des machines et la technique de programmation appelée APT (Automatically Programmed Tooling) qui est un langage générique pour la programmation en commande numérique, a été entrepris presque simultanément au MIT.

Il faut aussi noter qu'un autre projet entrepris à cette époque au MIT (Projet Whirl d'énergie éolienne) a conduit au développement de ce qui a été nommé Interactive Computer Graphics. Cela a finalement abouti au développement de la technologie CAD par étapes comme le dessin 2-D, la modélisation 3-D, la modélisation de surface, la modélisation des solides, etc... Le premier système CNC développé au MIT utilisait des relais. Les développements ultérieurs de l'électronique et de conception VLSI ont mené à l'aboutissement

aux générations actuelles des machines à commande numérique et des technologies de la fabrication assistée par ordinateur.

Les efforts visant à intégrer la CAO et la FAO, et plus tard toutes les autres activités liées à la fabrication ont abouti à l'élaboration du Computer Integrated Manufacturing.

Actuellement, toutes les machines à commande numérique produites sont des machines à commande numérique par ordinateur, le système NC (ou système CNC) est conçu et construit autour d'un ou plusieurs microprocesseurs. Les Machines-Outils à commande Numérique (MOCN) constituent désormais une part importante de la production de machines-outils dans les pays avancés.

1.4 Types de machines CNC

La commande numérique par ordinateur est appliquée à une variété de machines. Certaines d'entre elles sont énumérées ci-dessous :

- Centre d'usinage :

- Horizontal ;
- Vertical ;
- Universel ;

- Tours CNC ;

- Centres de tournage CNC ;

- Centres tournage-fraisage ;

- Fil Cut EDM ;

Nous donnons, dans les paragraphes suivants, une description des principales machines à commande numériques.

1.4.1 Centres d'usinage

Destinés à la fabrication de pièces prismatiques comme des éléments de boîtes de vitesses, pièces avec parois minces, supports, boîtiers, qui nécessitent des opérations de fraisage, perçage, taraudage et bien d'autres types à effectuer. Avant l'introduction de centres

d'usinage, ces opérations d'usinage devaient être effectuées sur différentes machines qui induisait un délai de production considérable.

Les centres d'usinage sont des machines-outils à CNC de grande importance et sont multifonctionnelles, équipées de changeurs d'outils automatiques et sont capables de réaliser des opérations de fraisage, perçage, alésage, taraudage, sans intervention de l'opérateur pour le changement d'outils. Le changement des outils est effectué automatiquement à l'aide d'un changeur automatique d'outil. Ceci se s'effectue en 0,5 à 6 secondes en fonction de la machine. Un magasin d'outils indexable, qui peut stocker plusieurs outils, caractérise un centre d'usinage. Le magasin d'outil peut comprendre 16 à 100 outils en fonction de sa capacité. L'ATC) est conçu pour la préhension de l'outil programmé du magasin et le monter dans la broche. L'outil enlevé est remis par le chargeur dans le magasin d'outils.

Les Centres d'usinage sont souvent fournis avec deux ou plusieurs tables de travail appelées palettes. Dans le cas d'une machine à 2 palettes, pendant qu'une palette est en cours d'utilisation, l'opérateur peut mettre en place une nouvelle pièce à usiner sur la palette libre. Le Changeur Automatique de Palettes (CAP) permet le dégagement de la palette une fois l'usinage de la pièce terminé et l'introduction de la palette avec une nouvelle pièce à usiner. L'opérateur peut décharger la pièce finie de la première palette et mettre en place une nouvelle pièce, sans interruption des opérations d'usinage. Il existe des centres d'usinage avec six, huit ou plusieurs palettes. Les pièces peuvent être mises en place dans toutes les palettes et la machine peut être programmée pour accepter une nouvelle palette lorsque les travaux sur la palette précédente sont terminés. Les pièces peuvent être différentes et peuvent nécessiter différents programmes d'usinage. L'ordinateur de supervision va faire le choix du programme adéquat. Ainsi, les deux principales sources de temps non productif (changement d'outil et jusque là le réglage de la pièce à produire) sont réduites considérablement. Cela permet aux centres d'usinage d'avoir une forte productivité ainsi qu'un délai de production des pièces complexes raccourci. Cela réduit également et sensiblement les travaux en cours (WIP) Work In Process.

Les centres d'usinage sont classés en fonction de la configuration de la broche en tant que:

- a. Centres d'usinage à broche horizontale
- b. Centres d'usinage à broche verticale
- c. Centres d'usinage universels

a. Centres d'usinages horizontaux

Les centres d'usinage à broche horizontale sont généralement mono broche avec un changeur d'outils automatiques. Ces machines sont invariablement utilisées avec un plateau tournant pour faciliter l'usinage multi phase à des angles différents avec une seule mise en position. L'axe du plateau est parallèle à l'axe Y et est appelé Axe "B". La rotation du plateau peut être utilisée pour les contours d'usinage sur les surfaces de pièces à usiner, si le contrôle CNC est disponible pour l'axe B. Ce dernier axe permet l'usinage sur les quatre côtés de la pièce dans une même mise en position. L'utilisation de montages modulaires sur les centres d'usinage horizontaux permet l'usinage de plusieurs surfaces en une seule phase augmentant ainsi la productivité et réduisant les coûts d'usinage.

b. Centres d'usinage verticaux :

Les centres d'usinage à broche verticale sont aussi des machines de type à bâti, mono broche et changeurs d'outils automatiques ou multi broche avec tourelle (centres d'usinage tourelle)

c. Centres d'usinage universels

Ils sont semblables à des centres d'usinage horizontaux, mais avec l'axe de broche capable de basculer de la position horizontale à la position verticale en permanence sous contrôle de l'ordinateur. Cela constitue le cinquième axe de la machine. Dans certains cas, le basculement de la table au lieu de la broche offre le mouvement suivant le cinquième axe. Ces machines facilitent l'accès à la surface supérieure de la pièce de telle sorte que tous les usinages sur les cinq côtés d'une pièce peuvent être faits dans une mise en position unique. Le centre 5-axes est essentiel pour certains usinages qui exigent que l'axe de la fraise soit en permanence perpendiculaire à la surface à usiner. Les centres d'usinage peuvent être facilement intégrés dans une cellule de travail flexible. Les appareils de mesure automatique des jauges, les changeurs automatique des outils, les techniques de gestion avancée d'outil, les techniques de détection de bris d'outils, les postes de palettisation, les dispositifs de chargement et déchargement automatique de la pièce, sont des options utiles pour améliorer la productivité et réaliser une flexibilité de la fabrication.

1.4.2 Centres de tournage

Les tours CNC sont largement utilisés dans la fabrication de pièces à géométrie axisymétrique. L'Axe Z est parallèle à l'axe de la broche et l'axe X est perpendiculaire à celui-

ci. Quelques tours CNC peuvent avoir un axe Y supplémentaire. Les tours CNC sont généralement conçus avec un banc incliné pour faciliter le dégagement des copeaux. Le convoyeur à copeaux (soit magnétique ou mécanique) est généralement fourni pour l'évacuation facile des copeaux. La console de commande se trouve sur la face avant sur le côté supérieur.

Un outil est appelé dans le programme d'usinage par le numéro de l'emplacement dans lequel il est maintenu. Par exemple T06 indique l'outil positionné dans le poste n°6 de la tourelle porte outil ou dans le magasin d'outils du centre d'usinage. Le magasin d'outils est indexé.

Une variété d'adaptateurs est prévue pour monter différents outils. La compensation de longueur d'outil doit être mesurée et entrée dans la mémoire de la machine. Certaines machines ont un appareil pour la mesure automatique de cette longueur d'outil.

1.5 Commande Numérique Directe (DNC)

Au début, les machines à commande numérique utilisaient un lecteur de bandes pour le stockage et la saisie du programme dans leur mémoire. En raison du manque de fiabilité des lecteurs de bandes ainsi que la faible vitesse de fonctionnement, les ingénieurs NC étaient à la recherche d'une alternative plus adaptée.

L'avènement de la CNC au milieu des années soixante a ouvert la possibilité d'améliorer la performance des machines NC par la possibilité de l'interfaçage avec des mini-ordinateurs. Un autre développement technologique important était l'interfaçage de plusieurs machines à commande numérique avec un ordinateur, ce qui permet de stocker les programmes de pièces et de les transférer à la machine à commande numérique concernée, lorsque cela était nécessaire. Ce développement est devenu très utilisé sur les machines à commande numérique en raison d'avantages importants :

- Un certain nombre de machines à commande numérique peuvent être connectées à un ordinateur unique, dans de nombreux cas, un seul ordinateur peut gérer toutes les machines d'un atelier.
- Tous les programmes ou parties de programmes peuvent être transférés à la machine NC dans un mode de multiplexage.
- L'ordinateur peut être commodément utilisé pour l'édition du programme.
- Le nombre ou la taille des programmes stockés, ne sont pas limités.

- L'ordinateur peut être utilisé pour d'autres tâches comme la création du programme en utilisant un logiciel de génération de programme de pièce assistée ainsi que pour la gestion du fonctionnement des tâches telles que la planification de la production.

L'ordinateur DNC (appelé ordinateur hôte) peut servir un certain nombre de machines CNC en atelier. La figure 1.1 représente un réseau DNC typique. L'ordinateur DNC stocke tous les programmes pièce et transfère les programmes aux machines à commande numérique en réponse à des demandes d'opérateurs. L'arrivée de l'Internet, Intranet et de l'Extranet ont encore élargi le champ de la commande numérique distribuée.

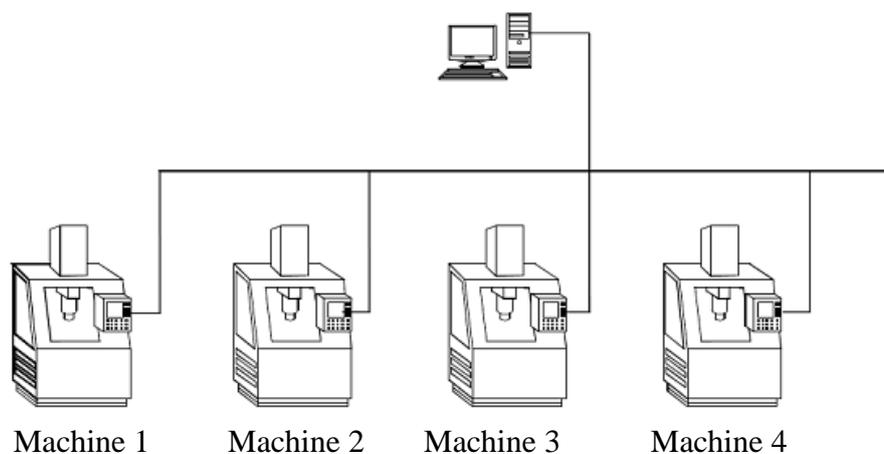


Figure 1. 1: Connexion en en réseau de plusieurs machines CNC

1.5.1 Objectifs de la DNC

Actuellement la DNC est considérée comme essentielle pour l'efficacité de la gestion des machines-outils CNC dans l'atelier. Les principaux objectifs de la mise en œuvre DNC sont:

1. Charger et télécharger des programmes CNC des machines-outils simultanément et directement à partir du système CNC.
2. Faciliter l'édition des programmes existants.
3. Éliminer l'utilisation des boîtiers d'interrupteurs manuels pour multiplexer les machines CNC.
4. Organiser et cataloguer tous les programmes pour un accès instantané.
5. Copier les programmes vers et depuis d'autres supports à l'ordinateur DNC.
6. Comparer les fichiers modifiés à la CNC avec le programme original.

7. Renommer ou supprimer ou mettre à jour des programmes ou créer de nouveaux programmes.
8. Afficher des photos des montages pour le catalogue graphique.
9. Fournir des fichiers de transaction du système de toute activité sur l'ordinateur DNC.
10. Protéger par mot de passe différents points du système de commande numérique par ordinateur chaque fois que l'opérateur pourrait causer des dommages au code NC par écrasement.
11. Assigner les corrections de longueur d'outil à partir des bancs de préréglage qui peuvent être transférés directement à la machine.

1.5.2 Intégration du système CAO/FAO avec DNC

Aujourd'hui, les systèmes CAO/FAO sont largement utilisés pour générer des programmes CNC. Le système CAO/FAO peut être relié à l'ordinateur DNC de sorte que les programmes créés par le système CAO/FAO peuvent être transférés à l'ordinateur DNC pour le routage vers la bonne machine CNC ou pour l'édition. Un LAN (Local Area Network) typique, qui comprend un système DNC et un logiciel de CAO/FAO poste de travail, est représentée sur la figure 1 2.

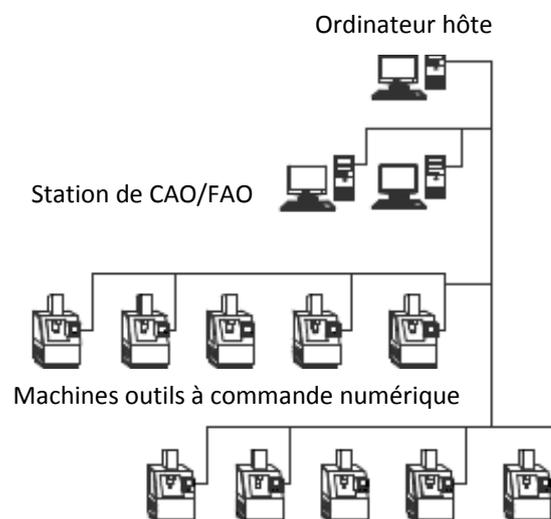


Figure 1. 2: La CFAO dans le système DNC

1.5.3 Commande numérique distribuée

L'abréviation DNC est utilisée pour désigner la commande numérique distribuée. Un réseau informatique dédié à la fabrication peut être constitué d'un ordinateur central, de stations de travail de CAO/FAO, un ordinateur hôte DNC et les systèmes CNC connectés. Cette configuration peut être avantageusement utilisée pour le traitement des données NC. Tous les calculs complexes nécessaires pour générer des données NC peuvent être transférés vers un ordinateur central plus puissant. Ainsi, le traitement des données NC se fait à différents niveaux hiérarchiques.

Les fonctions d'un système DNC peuvent être résumées comme suit :

- La gestion des programmes pièces: les programmes pièces stockés sur le disque dur peuvent être routés et introduits dans le réseau des machines en fonction de la planification.
- Les programmes peuvent être édités ou modifiés pour tenir compte des modifications de la conception, les changements d'outils ou des changements de machine.
- La collecte des données : l'ordinateur DNC peut être utilisé pour emmagasiner les données des différentes machines pour la planification et le suivi des productions.
- Intégration du Statistical Process Control (SPC) : La fonction SPC peut être intégrée dans le travail de l'ordinateur DNC car il peut être interfacé avec les données d'atelier.
- La gestion de correction d'outil : les données de correction sont envoyées à la machine appropriée par cette fonction.

1.6 Élaboration de programmes CNC à l'aide d'un logiciel de Fabrication Assistée par Ordinateur :

L'intégration de la CAO et FAO a donné lieu à un changement de paradigme dans la méthodologie de la programmation CN. Actuellement, il est possible non seulement de générer le programme CN nécessaire pour fabriquer une pièce directement à partir du modèle CAO, mais aussi concevoir et modéliser les agencements mis en place, la conception, les simulations sur machine, la sélection des paramètres optimaux de processus d'usinage, et la simulation des opérations d'usinage sur des postes de travail CAO/FAO pour s'assurer que le programme est en mesure de produire des pièces conformes aux caractéristiques requises.

1.6.1 Besoin de produire de grands programmes

La commande numérique a été initialement développée pour répondre aux exigences de la production de pièces pour l'industrie aérospatiale. Dans de nombreux cas, ces pièces doivent être usinées à partir de brut parallélépipédique d'aluminium afin d'assurer l'intégrité structurelle des pièces. Il est donc assez fréquent de procéder à l'usinage d'une pièce brute pesant plusieurs centaines de kilos et dont la pièce finie peut avoir seulement un poids de quelques kilos. Ces opérations d'usinage nécessitent plusieurs milliers de blocs et il est fastidieux d'écrire des programmes complexes, ceci a nécessité le développement de techniques informatiques pour l'élaboration des programmes CN. Ces techniques ont permis de remédier aux inconvénients de la programmation manuelle.

La programmation manuelle de pièces telles que les structures d'aéronefs ou de moules est très difficile en raison de la taille et de la complexité des programmes. Les calculs mathématiques impliqués dans les contours 5 axes sont longs et fastidieux. Un programmeur est susceptible de faire des erreurs et la détection et la correction des erreurs est une activité qui consomme du temps. Par ailleurs écrire des codes NC de 30000 ou 20000 lignes à la main est une tâche très éreignante. Ces opérations de programmation impliquent des calculs complexes pour déterminer les coordonnées des points pour le positionnement des outils. Beaucoup de questions telles que l'incorporation de la compensation de diamètre implique beaucoup de calculs. En outre, en cas d'erreurs non détectées ceci implique d'énormes gaspillages de matériaux et de temps qui conduisent à un dépassement de la durée et du coût du projet.

1.6.2 Développement de la fabrication assistée par ordinateur

Pour les raisons mentionnées dans la section précédente, le besoin d'outils informatiques pour l'élaboration de programmes s'est fait ressentir dès le début de l'histoire de la CN. Le MIT a développé le langage APT dans les années 50 et depuis longtemps il est utilisé par les logiciels les plus courants pour la programmation assistée par ordinateur.

L'APT a été initialement développé par le Massachusetts Institute of Technology. Plus tard Illinois Institute of Technology Research Institute de Chicago a développé davantage l'APT. Une organisation appelée CAM- I était porteuse de développement des APT après Illinois Institute of Technology Research Institute (IITRI). Selon l'ordinateur sur lequel APT était mis en œuvre il y avait plusieurs versions. A savoir UNIAPT (Univac ordinateur), NELAPT (National Engineering Laboratory) , FAPT (Fujitsu Fanuc) , ADAPT (IBM) ,

AutoSpot (IBM) , CINTURN (Cincinnati Milacron), COMPACT -II (Manufacturing Data Systems International, GENTURN (General Electric) , MILTURN (Metal Institute, Netherlands, NEL (Ferranti) , SPLIT (Sundstrand) , EXAPT (Technische Hochschule , Aachen) etc. Plusieurs autres logiciels de programmation assistée par ordinateur étaient également disponibles pour les programmeurs dans les années 60 et 70.

L'approche de la partie de la programmation assistée par ordinateur dans ces logiciels se fait comme suit :

1. Définition de la géométrie (déclarations de géométrie): la géométrie de la pièce est définie avec des déclarations comme point, ligne, plan, cercle, cylindre, ellipse, vecteur, conique, etc. Avec l'utilisation de ces déclarations, la géométrie de la pièce peut être complètement définie.
2. États de mouvement: l'outil est supposé se déplacer autour de la pièce à usiner pour réaliser les opérations d'usinage. Les commandes comme GO, GODLTA, GOTO, OFFSET, TLLFT, GOLFT, GOUP, TLNDON, etc., sont utilisées pour définir les mouvements de l'outil.
3. Traitement Post –processeur : Il est nécessaire de préciser les détails de coupe, les vitesses de broche, d'avance, les tolérances etc, et ceux-ci sont inclus dans les déclarations du post-processeur. FEEDRAT, COOLNT, COUPE TOLER, etc, étaient des déclarations typiques du post-traitement

Le processeur APT va créer un fichier de données de localisation de l'outil (fichier de données CL) qui est fondamentalement un fichier texte contenant les coordonnées des points à atteindre par l'outil. Il est nécessaire de modifier ce fichier et le convertir en un programme CN pour qu'il puisse être adapté à une machine-outil et un système de commande. Les spécifications et les capacités des machines-outil et les caractéristiques des systèmes de contrôle varient considérablement, il est essentiel de développer des post-processeurs distincts pour créer des programmes CN pour chaque type de machine-outil.

L'APT a été le précurseur de la technologie CAD/CAM. Les développements en CAD et CAM a rendu cette démarche de création de programme obsolète. Actuellement la géométrie des pièces peut être obtenue directement à partir du modèle CAD 3-D. les logiciels CAM peuvent créer le programme de commande numérique à partir des données de la géométrie. Les étapes impliquées dans le développement du programme pièce utilisant des logiciels de FAO sont décrites dans la section suivante.

1.6.3 Les étapes de création d'un programme en code G à l'aide d'un logiciel FAO

Le schéma de la figure 1.3 illustre les étapes de création d'un programme NC à l'aide d'un logiciel FAO. Le point de départ de la FAO est le fichier CAO de la pièce à fabriquer.

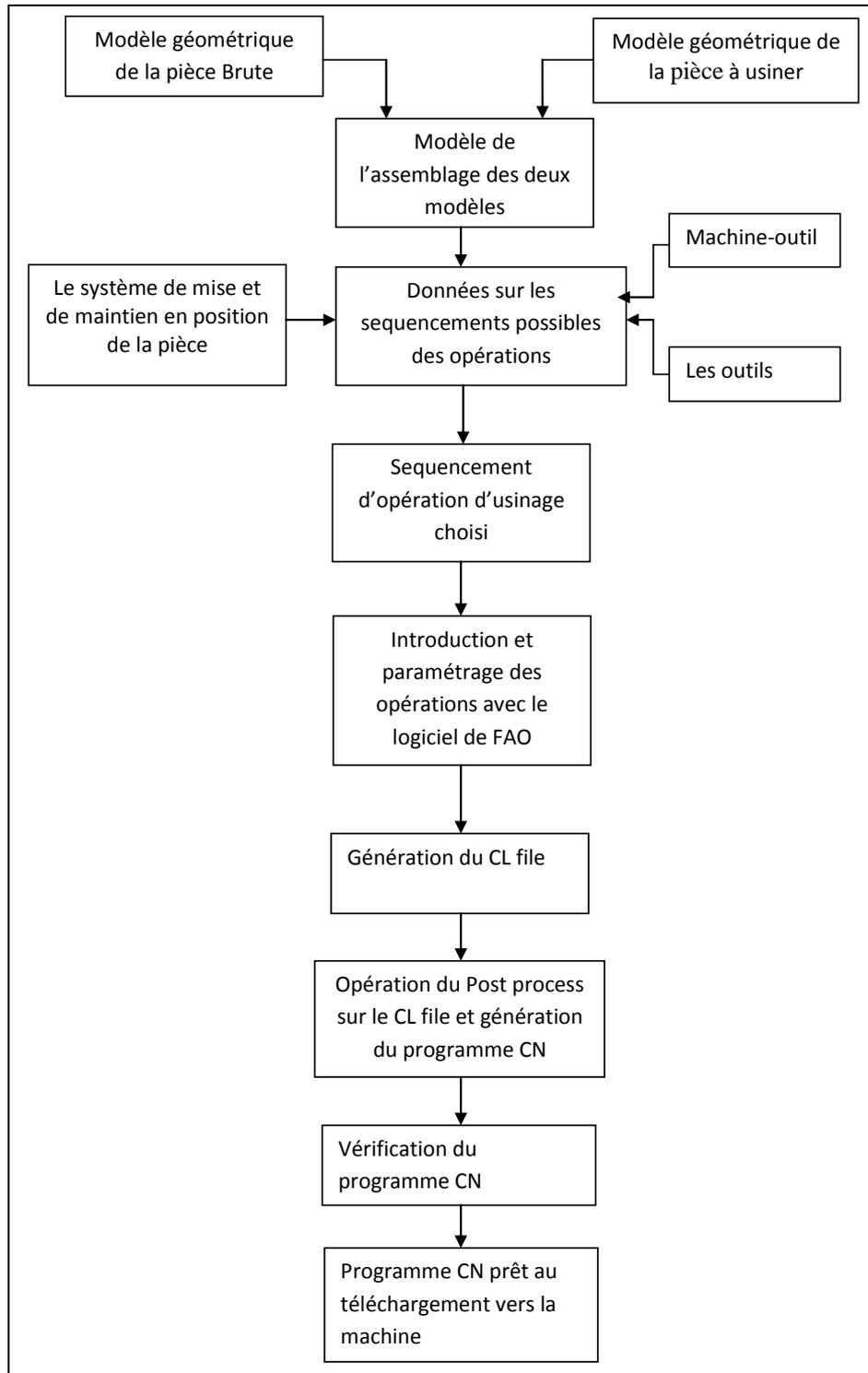


Figure 1. 3: Etapes à accomplir pour la création d'un programme en code G

1. Sélectionner la mise en place de l'opération d'usinage. Une pièce peut exiger plus d'une mise en position pour terminer l'ensemble des opérations d'usinage.
2. Le maintien en position est nécessaire pour chaque mise en position. L'appareillage de fixation peut être affiché avec la pièce. Il s'agit de s'assurer que la trajectoire des outils n'interfère pas avec les les appareillages. Ces derniers comprennent des éléments de positionnement et de serrage pour maintenir la pièce sur la table de la machine pendant l'opération d'usinage. Les éléments de fixation standard peuvent être créés et assemblés sous forme de bibliothèque de pièces avant de commencer l'opération de la fabrication. Ceux-ci sont également disponibles en bibliothèques standard.
3. Créer une base de données d'usinage. Des paramètres tels que la vitesse de broche et la vitesse d'avance peuvent être sélectionnés à partir de la base de données de l'usinabilité des matériaux.
4. Créer les opérations de fabrication pour générer les données CL. À chaque opération de fabrication, l'enlèvement de la matière de la pièce est visualisé pour simuler l'opération d'usinage réelle. Cette simulation est illustrée par l'affichage de la trajectoire de l'outil pour chaque opération.
5. En cas de besoin les données CL peuvent être modifiées par la modification des paramètres de fonctionnement ou en éditant le fichier de données de CL.
6. Créer une feuille de trajet de fabrication à la fin de la phase de fabrication.
7. Post-traitement du fichier CL pour créer le programme CN en code G.

Il existe plusieurs logiciels FAO disponibles dont les parts de marché sont représentées en figure 7. Les plus connus d'entre eux sont énumérés ci-dessous:

- Proengineering Manufacturing
- Catia
- Camworks
- Mastercam
- CVCNC
- Fabrication générative I-DEAS
- UGS- Fabrication
- Surf CAM

- Virtual Gibbs
- Bord CAM
- Prospector

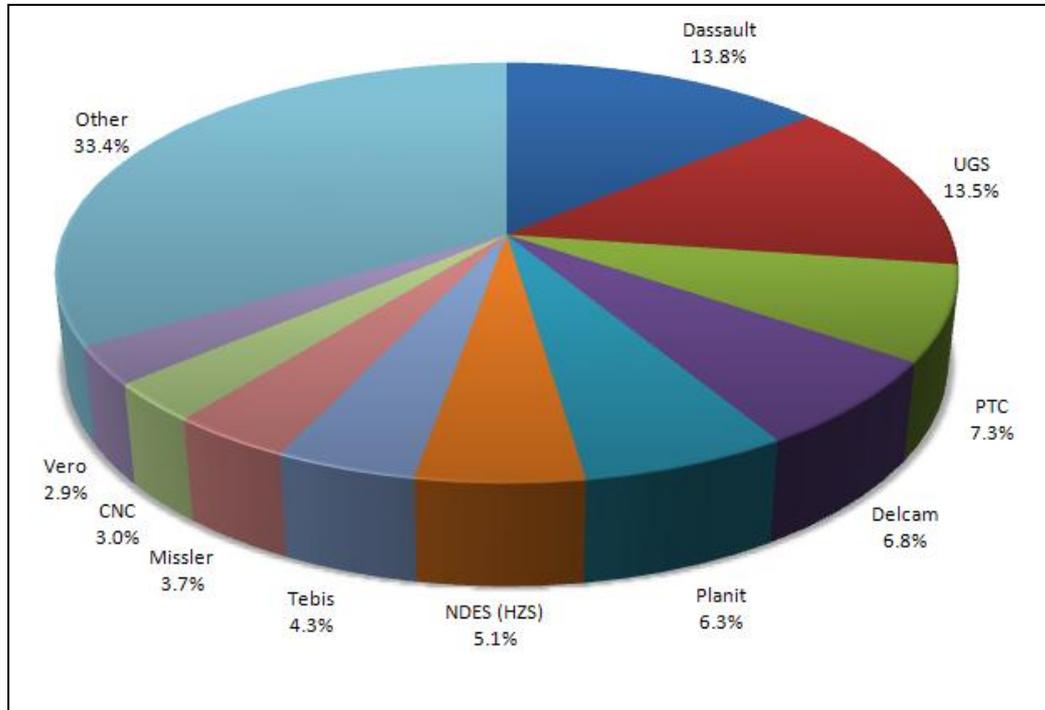


Figure 1. 4: Part de marché des plus grands fournisseurs de logiciel FAO en 2006

Depuis 2006 le marché des logiciels de FAO reste extrêmement divisé comme le montre la figure 1.4, bien qu'il y ait des éditeurs leader, comme Dassault Systèmes, qui fournissent CATIA et les solutions UGS PLM.

Même s'il y a eu un certain nombre de fusions et d'acquisitions récentes, le marché des logiciels FAO continue d'être très fragmenté et concurrentiel. Il n'y a pas un seul fournisseur ou groupe de fournisseurs qui domine le marché dans le monde entier. Par exemple, d'après les données de la figure 1.4, les principaux fournisseurs en 2006 sur la base du chiffre d'affaires de ces logiciels étaient, Dassault Systèmes et UGS PLM Solutions, avec des revenus presque identiques et une part de marché de 27,3%. Les huit autres fournisseurs avaient une part de marché de 39,3% et le reste des fournisseurs ont eu une part de marché de 33,4%.

Les recensements de 2010 (figure 1.5) montrent une entrée puissante de Siemens qui a racheté UGS et qui entre en forte concurrence avec Dassault système pour son produit PLM Catia V6

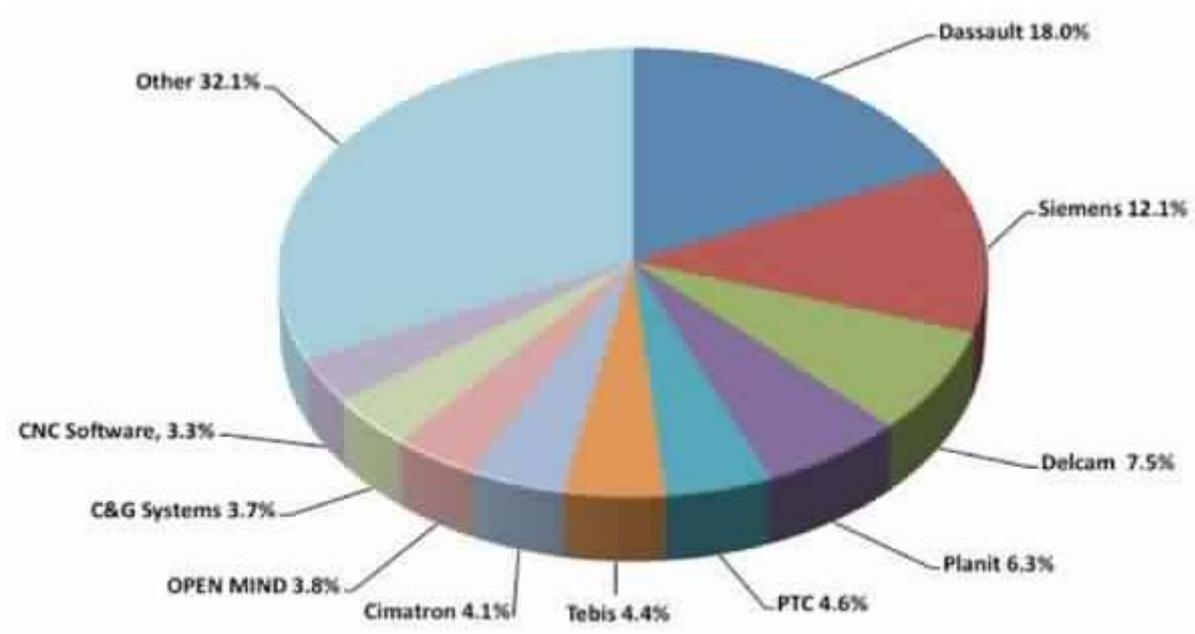


Figure 1. 5: Part de marché des principaux éditeurs de logiciel FAO pour l'année 2010

Cette fragmentation du marché des logiciels FAO et la vitesse rapide de leur développement impliquent la lourde tâche pour les équipes pédagogiques universitaires et des écoles d'ingénieurs pour la définition des critères de choix d'un logiciel FAO dans les établissements d'enseignement. Ceci implique la formation technique des professeurs enseignants, l'établissement du volet pédagogique qui définira les compétences requises et les compétences à acquérir ainsi que les méthodes d'apprentissage adéquates et les modes d'évaluation des compétences acquises. Ainsi plusieurs problématiques peuvent surgir et qui sont d'ordre pédagogique, didactique, institutionnel voire même politique.

La section suivante décrit en détail la procédure de création d'un programme CN en utilisant le logiciel de CFAO Catia V5R20 que nous avons retenu pour conduire notre étude.

1.7 Principales tâches à effectuer par les étudiants utilisant le logiciel de FAO

Les systèmes FAO sont conçus pour générer les programmes pour la commande numérique (code G) et autres codes spécifiques pour conduire les machines CNC.

Un des buts de l'enseignement de la FAO consiste à proposer un enseignement qui permet aux étudiants d'apprendre comment intégrer le modèle géométrique de la pièce, assigner le brut adéquat, vérifier ou modifier, si nécessaire, la succession des opérations, choisir les différents outils pour l'usinage des différentes formes et les conditions de coupe, et enfin examiner les trajectoires générées par rapport à celles souhaitées. L'étudiant doit non seulement être capable d'apprécier les résultats mais aussi de développer l'évaluation de

ceux-ci et améliorer ses performances pour obtenir un programme optimal de l'usinage de la pièce (optimisation des trajectoires des outils et des conditions de coupe, trajectoires d'engagement et de dégagement des outils et l'ultime phase qui est la génération du code G). Plusieurs programmes universitaires offrent des cours, tutoriaux et travaux pratiques d'ateliers dans le domaine de la conception et de la fabrication. L'utilisation des logiciels de FAO, dont les principales composantes sont décrites par la figure 1.6, est devenue très répandue.

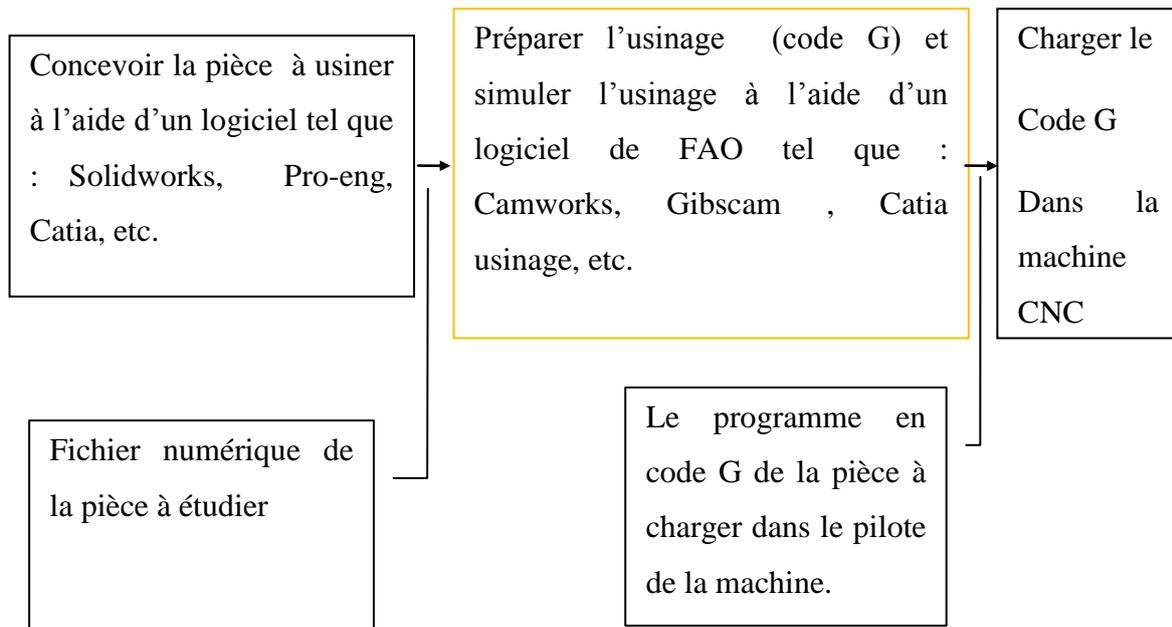


Figure 1. 6: Fonctionnalités et place de la FAO dans la chaîne numérique

Pour comprendre ce que l'étudiant doit être capable de faire, nous présentons dans ce qui suit la succession des étapes que l'étudiant doit élaborer pour générer le programme en code G de la pièce étudiée à l'aide du logiciel Catia V5 R20. Les séquences décrites dans le paragraphe suivant sont celles que nous avons utilisées durant l'étape d'administration du questionnaire que nous avons élaboré à partir du modèle théorique développé.

1.8 Étapes de travail de l'étudiant pour la generation du code G d'une pièce étudiée

Le premier travail à faire est de dessiner le modèle géométrique de la pièce finie et le modèle géométrique de la pièce brute.

1. A partir du modèle CAO de la pièce finie et le modèle de la pièce brute, l'étudiant doit d'abord élaborer l'assemblage dans l'atelier Assembly design de CATIA.

Dans l'atelier « Assembly design » l'étudiant doit sélectionner <Insertion> → <Composant existant> pour importer le modèle CAO de la pièce finie et le modèle de la pièce brute et effectuer l'assemblage figure 1.7.

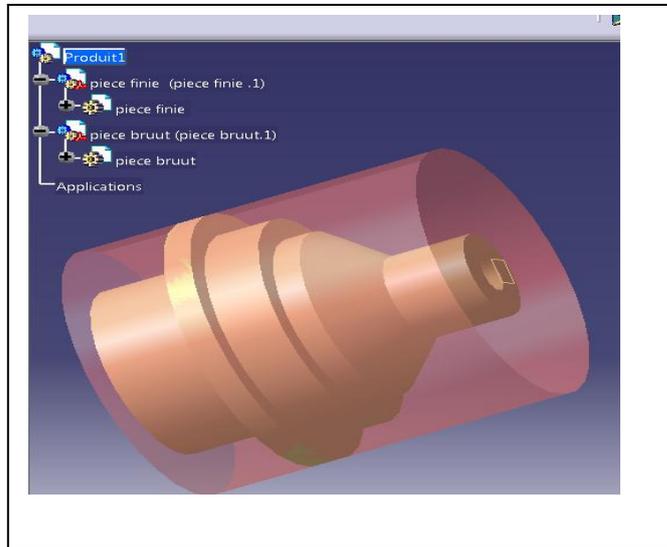


Figure 1. 7: Image de l'assemblage des deux modèles

Il peut alors passer au **Module Usinage** du logiciel pour introduire les différents paramètres de la phase d'usinage ainsi que les opérations nécessaires à l'usinage de la pièce.

2. L'étudiant doit sélectionner dans l'atelier usinage, l'atelier d'usinage approprié (figure 1.8), faire le paramétrage de la phase d'usinage (figure 1.9), introduire les caractéristiques intrinsèques à la machine choisie (figure 1.10) et assigner un trièdre de référence d'usinage (figure 1.11) :

Sélectionner : <<Démarrer>> → <<Usinage>> → <<Lathe Machining>>.

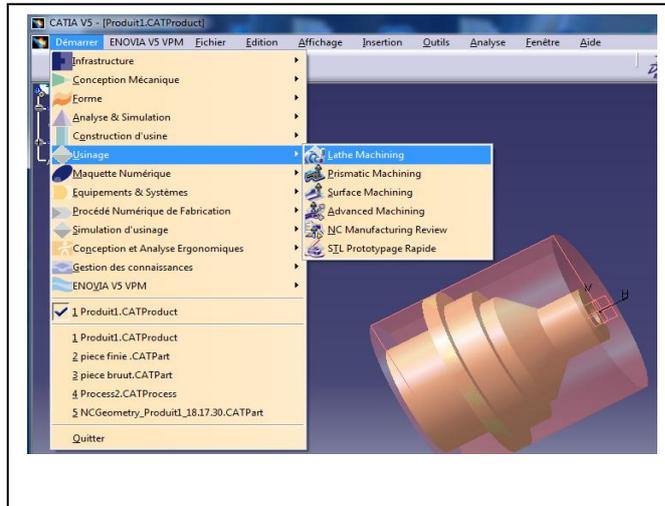


Figure 1. 8: Menu de passage vers l'atelier usinage

Cliquer sur icône :
« phase d'usinage »

Affichage du masque :
paramétrage de la machine

Dans le masque qui apparaît :
Cliquer sur icône :
« machine »

Affichage du masque : choix de la machine

Dans le masque qui apparaît :
Cliquer sur icône : « Tour horizontal CN »

Avant de commencer toute opération, vous devez paramétrer votre environnement de travail: machine, pièce brute, pièce finie, etc.

Pour cela, double cliquez sur Phase d'usinage. Une fenêtre de paramétrage s'ouvre. Laissez glisser votre souris sur les différents icônes afin de visualiser les fonctions des boutons.

Machine

Paramétrez:

- Le Postprocesseur
- La Table de mots du postprocesseur
- Le Type de données CN

Figure 1. 9: Paramétrage de la phase d'usinage

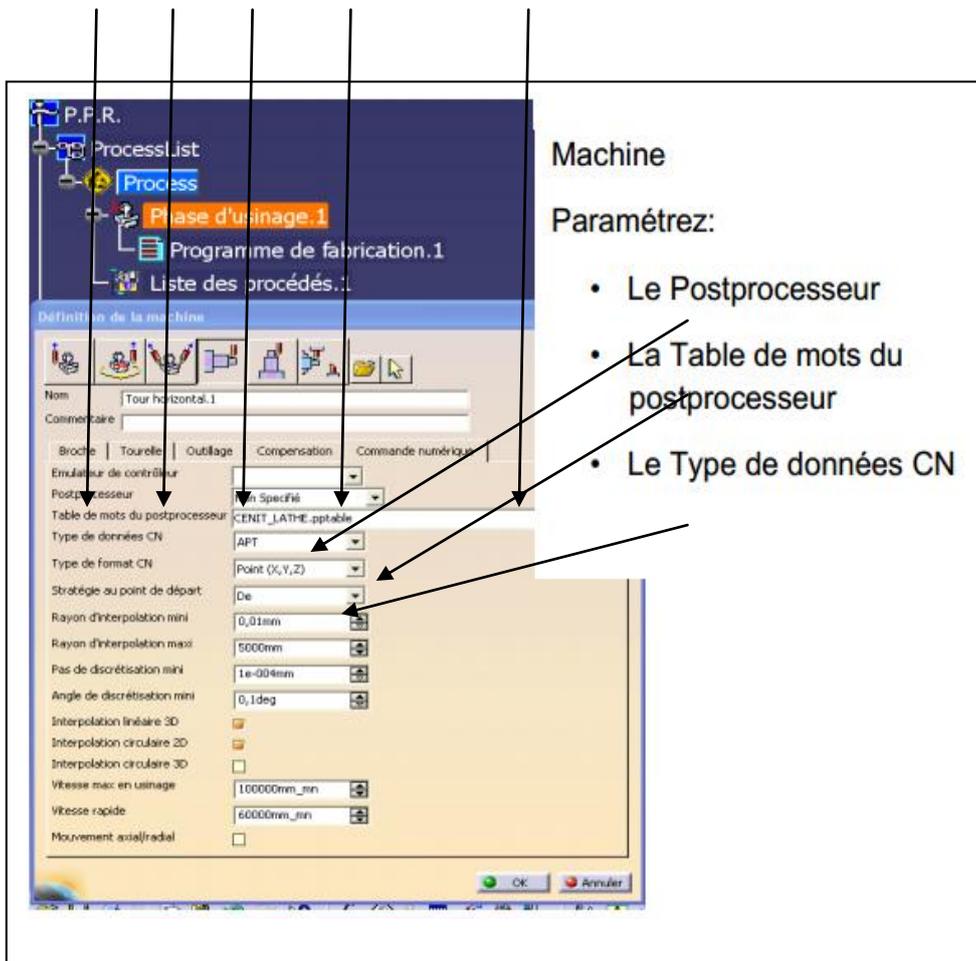


Figure 1. 10: Fenêtre pour le choix de la machine et de ses caractéristiques

Assignment du Trièdre d'usinage de référence :

L'étudiant doit cliquer sur le centre du trièdre et placer le à l'endroit désiré, le centre du trièdre est l'origine programme. Il doit respecter le sens des axes x et z, les orientations peuvent être changées en cliquant sur l'axe du trièdre présent dans la fenêtre trièdre de référence.

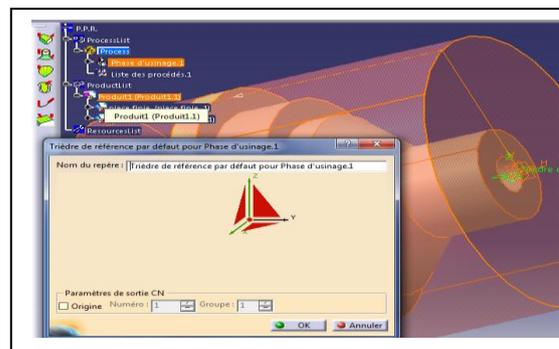


Figure 1. 11: Fenêtre pour le choix de la position et de l'orientation du trièdre d'usinage

L'étudiant doit assigner au logiciel le modèle géométrique de la pièce finie et le modèle géométrique de la pièce brute figure 1.12

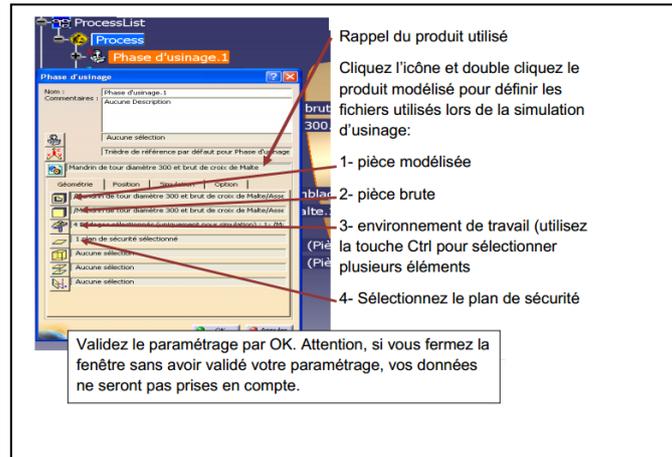


Figure 1. 12: Fenêtre pour préciser au logiciel le modèle géométrique de la pièce finie et le modèle géométrique de la pièce brute

4. Assignment des opérations d'usinage :

Après avoir paramétré la phase d'usinage, l'étudiant peut appeler le programme de fabrication dans l'arbre des spécifications. Il doit choisir sur <<ébauche de tournage>>, première opération de la phase d'usinage. Une fenêtre comportant 5 onglets apparaît c'est le cas pour chaque opération d'usinage introduite. A tout moment il peut observer les messages en faisant glisser sa souris sur les éléments présents dans les différentes fenêtres comme illustré sur les figure 1.13, 1.14 ; 1.15.

Pour sélectionner les différents éléments de l'assemblage (pièce finie, pièce brute, etc...) il doit utiliser la fonction <<cacher/ afficher>> en pointant la souris sur l'élément présent dans l'arbre des spécifications et faire un clic droit.

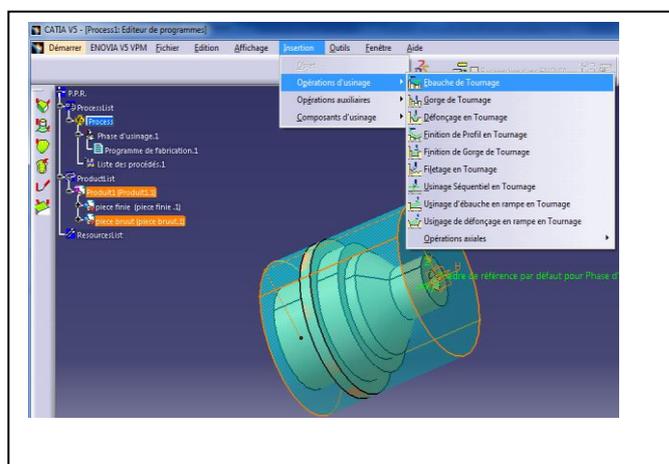


Figure 1. 13: Fenêtre pour choisir l'opération d'usinage

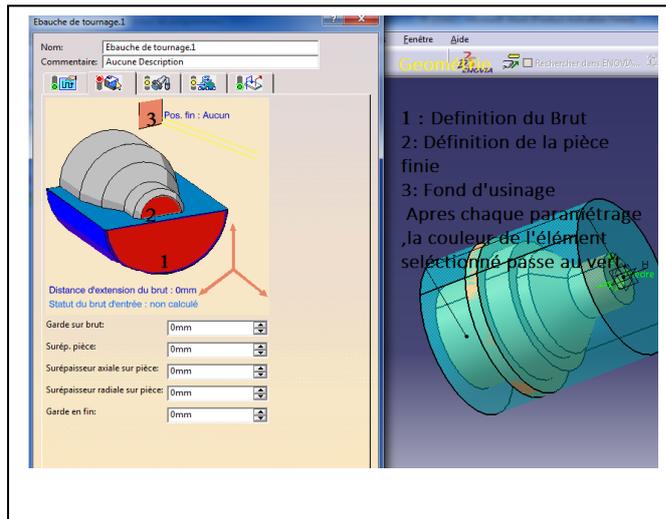


Figure 1. 14: Fenêtre pour designer le profil de la pièce finie et le profil de la pièce brute

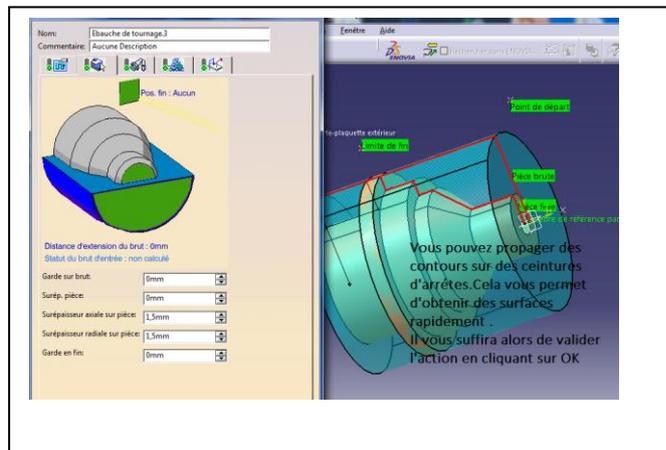


Figure 1. 15: Après selection des deux profils la couleur rouge devient verte

L'étudiant doit ensuite choisir l'outil adéquat pour l'opération d'usinage prévue (figure 1.16):

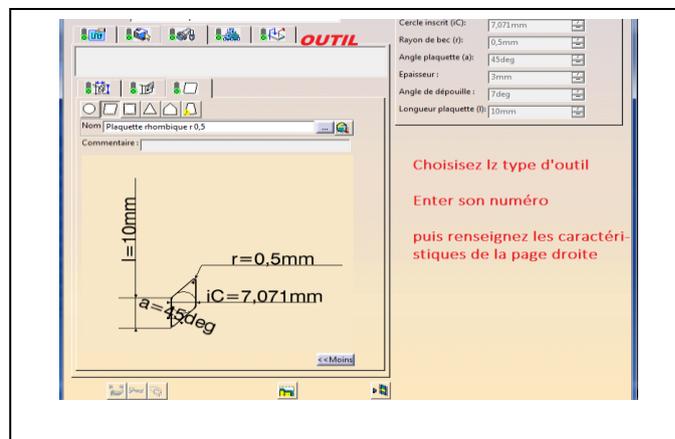


Figure 1. 16: Fenêtre pour le choix des outils de coupe

Puis choisir les conditions de coupe pour l'opération d'usinage prévue (figure 1.17):

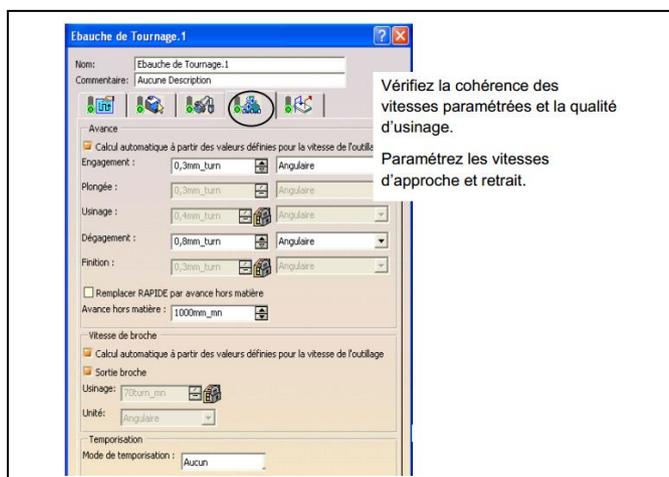


Figure 1.17: Fenêtre pour le choix des conditions de coupe

Il doit choisir la stratégie d'usinage pour l'opération d'usinage prévue (figure 1.18)

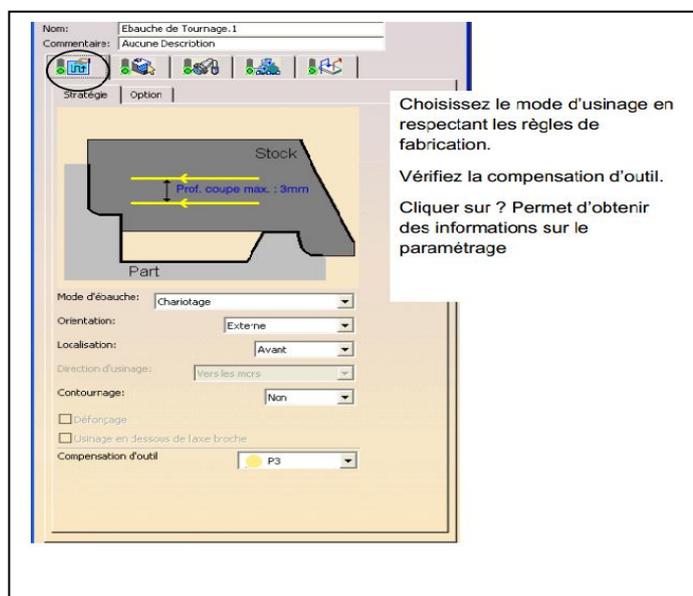


Figure 1.18: Fenêtre pour le choix des stratégies d'usinage

Il doit ensuite gérer les Macros d'approche et retrait des outils (figure 1.19)

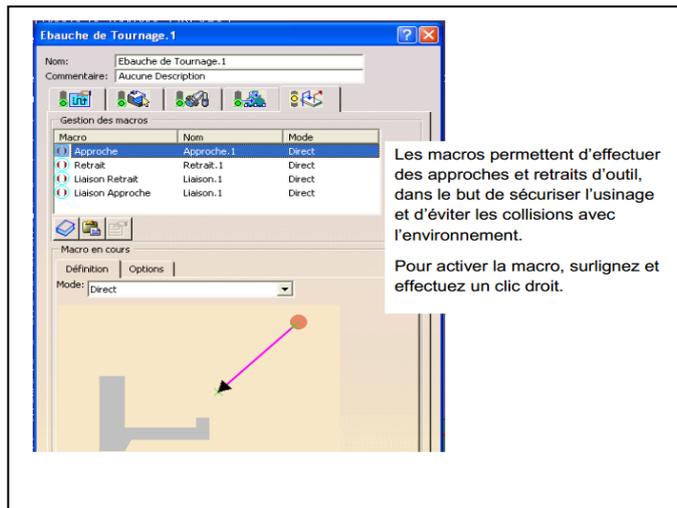


Figure 1. 19: Fenêtre pour le choix des stratégies d'approche et de retrait

5. L'étudiant peut alors procéder à la simulation d'usinage de l'opération prévue (figure 1.20 et 1.21)

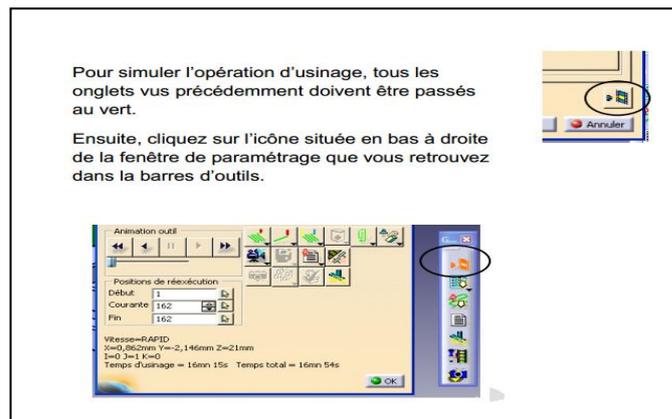


Figure 1. 20: Fenêtre des paramètres de la simulation des opérations simulées

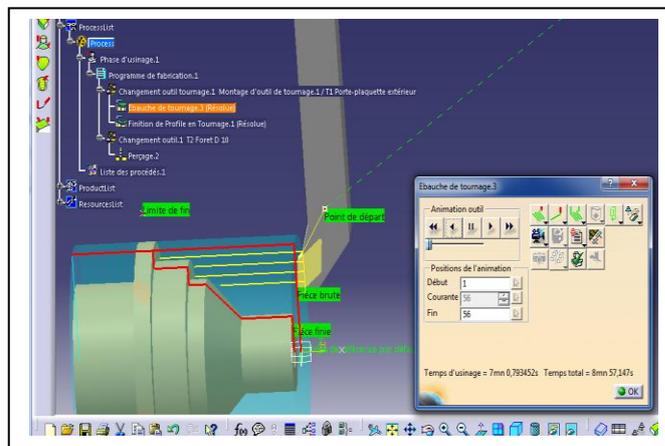


Figure 1. 21: Fenêtres des paramètres de la visualisation des opérations simulées

6. La génération du programme en code G est alors possible en cliquant sur « l'icône programme de fabrication-objet programme de fabrication-générer du code CN en mode interactif » figure 1.22 , et on génère le programme sous format code figure 1. 23

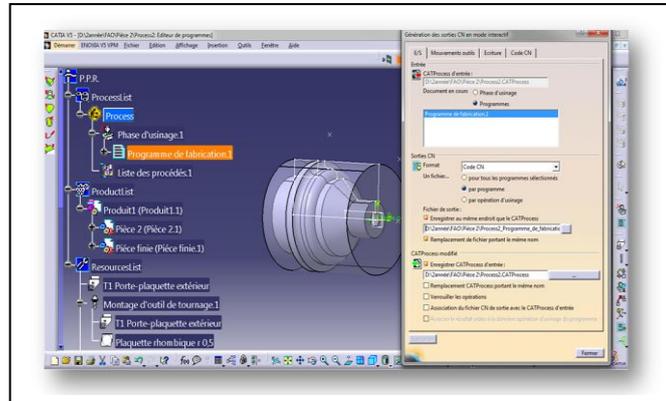


Figure 1. 22: Fenêtre pour le choix des paramètres de generation du code G

Le code G ainsi généré est donné sur la figure 1.23 de la page suivante.

| | |
|-----------------------------|---------------------------|
| % | |
| O1000 | N400 G1 Z.5 F.3 |
| N10 G20 G90 G40 G17 G94 G00 | N410 Z-19.088 F.4 |
| G49 G80 G98 G64 G54 | N420 X20.979 Z-18.876 F.8 |
| (IMSPPCC_LATHE PPTABLE 06- | N430 G0 Z2.5 |
| 13-2003) | N440 X17.8 |
| N20 T1 M6 | N450 G1 Z.5 F.3 |
| N30 G0 X41.533 S70 M4 | N460 Z-16.316 F.4 |
| N40 G43 Z2.5 H1 | N470 X18.012 Z-16.104 F.8 |
| N50 G1 G95 Z.5 F.3 | N480 G0 Z2.5 |
| N60 Z-40.982 F.4 | N490 X14.833 |
| N70 X41.745 Z-40.769 F.8 | N500 G1 Z.5 F.3 |
| N80 G0 Z2.5 | N510 Z-.802 F.4 |
| N90 X38.567 | N520 X15.045 Z-.59 F.8 |
| N100 G1 Z.5 F.3 | N530 G0 Z2.5 |
| N110 Z-40.982 F.4 | N540 X11.867 |
| N120 X38.779 Z-40.769 F.8 | N550 G1 Z.5 F.3 |
| N130 G0 Z2.5 | N560 Z-.802 F.4 |
| N140 X35.6 | N570 X12.079 Z-.59 F.8 |
| N150 G1 Z.5 F.3 | N580 G0 Z2.5 |
| N160 Z-35.231 F.4 | N590 X8.9 |
| N170 X35.812 Z-35.018 F.8 | N600 G1 Z.5 F.3 |
| N180 G0 Z2.5 | N610 Z-.802 F.4 |
| N190 X32.633 | N620 X9.112 Z-.59 F.8 |
| N200 G1 Z.5 F.3 | N630 G0 Z2.5 |
| N210 Z-35.231 F.4 | N640 X5.933 |
| N220 X32.845 Z-35.018 F.8 | N650 G1 Z.5 F.3 |
| N230 G0 Z2.5 | N660 Z-.802 F.4 |
| N240 X29.667 | N670 X6.145 Z-.59 F.8 |
| N250 G1 Z.5 F.3 | N680 G0 Z2.5 |
| N260 Z-35.231 F.4 | N690 X2.967 |
| N270 X29.879 Z-35.018 F.8 | N700 G1 Z.5 F.3 |
| N280 G0 Z2.5 | N710 Z-.802 F.4 |
| N290 X26.7 | N720 X3.179 Z-.59 F.8 |
| N300 G1 Z.5 F.3 | N730 G0 Z2.5 |
| N310 Z-24.632 F.4 | N740 X0 |
| N320 X26.912 Z-24.42 F.8 | N750 G1 Z.5 F.3 |
| N330 G0 Z2.5 | N760 Z-.802 F.4 |
| N340 X23.733 | N770 X.212 Z-.59 F.8 |
| N350 G1 Z.5 F.3 | N780 X53.781 Z10.359 F.4 |
| N360 Z-21.86 F.4 | N790 M5 |
| N370 X23.945 Z-21.648 F.8 | N800 M30 |
| N380 G0 Z2.5 | % |
| N390 X20.767 | |

Figure 1. 23: Code G généré de la pièce étudiée

1.9 Conclusion

Nous avons invoqué le contexte de notre travail en passant en revue l'évolution des machines outils à commande numérique et des outils de modélisation et simulation qui leurs sont attachés. Nous avons aussi abordé les questions relatives à l'utilisation de logiciels de CFAO dans l'industrie et dans les établissements de formations universitaires. Cette revue a permis de dégager une vue globale sur les enjeux quant au choix d'outils de CAO/FAO dans la formation.

Afin de conduire nos investigations, il a été procédé au choix d'un exemple que nous avons explicité. On notera, d'après l'analyse des activités que les étudiants doivent mener lors d'une partie de leur apprentissage, la complexité du processus. Le nombre important d'icônes à manipuler et mémoriser ainsi que l'apprentissage des symboles et de la signification de chaque icône et de sa fonction représente une charge cognitive importante pour l'étudiant. La mise en relation de chacune des étapes d'élaboration du travail sur le logiciel conformément aux données de l'étude et à la logique de l'usinage sur la machine rend parfois les étudiants perplexes et confus. D'une part il doivent faire appel à leurs connaissances antérieures concernant les modes d'usinage ainsi que les compétences relatives à la fabrication des pièces sur MOCN et d'autre part acquérir la manière et la logique de travail sur le logiciel de FAO. Ceci est extrêmement important pour la cohérence de la préparation du travail à effectuer.

D'après la démarche explicitée de l'exemple exposé, nous pouvons constater que l'exécution d'un travail sur logiciel FAO présente une difficulté double :

- La première est la maîtrise des formes du produit à usiner
- La deuxième étant la démarche logique voire optimisée de l'élaboration de ce travail en utilisant le logiciel de FAO.

Notons le que la complexité des formes des pièces ainsi que la diversité des structures et des architectures des MOCN sont des facteurs de difficultés d'apprentissage pour ce genre d'enseignement.

Notons enfin que le but et l'objectif de l'utilisation du logiciel est premièrement la génération du code G qui va piloter la machine conformément à l'étude préalablement établie et deuxièmement permettre la simulation de toutes les opérations pour rendre compte des

différentes erreurs dans les choix effectués et les stratégies d'usinage choisies par un étudiant en phase d'apprentissage.

Cette situation pose plusieurs problématiques quant à l'enseignement et l'apprentissage de la FAO dans les établissements d'enseignement supérieur. Le chapitre suivant trace les contours de cet état pour la formulation de notre question de recherche.

Chapitre 2 Problématique relative à l'enseignement de la FAO

2.1 Cadre théorique

La formation d'ingénieurs et de techniciens en génie mécanique vise à leur apporter des savoirs et savoirs faire en des domaines des sciences de l'ingénieurs, principalement ceux de la conception et fabrication industrielle. L'articulation entre l'université espace d'apprentissage et de formation, et l'entreprise lieu d'activité de production et de performances doit porter l'attention de tous les acteurs intervenant dans cette activité de formation.

Ainsi, à l'université, l'activité de formation vise à permettre à l'étudiant de construire les savoirs académiques, techniques et technologiques requis dans le but d'acquérir les compétences du métier d'ingénieur dans le domaine industriel.

En entreprise, l'étudiant, doit faire preuve d'adaptation à l'environnement de travail, aux multitudes d'outils utilisés et se rapprocher des compétences d'un ingénieur expérimenté.

Dans le cadre de notre étude nous nous focaliserons plus spécifiquement sur l'activité de la préparation à la fabrication des pièces pour leur éventuel usinage sur les Machines Outils à Commande Numérique (MOCN) et plus particulièrement à la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO).

Ainsi, nous proposerons une modélisation de l'activité d'enseignement-apprentissage de la FAO en vue de répondre à de nombreuses questions qui se posent quant à l'environnement dans lequel s'effectue cet apprentissage. Selon le passé de l'étudiant, de son entourage social ou du cadre et «de l'environnement» de travail qui lui est proposé, selon l'institution d'enseignement dans laquelle il étudie et des dispositifs pédagogiques adoptés, ainsi que du milieu industriel et des moyens de recherche et de communication mis à sa disposition, il sera intéressant de s'interroger sur l'impact de ces facteurs "extérieurs" sur l'apprentissage, dans la mesure où ils interviennent en plus du rôle de l'enseignant qui est devenu de plus en plus animateur et assistant.

Un premier volet concerne l'élément principal de cet enseignement qui est l'étudiant qui sera futur ingénieur. Les premières questions qu'on peut se poser à propos de l'étudiant sont :

Quelle sont les profils des étudiants concernés par cet apprentissage, leurs connaissances antérieures ou pré-requis (pratiques déjà élaborées sur d'autres types de logiciels de la FAO), leur environnement social, leurs compétences dans d'autres matières (module CAO, module de production.....), leurs styles et leurs manières d'apprentissage etc. ?

Le deuxième volet concerne des questions relatives au programme :

Quel degré d'approfondissement est préconisé pour ces futurs lauréats?

Dans quel cursus de formation le cours de FAO s'inscrit-il?

Quelle méthode pédagogique l'établissement d'enseignement préconise-t-elle?

Quel type d'enseignement est préconisé : magistral, emploi des nouvelles technologies, apprentissage par projets, étude individuelle, apprentissage par petit groupe...?

Quel type de support matériel doit on adopter pour un apprentissage efficace de ce type d'enseignement?

Ce dernier point a attiré notre attention ; puisque nous pensons qu'il peut avoir une importance dans l'action de l'enseignement et de l'apprentissage.

Dans la littérature, nous avons trouvé assez peu de publications faisant état de recherches relatives à une méthodologie de choix d'un logiciel de FAO particulièrement dans le domaine de l'éducation pour l'adopter comme support d'enseignement du module FAO.

Par ailleurs, les sites Web concernés par les formations en FAO, les hautes écoles et universités mentionnent souvent la liste des cours qu'elles dispensent. On y trouve l'énoncé des contenus des tutoriaux et non le pourquoi de l'adoption d'un tel logiciel et encore moins la méthodologie appliquée dans l'enseignement de ses modules.

Sachant que ces futurs ingénieurs occuperont ou auront à leurs charges l'utilisation de ces logiciels ou logiciels similaires dans les différentes compagnies de l'industrie et de la production. Ceci exige des établissements de formation ainsi que de l'étudiant qui est l'acteur principal, d'acquérir les compétences nécessaires pour qu'il puisse être efficace et efficient dans le domaine de la vie active.

Nous nous limiterons donc à ces quelques commentaires, pour mettre en relief l'intérêt de développer une méthodologie adaptée pour le choix d'un logiciel parmi plusieurs existants

dans le marché pour l'enseignement de la FAO dans le but de former un étudiant futur ingénieur qui pourra être efficace et efficient en entreprise.

2.2 Questions de recherche

Conscients de l'importance de la FAO dans le curriculum du futur ingénieur et technicien déduite des besoins du secteur industriel et suite aux constats et observations effectués sur les pratiques lors de l'enseignement, nous nous sommes interrogés sur les causes des difficultés rencontrées. Plusieurs catégories de questions ont alors émergé comme autant de sujets d'approfondissement possibles. Nous ne pouvons, dans le cadre de ce travail, prétendre répondre à toutes les questions. L'une d'entre elles qui est celle relative à une méthodologie de choix d'un outil de FAO retiendra plus particulièrement notre attention, et que nous avons formulée ainsi :

Dans quel contexte est inscrit cet apprentissage/enseignement, quelles sont les facteurs de l'environnement de travail, le comportement des différents acteurs ou le contenu à proposer aux enseignants (en termes de scénario d'apprentissage et de préparation de documents), dans le but de faciliter l'apprentissage sur un logiciel de FAO, et par conséquent augmenter les performances des étudiants?

La question est posée dans le but de dégager des critères objectifs en se basant sur une méthodologie structurée qui permettrait le choix d'un outil parmi une multitude de ceux qui pourraient être utilisés.

2.3 Pratiques d'enseignement de la FAO

De manière plus spécifique au déroulement des activités d'enseignement, nous nous sommes interrogés sur les perceptions des enseignants dans le processus d'apprentissage. Lors des séances de travaux pratiques, les professeurs enseignant la FAO sont en majorité d'accord sur le même constat. Après l'exposé de l'objectif du TP et des données relatives à l'exécution du travail, ils passent une grande partie de temps de la séance à répondre aux questions concernant l'aspect fonctionnel posées par les étudiants. Parmi ces questions, nous pourrions citer quelques unes, relatives au logiciel utilisé : "Dans quel menu se trouve la commande permettant d'intégrer le brut avec le modèle géométrique de la pièce finie? « Comment puis-je choisir un outil spécifique ? » etc. Ces questions ont surtout trait à la manipulation de l'ordinateur, au contenu des menus du logiciel et à la découverte des possibilités d'un tel outil. Les réponses à ces demandes peuvent être trouvées facilement avec

quelque peu d'initiative des étudiants. Elles occupent l'enseignant au détriment d'autres développements plus fondamentaux comme par exemple la recherche d'une stratégie avec laquelle on peut réaliser la pièce avec en un minimum d'opérations, ou comment peut-on optimiser les différentes trajectoires des outils. Il est certain aussi que les différents menus et les stratégies de travail sur un logiciel, ou un autre, se pose en obstacle devant l'atteinte du but par l'étudiant.

Ceci nous amène à poser deux autres questions subsidiaires à la question principale posée précédemment, qui pourraient être formulées ainsi :

Comment l'enseignant peut-il amener les étudiants à apprendre les concepts généraux et la démarche logique de FAO et pas seulement l'utilisation exclusive d'un logiciel donné ?

Doit-il prévoir des ressources supplémentaires (vidéo de démonstration, un exemple type, aide en ligne, ...) ?

Les étudiants estiment après un nombre de séances d'apprentissage être efficaces dans la manipulation et l'exécution d'un travail à l'aide du logiciel FAO. Dès qu'on change le type de pièces, de choix de stratégies relatif à d'autres exemples, le professeur se trouve contraint d'assister les étudiants pour trouver des solutions. Or celui-ci ne peut consacrer beaucoup de temps à chacun. Cette situation peut créer des frustrations, tant pour l'enseignant que pour l'étudiant, quelque soit leur motivation pour le sujet.

Dans cette situation d'enseignement-apprentissage, que peut être le rôle de l'enseignant ?

Faut-il adopter un enseignement basé sur les problèmes PBL (Problem Based learning) (l'enseignement par les problèmes) ?

De quelle manière peut-on amener les étudiants à être davantage autonomes dans leurs apprentissages ?

Quels moyens faut-il mettre en œuvre pour motiver les étudiants pour qu'ils s'intéressent plus à la résolution de problèmes liés à la fabrication assistée par ordinateur ?

Combien de temps serait-il nécessaire pour atteindre ces objectifs ?

Les enseignants s'accordent sur le fait qu'il faut procéder à une analyse préalable des étapes pour élaborer le travail avec le logiciel pour éviter certaines complications importantes, ce qui demande un retour et une perte de temps pour les corriger. Mais faire l'analyse de

fabrication sur machine outil à commande numérique demande d'autres compétences dont on peut citer la compréhension et l'interprétation des différentes spécifications de la pièce à réaliser, les spécifications des liaisons des surfaces usinées par rapport à celles qui resteront brutes et les différentes possibilités de mise et de maintien en position de la pièce dans l'espace de la machine.

Il faut pouvoir appréhender les différentes trajectoires des outils ; penser aux stratégies optimisées d'engagement et de dégagement des outils sans risque de collision entre le porte outil et les mobiles, etc.

On devra aussi prêter une attention particulière à la technique de structuration des connaissances et des savoirs faire à enseigner et à la manière de le faire à la pertinence du montage d'exemples types ainsi qu'à la façon d'apprendre aux apprenants les réflexes indispensables tels que l'auto-vérification, la rigueur de travail. L'enseignant devra choisir les moyens de mobiliser, chez les étudiants, des compétences autres que celles directement nécessaires à la réalisation du travail requis.

La rapidité d'adaptation de chaque étudiant à un logiciel professionnel diffère de manière significative. Certains étudiants observent l'interface et les différents icones et menus ; d'autres commencent spontanément à appuyer sur les différents menus pour découvrir leurs fonctionnalités. D'autres attendent les recommandations du professeur pour réaliser la démarche pas à pas du travail demandé, d'autres encore sont perdus et ont des difficultés à démarrer. Les différents comportements et réactions des étudiants envers le logiciel et les contraintes liées au temps alloué aux séances d'apprentissage obligent l'enseignant à s'adapter et à utiliser différentes pratiques d'enseignement lors d'une même séance. L'enseignant fait le cours sous forme d'exposé présentant d'une manière structurée les étapes à valider pour réaliser une étude de cas en adoptant comme exemple une pièce simple et, d'autre part, il procède à des interventions individuelles auprès des étudiants, en fonction de leur demande. Ceci ne peut être faisable que dans le cadre de petits groupes d'étudiants, ce qui est le cas pour l'apprentissage de la FAO. Cette situation impose une fragmentation de la classe en petits groupes qui doivent comporter au maximum une vingtaine d'étudiants.

Enfin, avec les connaissances et les compétences acquises au terme de leur cours de FAO, les étudiants devraient être capables d'utiliser correctement un logiciel de FAO, bien entendu, de nombreuses fonctionnalités ne peuvent être abordées mais les fonctions essentielles devraient être utilisées.

D'une manière plus globale, en fin de module, on devrait envisager que les étudiants, ayant fait leur apprentissage sur un logiciel de FAO donné, seraient capables d'en utiliser un autre. Dans ce cas, il est nécessaire de s'intéresser au temps moyen pour s'adapter à ce nouveau logiciel ainsi qu'à la possibilité de mesurer leurs performances à se servir correctement d'un autre outil que celui sur lequel ils ont fait leur formations. Ces considérations dépendent fortement des fonctionnalités et de la présentation des logiciels utilisés, d'où l'importance d'en choisir un qui puisse contribuer de la manière la plus efficace à l'apprentissage.

Notons encore qu'au niveau des compétences des étudiants, nous pouvons nous interroger sur l'intérêt d'utiliser la FAO pour améliorer, ou même l'acquisition des notions sur l'établissement des phases d'usinage sur MOCN avant d'aborder l'étude de la fabrication des pièces sur MOCN qui a une grande spécificité par rapport au travaux sur machines conventionnelles

En outre, nous avons constaté qu'un certain nombre d'étudiants étaient incapables de faire le passage entre l'esprit de travail sur Machines Outil Conventionnelles et les travaux à réaliser à l'aide des MOCN. Il leur était aussi difficile d'appréhender les différents repères de référence dans l'espace machine tel que (OM, Om, Op, OP etc...). Ces notions sont délicates pour beaucoup d'entre eux. Elles doivent probablement être exercées plusieurs fois sur différents exemples et étude de cas, le fait d'avoir été lues une seule fois ne garantit pas leur apprentissage.

2.4 Conclusion

Plusieurs questions se posent et on ne peut prétendre avoir une réponse à chacune d'entre elles.

En se basant sur le contexte professionnel dans lequel les futurs ingénieurs et lauréats des universités devront s'insérer, nous pouvons définir les compétences que les étudiants devront avoir acquis, à l'issue de leur formations. Ils devront avoir validé les acquis de base des différents contenus techniques et technologiques liés à l'élaboration d'une gamme d'usinage sur MOCN;

- les acquis pratiques qui ont trait à la manipulation concrète de l'outil de FAO ;
- les acquis méthodologiques essentiellement le sens de l'analyse et le sens de la critique pour le choix de solutions, vérification, etc;
- l'aptitude à travailler aussi bien en groupe ou en équipe ou d'une manière individuelle.

En concordance avec les besoins professionnels et industriels, la formation doit donc donner aux futurs lauréats l'occasion d'aborder le large éventail des systèmes de FAO, la possibilité de manipuler des outils de niveau professionnel et industriel, l'occasion d'aborder les problèmes méthodologiques et leurs solutions possibles. Elle doit aussi offrir un cadre motivant d'apprentissage, l'opportunité d'échanger en petits groupes de travail favorisant les interactions sociales, un cadre permettant le développement de l'autonomie ainsi que des occasions de produire des travaux et études de cas ayant un véritable sens professionnel. Or, dans la pratique, les étudiants rencontrent des obstacles majeurs. D'une part, le manque d'autonomie des étudiants, ils interrogent continuellement l'enseignant, attendent des démarches pas à pas, ne vérifient pas les résultats. D'autre part, la difficulté à développer une méthodologie globale de réalisation d'un avant projet de gamme, indépendamment du logiciel utilisé en analysant la faisabilité du projet de gamme sur MOCN, et en anticipant les conséquences d'un choix de stratégie.

Comme le but de notre travail est la recherche d'une méthode d'évaluation du logiciel utilisé dans l'apprentissage de la FAO, notre intérêt va se focaliser sur la façon dont l'étudiant développe ses connaissances et sur ce qui peut rendre son action plus efficace. Cela nous conduit à nous interroger sur la manière dont les étudiants apprennent en passant en revue certaines méthodes et théories d'apprentissage utilisées dans le domaine de l'usage de l'informatique, et plus généralement des technologies numériques, appliquées aux domaines technologiques.

Chapitre 3 : Les modèles d'apprentissage et notion de tâches.

Avant d'aborder les modèles d'apprentissages, nous noterons que l'usage d'outils pour l'enseignement relève de la didactique, mais peut revêtir plusieurs autres aspects. La didactique se différencie de la pédagogie par le rôle central des contenus disciplinaires et par sa dimension épistémologique (la nature des connaissances à enseigner). Selon Vergnaud (2012), c'est l'« étude des processus de transmission et d'appropriation des connaissances dans ce qu'elles ont de spécifique du contenu, dans le but d'améliorer ces processus. Pour Mérieu, « La didactique est constituée par l'ensemble des procédés, méthodes et techniques qui ont pour but l'enseignement de connaissances déterminées ». Reuter (2007), stipule que les didactiques sont « les disciplines de recherche qui analysent les contenus (savoirs, savoirs-faire,..) en tant qu'ils sont contenus d'enseignement et d'apprentissage, référés/référables à des matières scolaires. ». Pour sa part, Daunay (2007), définit « le système didactique, comme le système de relations qui s'établissent entre trois éléments: le contenu d'enseignement, l'apprenant, l'enseignant. ». Il est à noter une différence dans le concept de didactique entre la vision américaine, dans laquelle l'acquisition des connaissances indépendamment de l'épistémologie du domaine de la discipline, rangés, selon Ginestié (1994), dans la rubrique "didactique générale", et la vision européenne qui s'intéresse au processus de "transmission-appropriation" d'un savoir spécifique qu'il est convenu d'appeler la "didactique disciplinaire". Dans cette vision, il est aussi important de noter que ce ne sont pas des pratiques qui sont enseignées mais les savoirs sur ces pratiques (Amigues, Ginestié et Gonet, 1991; Ginestié et Andreucci, 1997).

Concernant l'aspect pédagogique, selon Bachelard (1947), il existe plusieurs modèles possibles décrivant des situations d'apprentissage. Nous nous focaliserons sur les modèles étroitement liés à nos objectifs. En effet le modèle constructiviste et le modèle cognitiviste et socioconstructiviste donnent un cadre pour étudier les situations d'enseignement-apprentissage de la FAO.

3. 1 Les modèles d'apprentissage

3.1.1 Approche behavioriste

Le béhaviorisme (ou comportementalisme en français) en tant que théorie de l'apprentissage s'intéresse à l'étude des comportements observables et mesurables et considère l'esprit (mind en anglais) comme une « boîte noire » selon Good et Brophy (1990).

Également appelé modèle du conditionnement, le behaviourisme est issu des travaux de Pavlov (1890) sur le comportement, c'est-à-dire à ce qui est observable de l'extérieur.

Skinner (1978) a repris cette théorie en l'appliquant à l'apprentissage et en visant l'automatisation du comportement de réponse de l'apprenant. Il introduit le concept de maintien de la satisfaction par la récompense et découvre un processus qui positive l'apprentissage :

- stimulus,
- réponse,
- récompense (en cas de bonne réponse),
- renforcement.

Le renforcement est ici une consolidation de la connaissance apprise par la répétition d'une réponse correcte donnée. Le principe qui sous-tend cette approche est que l'on ne peut pas connaître les processus internes (dans le cerveau) et qu'il faut s'appuyer sur l'expérimentation et les choses observables (stimulus et résultat) afin de comprendre l'apprentissage qui est vu comme un mécanisme.

On résume souvent le behaviourisme dans ce schéma simple :

Stimulus → Formé → Résultat

Le formé étant considéré, dans cette approche, comme une boîte noire.

3.1.2 Approche cognitiviste:

L'approche cognitiviste traite des processus mentaux tels que la mémoire et la résolution de problèmes. Le courant cognitiviste a été largement adopté récemment en liaison avec les travaux sur la logique mathématique, et en particulier dans le domaine du développement des technologies de l'information comme étant des supports d'enseignement. Le cognitivisme est basé sur deux métaphores:

- Le cerveau est semblable à un ordinateur et traite l'information par le biais de systèmes ouverts qui peuvent communiquer avec l'environnement et en manipulant des symboles.
- Le cerveau est semblable à un réseau de neurones où les concepts sont liés les uns aux autres par des relations spécifiques.

Cependant, selon Baddeley (1994), il faut distinguer entre la mémoire et l'apprentissage, pour tenir compte des comportements humains. En effet, tout système cognitif a une architecture à trois composantes :

- une base de connaissance ou de la mémoire à long terme;
- une instance de traitement;
- un moteur d'inférence.

3.1.3 Approche constructiviste:

Piaget pense que la connaissance se construit. Le cerveau de l'être humain se développe en même temps que son corps et l'Homme assimile des connaissances issues de ses expériences de découverte de l'environnement.

La théorie constructiviste suggère que les étudiants apprennent en construisant leurs propres connaissances, en particulier à travers l'exploration pratique. Elle souligne que le contexte dans lequel une idée est présentée, ainsi que l'attitude et le comportement des apprenants, ont une influence sur l'apprentissage. Les étudiants apprennent en incorporant de nouvelles connaissances à celles déjà acquises. Les principales caractéristiques de ce modèle sont l'apprentissage centré sur l'étudiant, le travail collaboratif, l'enseignant facilitateur et non instructeur, les erreurs tolérées et faisant partie de l'acquisition de connaissances. L'étudiant apprend en effectuant des actions, l'enseignant utilise des situations-problème comme support d'enseignement.

3.1.4 Approche socioconstructiviste :

Le modèle socioconstructiviste a été développé par l'école russe de psychologie et les travaux de Vygotsky (1978) dans les années 20. Il stipule que les connaissances se

construisent par l'activité, et par ailleurs introduit une autre dimension : l'être humain apprend mieux au contact des autres et en échangeant ses expériences avec eux. Une phrase traditionnellement associée à Vygotsky est que "ce que l'enfant sait faire aujourd'hui en collaboration il saura le faire tout seul demain". Il introduit donc la médiation, c'est à dire le dialogue avec l'autre (un autre apprenant, un expert, un enseignant...) comme un paramètre déterminant dans le processus d'apprentissage. Sur le plan pédagogique, on retrouve chez Piaget la même volonté d'amener les apprenants à l'autonomie par l'action, et plus nettement l'importance de faire ensemble, qui ouvre la voie à l'apprentissage collaboratif. Le rôle du formateur n'est plus de mettre du contenu dans la mémoire de l'apprenant, mais de mettre en place des situations de construction de l'apprentissage à plusieurs, qui présentent l'avantage d'amener l'apprenant à verbaliser, c'est-à-dire à expliciter la façon dont il s'y est pris pour faire et à la comparer aux stratégies des autres. En proposant une approche psycho-sociale des activités cognitives, inspirée des travaux de Bandura (1986), le socioconstructivisme remet également en cause certains principes du cognitivisme, centrés sur des mécanismes individuels, et actualise des approches théoriques qui insistent davantage sur les dimensions sociales dans la formation des compétences. La construction d'un savoir, bien que personnelle, s'effectue dans un cadre social. Les informations sont en lien avec le milieu social, le contexte culturel et proviennent à la fois de ce que l'on pense et de ce que les autres apportent comme interactions. En pédagogie, on dira que l'étudiant élabore sa compréhension de la réalité par la comparaison de ses perceptions avec celles de ses pairs et celles du professeur. Le socioconstructivisme a introduit le paramètre déterminant de la médiation de l'autre, négligé par Piaget (l'influence du monde extérieur sur le développement des habiletés). Pour Piaget, il ne sert à rien de vouloir enseigner quelque chose à quelqu'un tant qu'il n'est pas mûr pour l'assimiler. Cette position clairement développementaliste/génétique des capacités d'apprentissage a fait dire à Vygotsky que pour Piaget l'apprentissage est à la remorque du développement.

Les théories socioconstructiviste sont des modèles d'enseignement et d'apprentissage pour lesquelles trois éléments didactiques sont indissociables pour permettre le progrès :

- la dimension constructiviste qui fait référence au sujet qui apprend : l'étudiant,
- la dimension sociale qui fait référence aux partenaires en présence : les autres étudiants et l'enseignant,

- la dimension interactive qui fait référence au milieu : les situations et l'objet d'apprentissage organisé à l'intérieur de ces situations. L'objet de l'apprentissage proposé est lié au contenu d'enseignement.

Un résumé des principaux courants théorique ainsi que leurs historiques est présentés en tableau 3 1 et figure 3.1

| Socio-constructiviste | Constructiviste | Cognitiviste | Béhavioriste |
|--|---|---|---|
| Enseigner c'est... | | | |
| Organiser des situations d'apprentissage propices au dialogue en vue de provoquer et de résoudre des conflits socio-cognitifs. | Offrir des situations obstacles qui permettent l'élaboration de représentations adéquates du monde. | Présenter l'information de façon structurée, hiérarchique, déductive. | Stimuler, créer et renforcer des comportements observables appropriés. |
| Apprendre c'est... | | | |
| Co-construire ses connaissances en confrontant ses représentations à celles d'autrui. | Construire et organiser ses connaissances par son action propre. | Traiter et emmagasiner de nouvelles informations de façon organisée. | Associer, par conditionnement, une récompense à une réponse spécifique. |
| Méthodes pédagogiques appropriées | | | |
| Apprentissage par projets, discussions, exercices, travaux. | Apprentissage par problèmes ouverts, étude de cas. | Exposé magistral, résolution de problèmes fermés. | Programme d'autoformation assistée par ordinateur. |

Tableau 3. 1: Principaux courants théoriques selon le point de vue : enseignement, apprentissage et pédagogique (Kozanitis 2005)

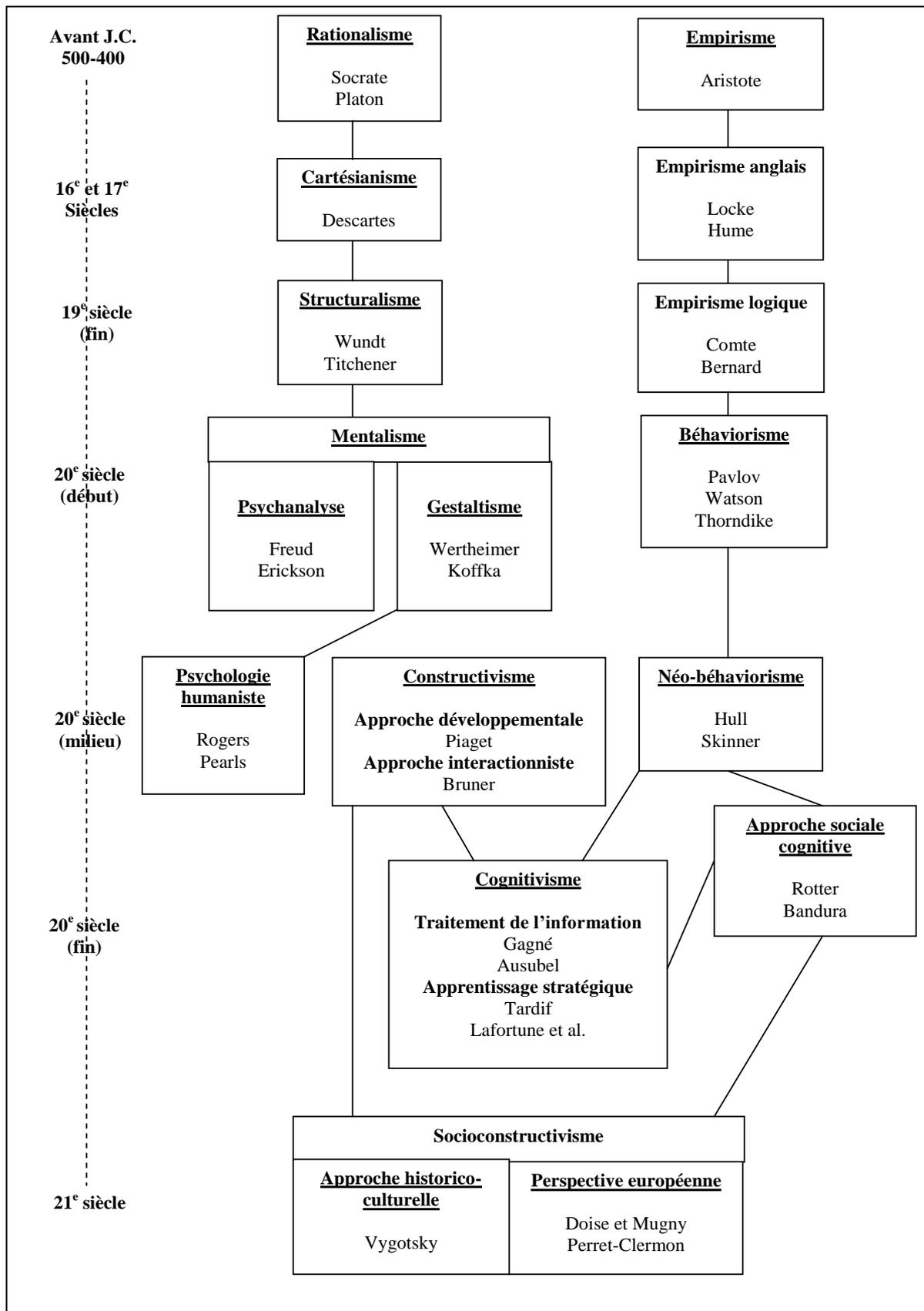


Figure 3. 1: Historique et évolution des courants théoriques de l'apprentissage (adapté de Minier, 2003)

On s'intéressera particulièrement au modèle socioconstructiviste puisque les travaux pratiques de FAO se font par binômes ainsi qu'à l'apprentissage en groupe et son effet sur l'efficacité de l'apprentissage des étudiants. Ces situations d'apprentissage permettent aux étudiants de co-construire leurs connaissances en confrontant leurs travaux et réalisations à celles de leurs pairs, par les projets programmés, les discussions entre étudiants et par les exercices et travaux similaires à ceux pratiqués en industrie. De ce fait l'apprentissage est conçu à travers des situations interactionnelles où tout savoir est construit par l'étudiant avec ses pairs et l'enseignant.

Nous cherchons à comprendre les procédures d'apprentissage complexes dont nous allons formuler les hypothèses car les procédures de ce genre d'apprentissage intègrent des facteurs non seulement de nature cognitive et technique, mais aussi des facteurs identitaires du fait des profils variés (types de formations académiques initiales, le système éducatif) des étudiants et relationnelle (le milieu social, initiation au travail collaboratif dès le jeune âge....). Ceci nous amène à considérer les interactions sociocognitives observées dans une vraie situation de formation où les étudiants travaillent dans des petites groupes, souvent des binômes, pour se familiariser avec le logiciel de Fabrication Assistée par Ordinateur. L'objectif est d'analyser les interactions dynamiques qui sont déployées entre pairs et les examiner lorsqu'elles peuvent être considérées comme efficaces.

Selon Doise (1982), parmi les 4 niveaux de l'analyse en psychologie sociale on distingue:

- Le niveau intra-individuel caractérisé par « ce qui est intrinsèque » aux sujets, et comment ceux-ci traitent l'information provenant de l'environnement, et comment y réagissent.
- Le niveau inter-individuel et situationnel caractérisé par les travaux portant sur des processus d'interaction tels qu'ils se déroulent dans une situation donnée.
- Le niveau positionnel qui a trait au comportement et positions sociales des individus aussi bien à l'intérieur, qu'en dehors, de la situation vécue.
- Le quatrième niveau d'analyse conceptualisé par Doise est le niveau idéologique caractérisé par la croyance propre de l'individu illustrée par un processus idéologique visant à justifier l'ordre social et ses inégalités.

Cependant Doise a mis en évidence la prévalence d'analyses de type intra-individuel et inter-individuel dans le paysage psychosocial international, les analyses de niveau positionnel et idéologique y étant en minorité. Si les analyses faisant appel à l'interaction de différents

niveaux sont fréquentes, les explications de niveaux 3 et 4 ne sont, dans la plupart des cas, sollicitées que « dans la mesure où elles rendent compréhensibles des modulations ou des modifications de processus étudiés aux niveaux 1 et 2 ». (Doise, 1982).

On ne retiendra que les deux premiers, le niveau intra-individuel, ce qui est intrinsèque à l'étudiant; et le niveau interindividuel ou situationnel, relation et interaction entre les membres du binôme puisque, dans un environnement social stable l'effet des conflits sociaux et idéologique reste mineure.

3.4.1.1 Le niveau intra-individuel

Le niveau intra-individuel énonce la manière dont l'individu organise ses perceptions, son évaluation de l'environnement social et son comportement à l'égard de cet environnement. À ce niveau, l'objectif serait de pouvoir expliquer l'attitude de l'étudiant et son comportement comme le sentiment d'efficacité et de satisfaction personnelle. Un conflit qui émerge de l'infirmité d'une hypothèse ou des constatations aboutit à un état d'insatisfaction intellectuelle (Inhelder, Sinclair & Bovet, 1974 ; Lefebvre & Pinard, 1972) . Un autre conflit, que l'on peut qualifier d'opérateur où l'étudiant est confronté à des situations dans lesquelles les schèmes opératoires (tutoriel fourni par le professeur) dont il dispose sont insuffisants pour résoudre le problème. Il y a induction d'une perturbation interne à l'étudiant qui provoque un déséquilibre donc un besoin de compensation. Ce type de conflit permet la mise en place de nouveaux schèmes ou la complexification des anciens.

3.4.1.2 Le niveau interindividuel

Au niveau interindividuel, il s'agit d'analyser les relations entre étudiants, en groupe ou en binômes, le travail collaboratif et le conflit socio-cognitif. Une des questions qui a attiré notre attention est : Comment les étudiants interagissent ?

Les travaux sur l'apprentissage collaboratif ont le plus souvent trait à l'accomplissement de différents types de tâches dans les groupes. Avec des étudiants qui poursuivent une formation professionnelle sur machine ou sur des logiciels, quels sont les principaux processus cognitifs représentant ces interactions ?

Parmi les différents modèles d'interaction identifiés par Granott (1993) on peut distinguer deux composantes : le degré de collaboration manifesté par les pairs et le niveau relatif de l'expertise des pairs.

Dans les situations de formation étudiées lors du travail d'un petit groupe pour l'accomplissement d'une tâche, on peut observer une coopération sous différents aspects que nous nous proposons d'analyser dans la suite.

L'aspect de collaboration :

L'aspect de la collaboration se manifeste dans une situation dans laquelle les partenaires apportent chacun des éléments complémentaires. On pourra s'interroger sur la manière dont les étudiants observés entrent dans un dialogue lorsqu'ils sont engagés dans une action conjointe.

Les discussions et les explications sont en effet souvent considérées comme favorables aux tâches de résolution de problèmes et ce pour deux raisons principales. D'une part, parce qu'ils permettent de mettre en place des objectifs communs à l'égard de la définition du problème et des différentes d'interprétations, ce qui devrait faciliter un apprentissage efficace selon Healy, Stefano & Hoyles (1995). D'autre part, les discussions aident à une analyse du problème à résoudre (Pontecorvo 1990; Howe et al., 1995, Mercer 1996; Pléty, 1996), un partage, et une évaluation d'idées en vue de prendre une décision commune.

Les interactions asymétriques

Les interactions asymétriques se manifestent quand les interactions sont vécues comme non équilibrées, avec certains étudiants prenant la position d'expert et d'autres celle de novice. Lorsque, au contraire, ce sont des relations horizontales, d'après Vygotski et d'après un certain nombre de chercheurs russes (Leontiev, 1976; Galperin, 1992), la connaissance est transmise par l'expert vers le novice, ce dernier devra se l'approprier par étapes successives, et déploie des comportements échafaudés par son ou (sa) partenaire expert (e).

Nous avons, considéré, dans notre travail la possibilité que ces phénomènes se manifestent dans le cadre de l'apprentissage pour la maîtrise d'un logiciel informatique complexe tel les logiciels de la FAO. Nous nous sommes aussi intéressés à savoir si ceci s'établit seulement entre l'enseignant et les étudiants ou encore entre les étudiants entre eux du fait de la disparité de provenance au niveau des milieux scolaires et sociaux en particulier.

Le conflit sociocognitif :

Le conflit sociocognitif naît d'interactions entre deux ou plusieurs étudiants pour qui plusieurs actions et/ou discours se contredisent simultanément à l'égard d'un même objet. Si les inter-actants ont la volonté de dépasser les oppositions sur un mode sociocognitif, c'est-à-dire en acceptant de coopérer activement à la recherche d'une solution commune, ils vont alors coordonner leurs points de vue et parvenir à l'élaboration conjointe d'une réponse supérieure. C'est ce paradigme de recherche qui a permis de remédier, depuis les années 70, à une psychologie qui a bien souvent ignoré l'alter dans les constructions intellectuelles.

La distribution explicite ou implicite des différents rôles et tâches à chaque participant du groupe

L'examen de la recherche expérimentale sur le travail de groupe présentée par Moscovici et Paicheler (1973), cités par Leplat (1993), comme recherche dans une perspective ergonomique ont clairement montré que pour être effectuées de manière efficace, les différentes tâches nécessitent différentes organisations sociales du groupe. Il convient de s'intéresser, pour cet aspect, à la situation particulière des tâches complexes et à la façon dont les rôles sont répartis qui peut se faire d'une manière explicite ou implicite.

Interactions influencées par les caractéristiques de la tâche et par le logiciel.

Les caractéristiques de l'outil informatique utilisé sont également susceptibles d'influencer les modes de collaboration adoptés. L'utilisation distribuée ou non du clavier et de la souris est un point sensible majeur, comme l'a observé Blayes et al (1992).

L'outil qui est au centre de l'activité occupe une place importante dans la distribution des rôles. En effet, l'ordinateur n'ayant qu'une seule souris et la tenir est, en fait, une prise de pouvoir qui ne peut être contrariée que par un important contrôle verbal de la part du pair.

Au cours de la réalisation de la tâche, une évolution, voire une redistribution des rôles, peut se manifester notamment au fur et à mesure que des difficultés particulières sont affrontées. Les caractéristiques du logiciel influencent aussi la nature des interactions qui se développent entre pairs. En effet, la présentation rapide de multiples fenêtres et le nombre important de choix à opérer incitent les étudiants à faire des essais de choix en cliquant parfois presque aléatoirement sur des icônes ou des zones graphique, en comptant sur le feed-

back de l’outil pour reconsidérer leur choix. L’ensemble des observations au cours des séances de travail montre que les étudiants collaborent, mais la forme de cette collaboration est assez particulière : elle consiste essentiellement en la mise en commun de ressources, et parfois sans que les partenaires ne demandent l’un à l’autre des justifications ou des explications. Dans la nécessité ressentie, d’exécuter la tâche en temps limité cette manière de procéder correspond probablement à la stratégie la plus rapide. Le travail se fait ainsi dans un dialogue constant, mais on ne voit pas les étudiants planifier les étapes, ni établir des objectifs partiels; l’action semble se dérouler en un séquençement constant. Il y a donc collaboration, interaction pratiquement continue, distribution de rôles fortement dépendante de la nature du logiciel et de l’outil partagé (un écran, un clavier, une seule souris) et probablement aussi de la perception que les étudiants ont de la complexité de la tâche et du temps à leurs disposition pour sa réalisation, ce qui les conduit à viser l’efficacité.

3.2 Notion et description de tâche et d’action :

Toute analyse de situation d’enseignement dans une vision psychologique appelle à s’interroger sur les rapports entre une tâche et une activité : qu’est ce qui est demandé au sujet (l’étudiant), qu’est ce qu’il cherche à faire, que fait-il effectivement et comment, quelle articulation y a-t-il entre la notion de tâche et celle de l’activité et finalement quels sont les rapports entre ces question ?

Selon les types de situation la démarche pour répondre à ces interrogations pourra différer. Un exemple serait une situation professionnelle, cadre de notre travail, ou on précisera les consignes, les instructions et le mode d’emploi pour aboutir à la tâche préalablement définie, c’est le cas pour un tutoriel de FAO.

3.2.1 La tâche : définition générale

Une tâche désigne en générale un “travail déterminé qu'on doit exécuter” (Le Petit Robert).

D’après les acceptions courantes, la tâche indiquera ce qui est à faire, l’activité, ce qui se fait réellement. La notion de tâche véhicule avec elle l’idée de prescription, sinon d’obligation. La notion d’activité renvoie, elle, à ce qui est mis en jeu par le sujet pour exécuter ces prescriptions. Leontiev (1976) définit la tâche comme un but donné dans des conditions déterminées.

En Interaction Homme-Machine, Normand (1992) voit dans la tâche “un objectif à atteindre par l'utilisateur à l'aide d'un système interactif”. Cette définition se précise ensuite; une tâche est un but que l'utilisateur vise à atteindre assorti d'une procédure (ou plan) qui décrit les moyens pour atteindre ce but Normand (1992).

Selon Brousseau (2004) une tâche n'est pas une simple action faite, peut être, inconsidérément ou improvisée sous le coup de la nécessité, c'est ce que quelqu'un doit faire (devait faire, a dû faire, devrait faire, aurait dû faire etc.), c'est un projet.

Le fait pour la tâche d'être un projet a plusieurs conséquences. La première c'est qu'un projet peut ne pas se réaliser. La tâche n'est donc pas ce que le sujet accomplit effectivement, du moins pas nécessairement. Il faudrait un terme différent pour désigner ce que fait le sujet, avant de le confronter à la tâche demandée. En déclarant, à priori, que ce qu'a fait le sujet est une réalisation de « la » tâche, le psychologue donne à cette tâche le rôle de « modèle » privilégié pour l'action du sujet. Dans des mains inexpertes, ce statut a pour conséquence, entre autres, de donner un étrange statut au fonctionnement des connaissances du sujet qui sont alors soit des connaissances conformes aux projets d'enseignement, soit des erreurs. La seconde c'est que la tâche est une action concevable à l'avance, formulable et communicable à travers le tutoriel établi par l'enseignant. En dehors de ces conditions il faudrait parler de souhait, d'intention, de but, etc.

Ainsi une, tâche est d'abord une succession définie d'actions connues « c'est ce qu'on peut appeler activité », réalisables ou du moins envisagées comme telles, soit par celui qui doit les accomplir : « l'étudiant », soit par celui qui demande de les accomplir : « le professeur ». Cet ouvrage est donc accompagné d'une intention de l'accomplir personnellement ou de le faire accomplir par une autre personne. Sa réalisation est précédée d'une anticipation. C'est aussi éventuellement le résultat de ces actions. Pour être considérée comme réalisable, une tâche doit pouvoir être envisagée par celui qui doit l'exécuter « l'étudiant » - plus encore que par celui qui la demande - « le professeur ».

Les éventuelles modalités d'exécution en font partie. Il est même envisageable que lors de l'anticipation de la tâche, des incertitudes peuvent subsister sur les modalités à utiliser, le moment venu, mais ces modalités ne peuvent être que subalternes, sans grandes difficultés.

3.2.2 Les composantes des situations d'actions

Il est important de distinguer les éléments des situations dans lesquelles apparaissent des tâches. Dans le cas général nous trouvons un actant, celui qui doit concevoir et accomplir une

suite d'actions. L'actant, en l'occurrence, l'étudiant agit sur et en fonction d'un milieu qui impose certaines conditions. Celles-ci peuvent déterminer ou restreindre le choix des modalités de « la » tâche, indépendamment des conditions prévues dans l'algorithme qui la définit. Elles peuvent conduire l'étudiant soit à réaliser une des modalités possibles, soit à renoncer à l'exécution de la tâche. Donc, à chacune de ses décisions, l'étudiant obéit à au moins deux ordres d'obligations : celles prévues dans l'algorithme de la tâche et celles permises par le milieu. En général, il prend en compte d'autres contraintes d'intérêt, d'économie, de commodité, de désirs personnels etc..., de sorte que la tâche est insuffisante pour décrire les rapports du sujet avec le milieu. La façon dont les décisions possibles, le milieu et le sujet interagissent et évoluent, dépendamment ou indépendamment les uns des autres est l'objet de la modélisation dans une situation.

Il est clair que la situation est nettement distincte de la tâche. Elle l'inclut comme une de ses composantes mais pas l'inverse. L'implication du sujet dans une tâche par exemple fait partie de la situation, mais pas de la tâche (Brousseau, 2004).

Toujours selon Brousseau (2004), l'analyse de la situation met en évidence des variables et des variantes qui peuvent agir sur les possibilités de réalisation de la tâche et/ou sur certains paramètres comme la vitesse d'exécution, l'économie des efforts, le répertoire de connaissances nécessaires, le nombre d'erreurs, le degré de réussite, le gain etc... qui ne sont pas des caractéristiques intrinsèques de la tâche puisqu'elles dépendent aussi de conditions extérieures. Le but qui définit une tâche doit être atteint dans certaines conditions exprimables selon l'un ou l'autre de trois points de vue :

la « macro tâche » exprimée par un but final;

la tâche « ou la macro tâche » peut être décomposable en plusieurs tâches intermédiaires ;

chaque tâche intermédiaire est décomposable en buts intermédiaires (un but est un état du système) ;

chaque but intermédiaire est décomposable en états à parcourir ;

chaque état est décomposable en activité (procédure) ;

chaque activité est décomposable en actions ;

chaque action est décomposable en opérations.

L'étudiant devra décomposer le travail qui lui est demandé en :

- des états à parcourir avant l'atteinte de l'état final que constitue le but ultime,
- des opérations admissibles pour parcourir ces états,
- des procédures à mettre en œuvre pour ce faire, c'est-à-dire de la combinaison de ces opérations.

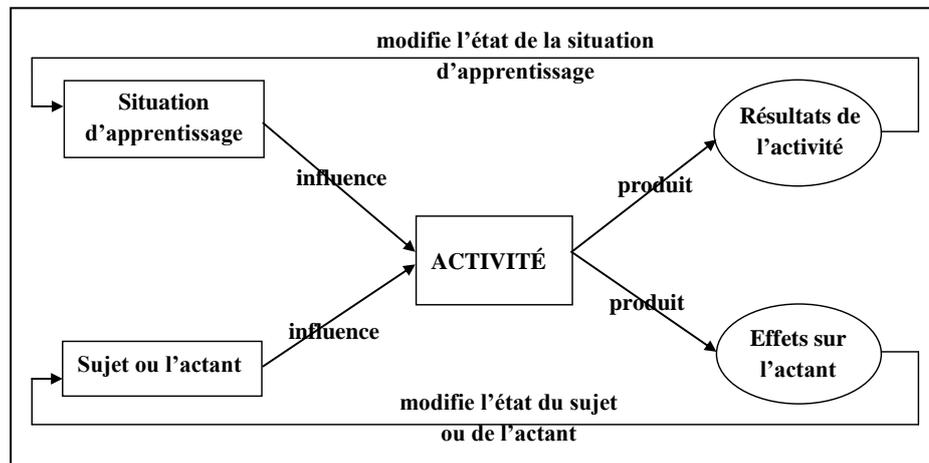


Figure 3. 2: schéma de l'influence de l'activité sur l'état du sujet et de la situation

À chaque itération, c'est-à-dire l'accomplissement d'une activité, ceci aura pour conséquence une modification de l'état du sujet et une modification de l'état de la situation (figure 3.2).

2) Contraintes liées aux états :

La première contrainte de ce type porte sur la définition de l'état initial. Ainsi, par exemple, dans le cadre de l'application à la FAO que nous traitons, pour aborder l'atelier d'usinage il faut déjà avoir constitué l'assemblage de la pièce finie et la pièce brute dans l'atelier assembly-design.

Ces contraintes supposent que les états soient décrits à un certain niveau de précision. Cette description nécessite généralement un double découpage de la situation en unités:

- un découpage temporel, dans le cas de processus continus il vise à discrétiser le processus pour définir des états instantanés ;
- une décomposition des états en valeurs de variables qui les caractérisent.

On aboutit alors à une caractérisation de la tâche dans un espace d'états, plus ou moins large, en fonction des contraintes apparaissant dans la définition de la tâche, et plus ou moins bien définie selon le niveau de précision adopté.

b) contraintes sur les opérations :

La définition d'une tâche fait souvent apparaître des contraintes sur les opérations admissibles dans la transformation des états. Ces contraintes portent également sur les conditions de validité de ces opérations. Elles se présentent alors sous la forme de règles élémentaires dont l'ensemble constitue ce que Hoc (1980) appelle le *dispositif* associé à la tâche. Un tel dispositif peut figurer de diverses manières.

e) contraintes sur la procédure

Pour obtenir le but, le dispositif doit être mis en œuvre d'une certaine façon, selon une certaine procédure. Cette dernière indique comment seront utilisées les propriétés du dispositif. Elle peut être explicitée (par exemple, sous forme d'organigramme) ou on peut fournir le principe de son élaboration en donnant, par exemple, certaines propriétés qu'elle doit respecter.

3.2.3 La tâche prescrite.

C'est la tâche conçue par celui qui en commande l'exécution (le professeur). Elle préexiste à l'activité qu'elle vise à orienter et à déterminer de façon plus ou moins complète. Toutes ces descriptions ne sont pas équivalentes pour un sujet déterminé : certaines lui permettront d'exécuter la tâche directement, d'autres l'aideront - plus ou moins - dans cette exécution, d'autres enfin seront inefficaces, voire perturbantes. Dans toute description de tâche, il y aura donc une part d'implicite. Toutes les conditions ne sont pas données et on pourra distinguer les conditions explicites qui sont fournies par la description et les conditions implicites qui sont passées sous silence mais doivent être prises en considération.

Les conditions implicites sont souvent des conditions matérialisées auxquelles celui qui exécutera la tâche va nécessairement se heurter et qu'il devra obligatoirement prendre en compte. Par exemple dans une recette de cuisine, on ne dira pas qu'il faut disposer d'un récipient pour faire le mélange indiqué, parce que cette condition va en quelque sorte de soi. Cette matérialisation des conditions a souvent été recommandée en sécurité du travail où il est bon de substituer aux consignes des installations qui empêchent le comportement infractionniste de se produire. Par exemple la machine à laver ne peut fonctionner sans que le couvercle d'accès au tambour soit fermé. Quelquefois, la tâche ne donne lieu à aucune prescription explicite, ou bien la prescription est donnée à un niveau très général et le sujet doit définir lui-même les unités adéquates. Les tâches d'un cadre industriel, d'un chercheur,

sont souvent de ce type. La tâche va être confiée à quelqu'un et la description qui en sera donnée fait toujours implicitement ou explicitement référence à un sujet de caractéristiques déterminées (exemple à un ingénieur technologue). Ce qui est explicité dans la description de la tâche correspond à ce qui est censé n'être pas connu de ce sujet ce qui est implicite correspond à ce qu'il est jugé inutile de dire parce que déjà connu du sujet. En ce sens, on pourrait affirmer que toute description de tâche implique un certain modèle du sujet. La description d'une tâche est complète pour un sujet donné quand elle lui permet l'exécution immédiate de la tâche sans nouvelles acquisitions préalables (les acquisitions antérieures pouvant être très différentes).

3.3 L'activité

Dans un premier temps, on peut définir l'activité d'une manière générale comme ce qui est mis en œuvre pour exécuter la tâche. Cette activité est finalisée par le but que se fixe le sujet à partir de celui défini par la tâche. Lorsqu'elle s'applique à des objets matériels, elle est en partie observable. Lorsqu'elle porte sur des représentations mentales, on peut n'en percevoir que le résultat, au jeu d'échecs par exemple, on ne perçoit que le mouvement de la pièce -qui n'est évidemment pas la seule activité du joueur. Dans tous les cas, la partie observable de l'activité (le comportement) n'en constitue qu'un aspect qui est important puisque sans lui, le second aspect qui est constitué par les mécanismes inobservables de production de ce comportement serait inaccessible (Leplat et Hoc, 1983).

Il est bon de distinguer deux types extrêmes d'activité :

- des activités d'exécution, qui sont la simple mise en jeu de mécanismes déjà constitués chez le sujet,
- des activités d'élaboration qui interviennent dans le montage de ces mécanismes : ce sont celles qui caractérisent l'apprentissage, la résolution de problème.

3.3.1 Activité et tâche prescrite.

L'activité ne répond pas toujours aux exigences de la tâche prescrite : les analyses du travail en offrent de multiples exemples. Cuny (1969) a mis en évidence que de nombreux codes n'étaient pas utilisés conformément à leurs normes d'emploi. Hoc (1978) a montré que des stagiaires qui s'initiaient à la programmation informatique pouvaient écrire des plans de programmes incompatibles avec le fonctionnement de l'ordinateur ou avec les problèmes posés.

On peut essayer de définir ces écarts selon l'aspect de la tâche sur lequel ils portent. Le but du sujet peut n'être pas exactement celui qui est prescrit. Ainsi, par exemple, l'analyse du travail de contrôleurs de la navigation aérienne a montré que le traitement d'un avion entrant dans la zone de contrôle ne visait pas seulement à éviter que sa trajectoire rencontre celle d'un autre avion de la zone, mais à anticiper les conflits ultérieurs et à créer les conditions visant à les éviter ou à en faciliter la solution (Leplat et Bisseret, 1965). Le sujet peut aussi introduire des contraintes sur la procédure utilisable, qui ne sont pas prévues dans la tâche prescrite. Dans le domaine de la programmation informatique, Weinberg et Schulsman (1974) ont montré combien les programmes pouvaient être différents en fonction de l'ordre de priorité défini par le programmeur sur certaines caractéristiques du programme : utilisation minimum de la mémoire de l'ordinateur, durée d'exécution minimum, durée d'écriture du programme minimum, par exemple. Les transformations que le sujet introduit dans son activité, les modes opératoires lorsque les exigences de la tâche deviennent trop élevées fourniraient aussi de nombreux exemples d'écarts à la tâche prescrite (Leplat et Browaeyns, 1965 , Sperandio, 1977).

Ainsi apparaît la nécessité de distinguer, à côté de la tâche prescrite, qui définit ce qu'on attend du sujet, une autre tâche correspondant à ce qu'il fait effectivement. On trouve cette distinction dans de nombreuses études du travail où elle apparaît sous des appellations diverses : tâche formelle/tâche informelle (Ombredane et Favergé, 1955), tâche prescrite/tâche effective (Herbst, 1974), tâche pour l'expert/tâche réelle, pour l'observateur (Vermersch, 1980).

La *tâche effective*, comme on l'appellera ici, peut se décrire, comme toute tâche, par un but et des conditions d'exécution, ce sont le but et les conditions effectivement prises en considération. Si la tâche effective a bien été décrite, ce qui est exécuté tend à correspondre exactement à ce qui est prescrit. La tâche effective étant dérivée de l'activité, il existe une étroite correspondance entre leurs descriptions. En essayant de préciser le statut de la tâche effective, les remarques suivantes éclaireront aussi celui de l'activité et les rapports de ces deux notions. Il en sera de même pour la tâche effective. Le but et les conditions effectivement pris en considération pourront être décrits avec plus ou moins de détails. On pourra ne décrire que le but effectif (exemple, l'opérateur réalise une pièce usinée correspondant à tel besoin, avec telle tolérance), on n'y ajoutera que quelques conditions d'exécution essentielles (par exemple, les contraintes de temps effectivement prises en compte, ou quelques règles de fonctionnement). La tâche effective, au niveau où on a choisi

de l'expliciter, n'est pas une décalque de la partie observable de l'activité. Dans la mesure par exemple où elle définit une procédure, elle est dérivée de certains comportements et prend aussi en compte ce qu'on sait des règles de fonctionnement du système cognitif. Sa validité devra être contrôlée avec d'autres observables. La tâche effective telle qu'elle est décrite, constitue donc finalement un modèle de l'activité.

On pourra aussi la situation de la tâche effective à l'intersection de l'objectif et du subjectif. La tâche effective peut être décrite, au même titre que la tâche prescrite, dans la mesure où l'on peut expliciter les buts et les conditions d'exécution effectivement prises en compte par le sujet. Cette description est du domaine de l'objectif. Mais la tâche effective représente aussi le but et les conditions effectivement intériorisés par le sujet, elle est alors du domaine du subjectif. On retrouve à propos de la notion de base d'orientation, concept très voisin de celui de tâche effective, la même ambivalence. Cette base d'orientation peut être définie comme "système ramifié de représentations de l'action et de son produit" (Galpérine, 1966), on parle de "fournir à l'élève la connaissance de la base d'orientation" ce qui revient à l'assimiler à une description objective.

3.3.2 Activité et tâche effective.

La tâche effective constitue un modèle intériorisé ou extériorisé de l'activité. L'activité peut se définir alors par tout ce que l'étudiant met en œuvre pour répondre à cette tâche : elle est le modèle se réalisant, s'actualisant. Il y aurait entre activité et tâche effective une différence analogue à celle qui existe entre fonctionnement et modèle de fonctionnement, parcours d'un itinéraire et description du tracé de cet itinéraire. La validation du modèle que constitue la tâche effective se fera par la confrontation des prédictions de ce modèle avec des traces observables de l'activité. Les prédictions du modèle s'obtiendront en faisant fonctionner la procédure. Avec un modèle assez précis on pourra déterminer non seulement le "produit" final, mais aussi des étapes intermédiaires grâce auxquelles les procédures pourront souvent être différenciées. La validation est toujours relative au niveau du modèle : la validation du modèle à un niveau ne nous dit pas qu'il sera valable à un autre et qu'avec d'autres observables, par exemple, il resterait satisfaisant. On retrouverait plus généralement ici les remarques faites sur l'usage des modèles (Rouanet, 1967).

Le choix du niveau d'élaboration du modèle doit être fait en référence aux objectifs de l'analyse. Du point de vue psychologique, la précision de la description de la tâche effective doit tenir compte du niveau d'organisation de l'activité. Les unités pertinentes à la description de la tâche pour le débutant ne seront pas identiques à celles qui décriront la tâche de l'expérimenté. La détermination de ces unités est liée aussi aux traits de l'activité dont on veut rendre compte. Mais dans tous les cas, l'activité débordera toujours les modèles qui en sont donnés et le caractère relatif, en particulier aux observables choisis, de la tâche effective doit être souligné.

3.3.3. Élaboration de l'activité et tâche effective.

Parallèlement à l'évolution de l'activité, on peut décrire une évolution de la tâche effective. L'apprentissage peut être ainsi décrit comme une évolution des buts et conditions considérées par le sujet. Pour appréhender certains buts et certaines conditions, le sujet doit élaborer les instruments nécessaires acquérir les connaissances utiles ou encore développer ses capacités sensorimotrices comme, par exemple, dans le cas des activités sportives. Cette acquisition et ce développement peuvent être décrits et compris comme la réalisation d'une succession de tâches différant par leurs buts et leurs conditions intermédiaires par rapport au but et aux conditions de la tâche finale.

Le contrôleur d'un processus, par exemple, a notamment pour tâche de remettre le processus contrôlé dans un état normal. Le but, c'est-à-dire l'état normal, peut n'être pas toujours bien défini. C'est au cours de la récupération que celui-ci peut se définir précisément. L'accroissement d'expérience et de compétence du sujet pourra restreindre le domaine de ces tâches mal définies. Dans les termes de la théorie de Galpérine, ceci revient à dire que le sujet disposera de plus en plus de bases d'orientation complètes qui lui permettront de diriger son activité.

3.4 L'analyse des situations

Une situation peut être considérée comme un système tâche-étudiant. Analyser une situation sera analyser ce système, son fonctionnement et par là l'interaction entre les deux termes. L'activité est l'expression de cette interaction. Dans cette perspective, on est amené à concevoir que d'une part l'activité n'est jamais spontanée mais toujours déclenchée et guidée par la tâche, d'autre part que la tâche est susceptible d'être modifiée par l'étudiant au cours de son activité.

L'analyse des situations visera à préciser ces relations entre tâche et activité et leur évolution. Les analyses du travail en donnent de multiples exemples. Avant de proposer un de ces exemples, pour illustrer les perspectives développées dans les deux parties précédentes, nous rappellerons brièvement le principe de la démarche qui sous-tend toute analyse de la situation.

- un **but** est un état du système que l'utilisateur souhaite obtenir. En vérité, si l'état du système n'est pas observable, l'état effectif du système risque d'être différent de l'état que l'utilisateur perçoit et interprète selon les étapes schématiques de Norman (1986)
- une **procédure** est le composant exécutif d'une tâche : un ensemble d'opérations organisé par des relations temporelles et structurelles ;
- une **opération** est à son tour une action ou une tâche, montrant ainsi le caractère récursif de la définition du concept de tâche.

Selon Caelen et Fréchet (1992), le comportement humain présente "une composante mentale qui se manifeste par des attitudes cognitives et une composante physique qui se manifeste par des actions";

- une **action** désigne une opération terminale ; elle intervient dans l'accomplissement d'un but terminal ;
- un but terminal et les actions qui permettent de l'atteindre définissent une **tâche élémentaire**;
- une **procédure élémentaire** est la procédure associée à une tâche élémentaire ;
- les **relations temporelles** entre les opérations d'une procédure traduisent la séquentialité, l'interruptibilité, voire le parallélisme ;
- les **relations structurelles** servent à exprimer la composition logique des opérations ou la possibilité de choix ;
- une tâche qui n'est pas élémentaire est dite composée ou encore : une **tâche composée** est une tâche dont la description inclut des tâches subalternes.

3.5 Identification des tâches prescrites, des activités et des actions dans le cas de la FAO citée précédemment :

La macro tâche « produire le programme » de la pièce à moins de 10% d'erreurs. Le but de la macro tâche ici étant la production du programme de la pièce ceci ne peut être réalisé par un seul but, donc l'étudiant doit se fixer plusieurs but intermédiaires que nous explicitons sur le tableau 2.

En général chaque activité voire chaque tâche aura un but spécifique :

Tâche 1 : préparation du travail pour l'atelier usinage de CATIA

La tâche 1 est décomposé en activités comme suit:

activité 1 : Dessiner le modèle de la pièce finie

activité 2 : Dessiner le modèle de la pièce brut

activité 3 : Assemblage des deux modèle

Tâche 2 Travail à effectuer dans l'atelier usinage de CATIA

activité 4 : Ouvrir l'atelier usinage

activité 5 : Paramétrage de la phase d'usinage

activité 6 : Introduction de la première opération

activité 7 : Paramétrage de la première opération

Tâche 3 : Simulation de l'ensemble des opérations

Tâche 4 : Correction des éventuelles erreurs.

| Numéro de la tâche prescrite | La tâche prescrite | But de la tâche | Activité (procédure matériel pour la réalisation de la tâche) | État du système | Actions (but → |
|------------------------------|--|---|---|---|---|
| 1 | Créer le modèle géométrique de la pièce finie (dans l'atelier « part design ») | Création du modèle géométrique de la pièce finie | Procédure de dessin de la pièce dans Catia part design | Atelier part-design ouvert et affiché | But :créer un modèle géométrique Intention : création du modèle géométrique. L'action :ouvrir atelier part-design L'état obtenu : atelier part-design ouvert Evaluation : l'atelier ouvert correspond bien à l'atelier voulu. L'écart : Différence entre ce qui est attendu par l'utilisateur et ce qui est exécuté par le logiciel. |
| 2 | Créer le modèle géométrique de la pièce brute (dans l'atelier « part design ») | Création du modèle géométrique de la pièce brute | Procédure de dessin de la pièce dans Catia part design | Atelier part-design ouvert et affiché | |
| 3 | Créer le produit par l'assemblage des deux modèles (dans l'atelier « Assembly design ») | Création du produit par l'assemblage des deux modèles | Procédure de création du produit par l'assemblage des deux modèles dans « Assembly design » | Atelier assembly-design ouvert et affiché | |

| | | | | | |
|---|---|--|--|--|--|
| 4 | <p>Paramétrer la phase d'usinage et introduire les opérations d'usinage prévues</p> <p>(dans l'atelier usinage)</p> | <p>Choix du type de machine pour réaliser la pièce</p> | <p>1. Cliquer sur icône : « phase d'usinage »</p> <p>2 .Dans le masque qui apparait : Cliquer sur icône : « machine »</p> <p>3. Dans le masque qui apparait : Cliquer sur icône : « Tour horizontal CN »</p> | <p>Affichage du masque : paramétrage de la machine</p> <p>Affichage du masque : choix de la machine</p> <p>Affichage des caractéristiques du tour horizontal</p> | <p>But : choix d'une machine</p> <p>Intention : Selon le type de surface générer je vais choisir un tour horizontal.</p> <p>L'action : cliquer sur l'icône « tour horizontal »</p> <p>L'état obtenu : machine prise en compte</p> <p>Evaluation : la machine est effectivement prise en compte.</p> <p>L'écart : nul</p> |
| | <p>Paramétrage correcte de cette machine</p> | <p>Dans le menu déroulant de post processeur :</p> <p>Spécifier le post processeur adéquat.</p> <p>Spécifier la table des mots du post processeur.</p> <p>Spécifier le type de</p> | <p>Prise en compte des données</p> <p>Prise en compte des données</p> <p>Prise en compte des données</p> | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | sortie de données CN. (code ISO) | | |
| | | Choix de l'emplacement et de l'orientation du trièdre du programme | <p>Dans le menu trièdre d'usinage :</p> <p>Cliquer sur origine.</p> <p>Indiquer l'origine sur le modele de la pièce finie.</p> <p>Indiquer l'orientation des axes du trièdre d'usinage</p> | <p>L'origine est placée sur la pièce</p> <p>Les axes sont réorientés</p> | |

| | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|
| | | <p>Désignation du modèle de la pièce finie et celui de la pièce brute</p> | <p>Dans le masque phase d'usinage :</p> <p>Cliquer sur l'icône du modèle de la pièce finie</p> <p>Cliquer sur le corps principale du modèle de la pièce finie dans l'arbre du product list</p> <p>Cliquer sur l'icône du modèle de la pièce brute</p> <p>Cliquer sur le corps principale du modèle de la pièce brute dans l'arbre du product list</p> | <p>Prise en compte du modèle par le logiciel</p> <p>Prise en compte du modèle par le logiciel</p> | |
|--|--|---|---|---|--|

| | | | | | |
|---|--------------------------------|--|--|--|--|
| | | <p>Introduction de la première opération d'usinage de la pièce</p> <p>Paramétrage de la première opération d'usinage</p> | | | |
| 5 | Lancer la simulation d'usinage | <p>Lancement de la simulation pour détecter les éventuelles erreurs des parcours d'outil</p> <p>Correction des erreurs</p> | | | |
| 6 | Générer le programme en code G | Génération du code G | | | |

Tableau 3. 2: exemple de décomposition d'une tâche en activités et en actions

3.6 Conclusion

En se basant sur un modèle socioconstructiviste, l'enseignant pourra élaborer un tutoriel qui définira le sujet du travail à effectuer par les étudiants puisque la démarche d'apprentissage doit être faite étape par étape. Ainsi il pourra enrichir la démarche d'apprentissage par des études de cas pour mettre en relief certains points principaux pour rendre l'apprentissage de l'étudiant efficace.

Le modèle socio constructiviste fournit des éléments pour comprendre et gérer les interactions dynamiques entre pairs en termes d'indicateurs socio psychologique pendant les séances d'apprentissage en binômes sur le logiciel FAO et donc pour aider les enseignants à agir en cas de blocage intra individuel ou interindividuel en cas de conflit sociocognitif entre étudiant expert et novice.

Lors des séances d'apprentissage le professeur commence par présenter le sujet de travail; les étapes à suivre pour l'accomplissement du travail, ceci demande de la part des étudiants d'appréhender la ou (les) tâches prescrites par le professeur et le but à atteindre.

Pour le professeur, il s'agit de faire une transcription de la tâche en activités puis en actions pour pouvoir juger le travail de l'étudiant et donc pouvoir porter un jugement sur le logiciel.

Nous avons tenté de clarifier le sens des termes clefs pour notre sujet de recherche avec les notions de tâche, d'activité, d'action, d'opération et d'analyse de tâche que l'étudiant est censé effectuer avant de chercher une méthode d'évaluation du logiciel utilisé dans l'apprentissage de la FAO.

Il existe un certain nombre de logiciels de FAO conçus pour des contextes éducatifs, mais l'équipe pédagogique universitaire adopte les mêmes outils utilisés dans l'industrie. Le problème dans l'apprentissage de logiciels de FAO est que les logiciels étaient et sont conçus pour les spécialistes industriels. Le spécialiste est capable d'approcher le modèle mental du concepteur de l'outil. Ces mêmes outils doivent être manipulés et mis en œuvre par les étudiants pendant leur formation.

Dans une première étape, nous cherchons à savoir quels sont les principaux facteurs qui influent sur l'apprentissage dans le but de développer notre méthodologie d'évaluation des logiciels de FAO pour le domaine de l'enseignement supérieur.

Dans le chapitre précédent il était question de décomposer le but principale du travail de l'étudiant sur le logiciel en buts secondaire pour en déduire les différentes tâches prescrites ainsi que les activités relatives à chacune des tâches et les actions associées pour en déduire l'objet de l'interaction entre l'étudiant et le logiciel. La plus petite unité élémentaire de cette interaction étant **l'action** qui constitue l'unité d'analyse du travail de l'étudiant sur le logiciel. Il semble que l'action n'est pas suffisante pour caractériser l'interaction de l'étudiant avec le logiciel et donc permettre une évaluation adéquate du logiciel pour l'apprentissage de la FAO. Ceci sera mise en évidence et discuté dans le chapitre suivant.

Chapitre 4 La théorie de l'action & la théorie de l'activité

4.1 Introduction à la théorie de l'action

Les théories de l'action se situent à la croisée des sciences de l'ingénieur et des sciences de l'homme. Elles ont aujourd'hui l'ambition d'aider à prendre des décisions pour « agir sur le monde et l'environnement ». Ils distinguent deux points de vue :

- Celui de l'analyste. Il prend comme définition de la théorie de l'action la définition suivante (traduite de la proposition de Theodor W. Adorno pour le Dictionnaire de Philosophie):

Théorie de l'action: branche de la philosophie concernée par l'analyse de ce que les humains font intentionnellement, ceci inclut typiquement un effort pour distinguer les actions de simples événements et certaines propositions concernant la signification éthique des actions. Elle étudie donc comment sont exécutées par une personne ou un groupe humain des actions intentionnelles et raisonnées. Plusieurs théories se réfèrent comme théorie de l'action: Théorie générale de l'action de Parsons (1951), Théorie de l'action de Norman (1986), Théorie de l'action située introduite par Suchman (1987). Dans le cadre des groupes humains et de l'interaction collaborative, les théories de l'action s'avèrent insuffisantes pour analyser des problèmes souvent complexes. Elles peuvent être complétées par une théorie de l'activité, par exemple celle proposée par Leontiev (1976) à la suite de la philosophie marxiste et des travaux de Vitgovskty

- Celui du sujet agissant. Ce sujet peut être un humain ou un groupe qui agit de manière raisonnée et intentionnelle. Nous considérons alors des théories qui guident ou auxquelles se réfèrent un sujet pour agir, en particulier pour analyser ou concevoir un système complexe ou pour résoudre un problème complexe. Ce sont donc des outils qui l'assistent dans ses actions. Etant donné ce constat on parle d'action mais plutôt d'action située.

4.2 Action située

Le principe central de la théorie de l'action située est que ce qui structure une activité n'est pas une chose qui la précède mais qui peut seulement se développer comme effet direct immédiat de la situation (traduit de Nardi, 1996). Il n'est pas envisageable d'abstraire une structure de l'action valable à travers plusieurs situations. Les travaux concernant l'action

située sont une réaction aux recherches en sciences cognitives et en intelligence artificielle. Suchman (1987) soutient une hypothèse inspirée des travaux en ethnométhodologie, une branche de la sociologie. La terme “situated action” sous-tend l’idée que toute action dépend étroitement des circonstances matérielles et sociales dans lesquelles elle a lieu. Plutôt que de tenter d’abstraire une structure de l’action pour la représenter sous la forme d’un plan rationnel. L’approche préconisée par Suchman et les théoriciens de l’action située consiste à comprendre comment l’homme parvient à produire des plans en cours d’action. Pour Visetti (1989) *“Les actions sont toujours socialement et physiquement situées, et la situation est essentielle à l’interprétation de l’action. Par situation on doit entendre un complexe de ressources et de contraintes qui peuvent toutes le cas échéant jouer un rôle significatif sans pour autant que ce rôle soit nécessairement réductible à un jeu de représentations mentales préalablement objectivées dans les appareils cognitifs.”*

La cognition située reprend les principes de l’action située. Il en découle des conséquences pour l’apprentissage : les apprenants ne sont pas des récepteurs passifs de connaissance, ils arrivent en situation d’apprentissage avec des pré-requis qu’il faut prendre en compte.

La théorie de l’action de Norman (1986) souligne l’instance de processus mentaux à un stade élémentaire de la résolution de problèmes, dans le cas d’interaction avec un système, qui peut être un ordinateur, un logiciel ou autre ceci est représenté dans la figure 4.1.

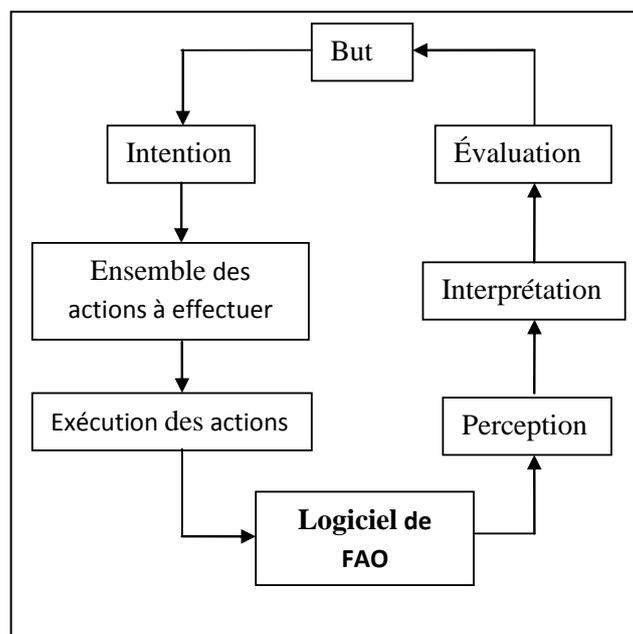


Figure 4. 1: Étapes de Théorie de l'action (Don Norman)

Le point de départ de la théorie de Norman de l'action suppose que les individus développent des modèles conceptuels et ces modèles sont les données pertinentes pour le comportement de l'étudiant. Il existe deux types de modèle de l'outil de simulation: le modèle de concepteur et le modèle de l'utilisateur.

Le modèle de concepteur est le modèle conceptuel de l'outil. Puisque le but d'un outil est d'aider l'utilisateur à réaliser un ensemble de tâches, le modèle de concepteur doit résulter d'une étude approfondie des besoins, des possibilités et des limites de l'utilisateur typique.

Le modèle de l'utilisateur est la représentation mentale que l'utilisateur développe sur l'outil qui résulte de l'interprétation qu'il fait de la représentation (figure 4.2).

Le concepteur a la tâche de définir une représentation qui mène l'utilisateur à construire, lors de l'interaction avec l'outil, un modèle compatible avec le modèle de concepteur. Si la représentation est claire, cohérente et intelligible, alors nous pouvons nous attendre à ce que l'utilisateur développe le modèle approprié de ces définitions et les remarques qui s'appliquent à n'importe quel outil, en particulier ceux qui utilisent un ordinateur.

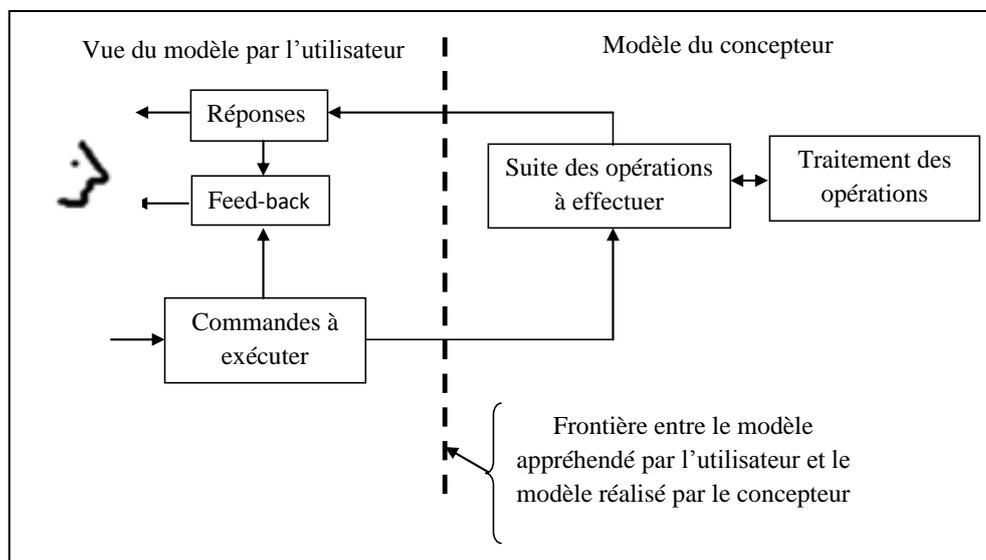


Figure 4. 2: Modèle mental de l'utilisateur

4.3 La théorie de l'action appliquée dans le cas de l'interaction étudiant avec le logiciel FAO

Pendant le travail des étudiants utilisant un logiciel de FAO, plusieurs étapes doivent être effectuées. Un des exemples qui pourraient être envisagés est l'étape qui correspond au choix

d'une machine ou d'un dispositif sur lequel la pièce à fabriquer sera réalisée. Dans ce cas, les actions devraient être déclinées comme suit :

Spécification d'un objectif : choisir une machine à commande numérique pour l'usinage de la pièce ;

Former une intention : analyser la pièce à usiner pour faire le bon choix de la machine ;

Spécification d'une séquence d'actions : designer visuellement les icônes à activer ;

Exécution de l'action : cliquer sur l'icône de la machine choisie et valider ;

Chemin d'exécution après le traitement par le logiciel :

Perception de l'état du système : visualiser le choix fait sur l'écran de l'interface ;

Interprétation de l'état du système : analyser les messages d'erreur ;

Evaluation : analyser la compatibilité de la machine choisie selon le type de pièce à usiner.

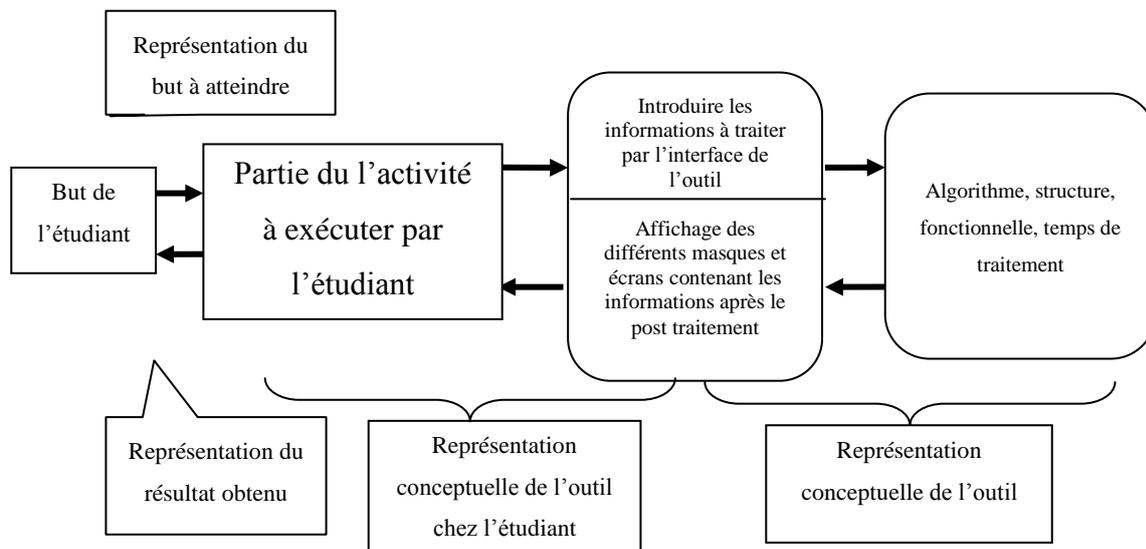


Figure 4.3: Schématisation de l'interaction de l'étudiant avec le logiciel selon la théorie de l'action

Selon la théorie de l'action de Norman, les étapes de l'interaction des étudiants avec le logiciel de FAO peuvent être décrites par les éléments représentés dans la figure 4.3.

Nous notons que la théorie de l'action est limitée intrinsèquement à l'interaction entre l'étudiant et le logiciel de FAO indépendamment des facteurs de l'environnement, tels que les pairs de la classe, les enseignants, la communauté des utilisateurs, les concepteurs, les industriels....

Comme mentionné au début de ce chapitre; dans le cadre des groupes humains et de l'interaction collaborative, les théories de l'action s'avèrent insuffisantes pour analyser des problèmes souvent complexes. Elles peuvent être complétées par une théorie de l'activité, telle que celle proposée par Leontiev (1976) à la suite de la philosophie marxiste et des travaux de Vitgovskiy.

4.4 Introduction à La théorie de l'activité

Cette section développe l'argumentation selon la quelle des approches plus approfondies sont nécessaires dans le domaine de l'enseignement-apprentissage de la FAO et soutient que la théorie de l'activité peut répondre au besoin énoncé auparavant qui est la détermination en premier lieu des facteurs influençant l'enseignement-apprentissage de la FAO lié à un environnement plus global. Une description de la théorie de l'activité sera relatée et une justification de son utilisation est donnée.

4.4.1 Modélisation de l'interaction de l'Etudiant avec un logiciel FAO dans un contexte d'éducation:

Compte tenu de l'analyse des principales tâches exécutées par les étudiants liées à la mise en œuvre sur ordinateurs notre réflexion tient compte du cadre théorique de l'interaction Homme Machine (IHM). L'interaction entre l'homme et la machine est un domaine en pleine évolution avec des hypothèses importantes et novatrices (Suchman, 1987; Dix, Roselli et Erkki Sutinen, 2006). Preece et al (1994) a souligné que l'étude de l'interaction homme-machine concerne, entre autre, la conception des systèmes qui sont en mesure d'assister les personnes qui les utilisent pour mener leurs activités de manière productive et en toute sécurité. À propos des actions situées et planifiées, Suchman (1987) développe une approche anthropologique pour étudier l'interaction homme-ordinateur et, en général, une réflexion sur l'interaction homme-artefact. L'auteur insiste sur la notion d'interaction situationnelle, dans laquelle plusieurs aspects entrent en jeu tels que les connaissances, les conditions sociales, les pratiques partagées, développée à travers une ethnométhodologie.

En appliquant l'IHM dans le cas de l'apprentissage de la FAO, nous voulions explorer la façon dont les étudiants interagissent avec le logiciel pour déterminer les principaux facteurs qui influent sur ce type d'apprentissage. Néanmoins, l'apprentissage de FAO n'est pas influencé seulement par cet élément unique (le logiciel), mais il y a d'autres éléments qui

influent sur ce processus d'apprentissage tels les étudiants et les enseignants et tous les éléments de la situation.

Nous considérons que la théorie de l'activité (TA) peut décrire les différents éléments qui influencent l'apprentissage de la FAO dans son contexte le plus global. Dans le courant du socioconstructivisme, cette théorie est développée au alentours de 1920 par "l'école historico-culturelle russe" sur les idées fondatrices de Vygotsky. Selon la TA (Leontiev, 1976) les dimensions sociales et culturelles sont essentielles pour le développement psychologique humains. À l'origine, cette théorie a donné lieu à trois générations successives, enrichissant plus en plus le premier système théorique.

Dans la première génération, Vygotsky souligne le rôle des artefacts en tant que médiateurs de l'activité humaine, la relation entre le sujet et la réalité est toujours entremise culturellement et est représentée (figure 4.4) par ce qu'on appelle le «triangle de la médiation», ayant les trois sommets : le sujet, l'objet et l'artefact.

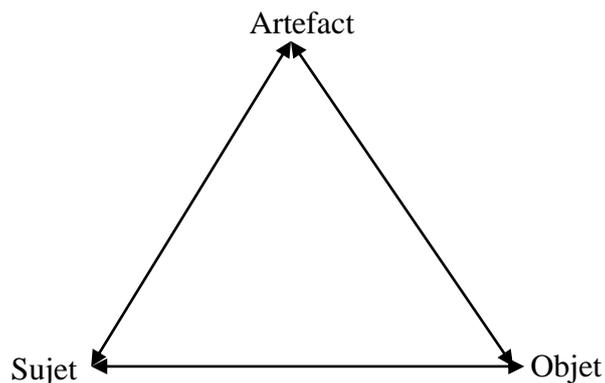


Figure 4. 4: Modèle de base de la théorie de l'activité

La deuxième génération de la TA, schématisée par la figure 4.5, représente le "système d'activité» développé par Leontiev, qui élargit la relation sujet-objet à la base du premier triangle, en introduisant la dimension de l'environnement à travers la division du travail, la communauté et les règles qui régissent cette relation. Leont'ev fait la distinction entre les opérations, les actions et activités. Les opérations sont la plus petite unité qui compose une action (par exemple, cliquer avec la souris sur une icône affichée), les opérations n'ont de sens que par rapport à l'action et l'activité dans laquelle elles sont insérées. Les actions, sont donc l'unité d'analyse pour une étude basée sur la théorie de l'activité et ne prennent de sens que lorsqu'elles sont considérées en termes d'une activité globale. L'activité globale dans notre cas étant la génération du code NC de la pièce étudiée.

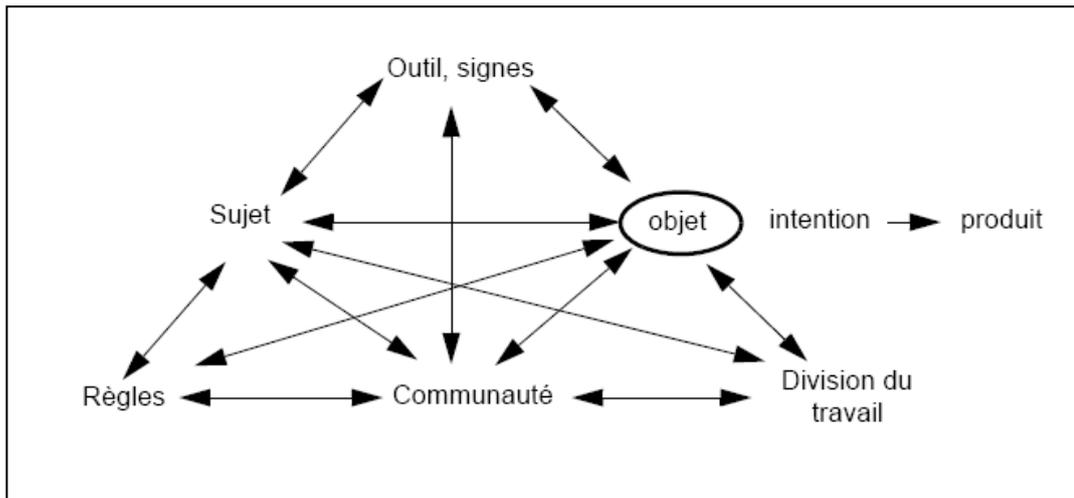


Figure 4. 5: Modèle étendu de la théorie de l'activité

La troisième et dernière génération est appelée expansion de l'apprentissage (Engeström, 2001; 2007). Ce modèle est enrichi avec de nouvelles dimensions pour répondre aux défis d'une société de plus en plus complexe. Les systèmes d'activité sont mis en groupes (réseau), conduisant à la création d'un tiers objet plus complexe relatif à chacun des autres systèmes, formant ainsi les réseaux de systèmes d'activité.

Selon Bonnard (2010), la TA est une approche descriptive puissante et une clarification plutôt qu'une théorie fortement prédictive. Un principe central de cette théorie est que les artefacts de médiation façonnent l'activité humaine et le développement mental (Nardi, 1996). Les artefacts sont classés par Wartofsky (1979) dans une hiérarchie à trois niveaux. Les objets primaires directement utilisés (comme un manuel ou un logiciel); deuxième type d'objets les représentations (comme une équation mathématique) et au troisième niveau plus large (comme un modèle théorique). La TA est une méthode puissante pour analyser les systèmes sociaux complexes, compte tenu du système d'activité qu'elle prend en compte.

Les artefacts et outils sont considérés comme une médiation cognitive essentielle. Cette médiation par des outils a un effet récursif, bidirectionnel: l'activité médiée modifie simultanément à la fois l'environnement extérieur et le sujet lui-même (Jonassen, 2000). Les principales relations de la figure 4.5 sont définies ci-après :

Les pôles des triangles du modèle d'Engeström constituent les nœuds clés qui représentent les entités en interaction. Ils sont à analyser de manière isolée et intrinsèque mais également en interaction les uns avec les autres. Les différents sous-triangles de ces modèles

couvrent les nœuds clés d'un système de formation dont l'analyse peut être exploitée pour en tirer des conséquences relatives aux pôles représentés.

La TA décrit les interactions des étudiants avec l'ordinateur et le logiciel dans un cadre plus large que la théorie de l'action, ce qui nous permet d'analyser l'ensemble du système d'apprentissage. De cette façon, elle offre également une alternative prospective pour déterminer les critères d'évaluation de logiciel de FAO. Dans cette section, nous allons appliquer la TA à l'interaction étudiant-logiciel de FAO.

4.4.2 Le modèle d'Engeström

Sous l'influence de l'école scandinave d'abord, puis des chercheurs nord-américains, la Théorie de l'Activité (encore appelée Cultural Historical Activity Theory ou CHAT si la dimension culturelle est plus importante) s'est concentrée sur la médiation par l'outil ou instrument, notamment dans les domaines de la technologie de la communication et de l'information.

Engeström (1987) a défini un modèle structurel simple du concept d'activité intitulé « structure de base d'une activité » qui constitue la référence la plus classique à la TA. Ce modèle exprime la relation entre le sujet et l'objet de l'activité. Cette relation est réciproque, le sujet réalise l'objet de l'activité, mais en même temps, les propriétés de l'objet transforment le sujet en augmentant son expérience. Elle est de plus entremise par le concept d'outil représentant tout ce qui est utilisé dans le processus de réalisation de l'objet, aussi appelé transformation de l'objet, incluant aussi bien les outils matériels que les outils pour penser. L'outil à la fois permet et limite : il permet au sujet de réaliser l'objet de son activité, mais limite en masquant une partie du potentiel de transformation. De plus, Bertelsen (1998) ajoute que l'outil informe sur l'état de l'objet en cours de transformation.

Définitions des pôles de l'activité dans le cadre de la FAO

Le Sujet est un individu ou sous-groupe que l'observateur a choisi d'analyser, dans notre cas c'est l'étudiant ou groupe d'étudiants.

L'Objet est la transformation de l'environnement qui est visée par l'activité (tâche à réaliser, objectif à atteindre), dans notre cas l'élaboration du programme en code G de la pièce (être performant dans l'utilisation du logiciel FAO)

Les outils ou artefact sont les outils matériels ou symboliques qui médiatisent l'activité (logiciel, ordinateur, tutorial), dans ce contexte, l'activité d'apprentissage, se décompose en actions et opérations. Un exemple d'artefact serait le logiciels FAO ou des pratiques pédagogiques nouvelles.

La communauté est l'ensemble des sujets (ou des sous-groupes) qui partagent le même objet et se distinguent par là-même d'autres communautés, comme par exemple les industriels, autres universités et instituts, concepteurs, développeurs, utilisateurs des logiciels FAO.

La division du travail reprend à la fois la répartition horizontale des actions entre les sujets et les membres de la communauté, et la hiérarchie verticale des pouvoirs et des statuts, comme par exemple les responsables pédagogiques de l'université, les départements, les enseignants, les techniciens.

Les actions sont constituées des différents éléments que les différents acteurs mobiliseront et qui permettront de mettre en œuvre la FAO dans l'éducation. On pourra citer par exemple le cas où une des actions d'un professeur sera de faire moins de transmissif et donc laisser une place soit à de l'apprentissage par la recherche en adoptant une approche plus constructiviste, soit à une approche d'apprentissage par la résolution des problèmes (PBL: Problem Based Learning). Une des actions d'un étudiant sera d'utiliser ces « nouvelles » formes de pédagogies pour apprendre au lieu de « simplement écouter et refaire », une des actions du corps administratif sera de prévoir et maintenir en état une salle équipée en plus de pouvoir une salle de classe traditionnelle et du travail fait par l'institution et les partenaires associés pour aller dans ce sens. A titre d'exemple, si une unité de recherche est financée par une entreprise privée, cette entreprise aura une part de décision concernant l'introduction de la FAO dans l'unité de recherche et selon sa position (favorable ou défavorable à cette introduction)

Les règles font référence aux normes, conventions, habitudes..., implicites et explicites qui maintiennent et régulent les actions et les interactions à l'intérieur du système. Par exemple, les textes législatifs sur l'ordonnement des études (normes pédagogiques, respect d'un programme, de taux horaire pour les cours, les travaux dirigés et les études de cas).

Lors de l'analyse de l'institution dans laquelle nous avons l'intention d'introduire ce type d'enseignement, il s'agira de définir chaque pôle et ensuite d'analyser les interactions entre ces différents pôles.

Exemple d'utilisation des sous-triangles pour analyser une situation existante ou future :

A- Le triangle sujet-outil-communauté

L'usage d'un logiciel correspond à une certaine pratique, ensemble de règles, pour utiliser un artefact, objet matériel ou symbolique. Ces pratiques sont socialement partagées par un groupe d'utilisateurs: entreprise, bureaux d'études, université, étudiants; et qui se construit avec le temps. De ce fait, L'usage doit se penser en lien avec le groupe de référence qui utilise les outils (figure 4.6). Il s'agit ici de porter un regard microsocial sur le processus des utilisations existantes.

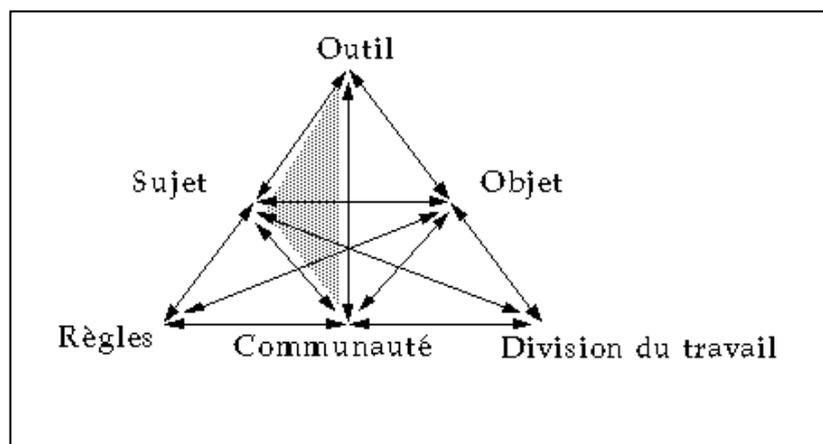


Figure 4.6: Triangle sujet-outil-communauté

Nous exposons, dans ce qui suit, un exemple d'usages à analyser lorsque l'on a pour objectif d'introduire un logiciel de FAO dans une institution de formation :

Analyser l'utilisation d'outils faites par le sujet et les acteurs (autres établissements utilisant ce type de logiciel, les entreprises du domaine, ...) avec lesquels il est en interaction comme :

- l'ordinateur (types disponibles);
- les logiciels;
- outils de communication ;
- support pédagogique ;
- etc.

B- Le triangle outil-communauté-objet

Le triangle outil-communauté-objet permet *d'analyser* les objectifs (objets) à atteindre par rapport aux outils disponibles et à l'usage que la communauté en fait.

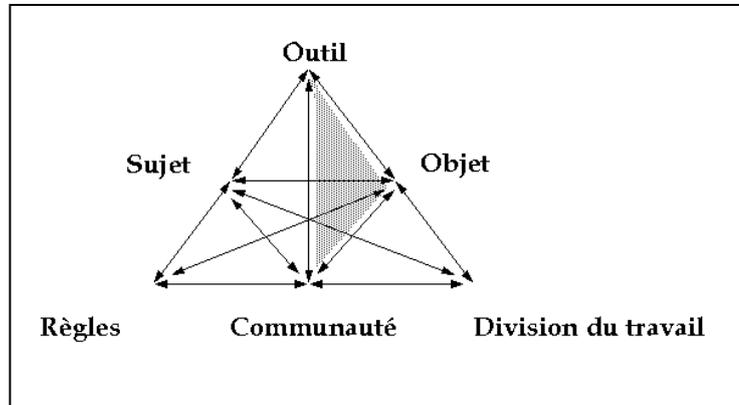


Figure 4. 7:Le triangle outil-communauté-objet

Exemple d'usages: reprendre les mêmes éléments que dans l'analyse du triangle sujet-outil-communauté mais en mettant l'objet au centre, donc l'objectif à atteindre, et non le sujet (figure 4.7).

C- Le triangle objet-communautés- division de travail :

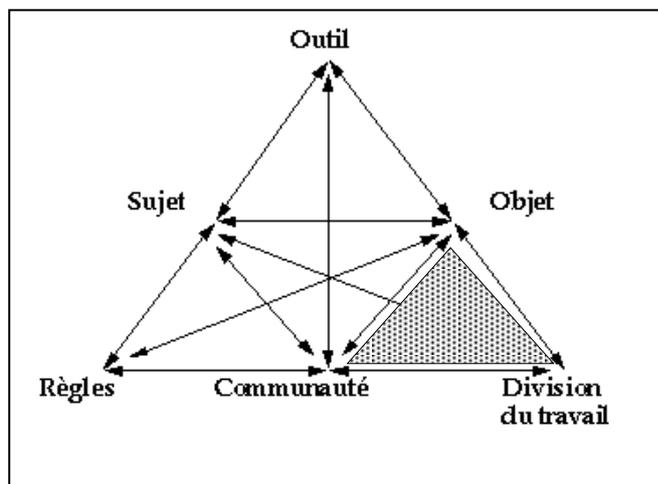


Figure 4 8: Le triangle objet-communautés- division de travail

A travers ce triangle (figure 4.8) on peut étudier l'impact du choix d'un outil d'apprentissage par la division du travail représentée par l'université qui est dans notre cas constituée par les professeurs, les conseillers pédagogique, les ingénieurs technologues sur l'objet.

D- Le triangle sujet–communauté-règles

Ce triangle, présenté figure 4.9, montre la relation entre ces trois composantes.

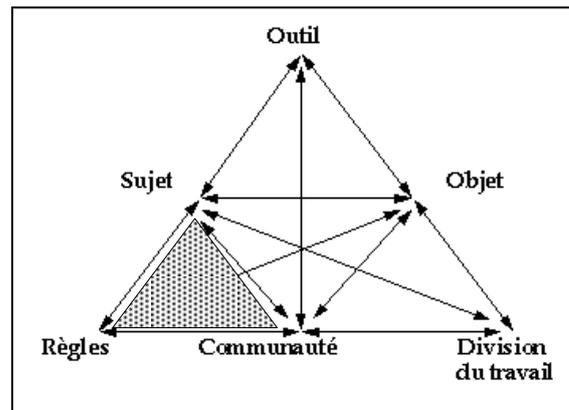


Figure 4.9: Triangle sujet –communauté-règles

L'utilisation de ces modèles « sous-triangles » permettront une analyse localisée des relations pour notamment faire un diagnostic d'une situation d'enseignement-apprentissage actuelle ou une étude d'une situation future.

L'une des raisons de la nécessité de faire une expansion des sciences cognitives par la théorie de l'activité est que l'un des aspects clé des études des IHC doit être de comprendre les composantes qui sont les objets technologiques - objets physiques de médiation de l'activité - qui interviennent dans l'activité et que les sciences cognitives ignorent , en insistant beaucoup plus sur les représentations mentales de ces objets.

4.5 Application de la théorie de l'activité à l'interaction étudiant/logiciel dans le cadre de l'apprentissage de la FAO

Une première approche de l'application de ce modèle dans notre étude est présentée en figure 4.10. Elle résume les différents nœuds ou pôles, les relations de médiation et les principaux facteurs impliqués dans l'interaction de l'étudiant avec le logiciel FAO.

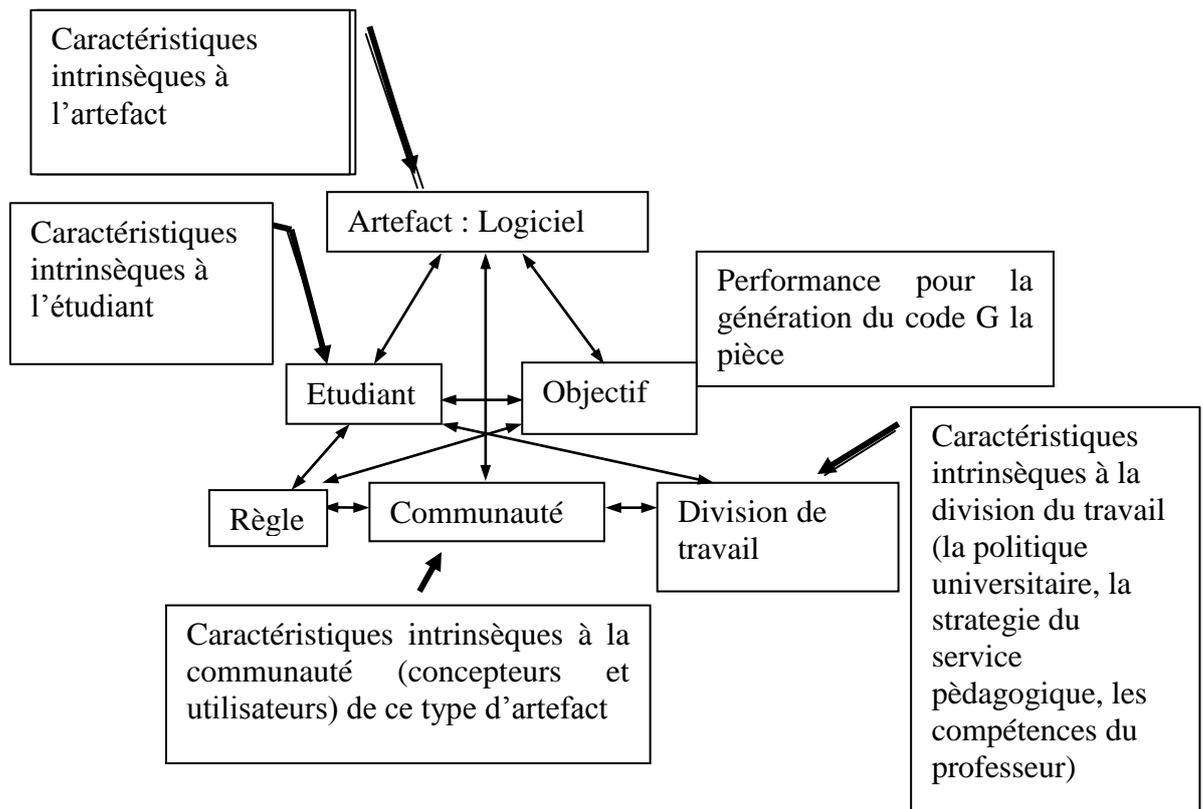


Figure 4.10: Modèle de la théorie de l'activité dans le contexte d'apprentissage de la FAO dans le domaine de l'éducation

Cette analyse théorique de l'TA est appliquée, dans ce qui suit, dans le cadre de l'établissement d'une méthode d'évaluation de l'efficacité du logiciel dans l'apprentissage de la FAO des étudiants.

Balbo(1994) a introduit deux niveaux de décomposition dans le cas d'une évaluation de l'interaction d'un système Homme Machine, qui sont les facteurs et les critères. Un facteur définit une propriété du logiciel susceptible d'être requise par un client. Le critère est quant à lui un attribut qui affecte la satisfaction d'un ou plusieurs facteurs.

Prenant en considération la perspective théorique présentée ci-dessus, nous considérons que l'efficacité de l'étudiant travaillant sur le logiciel de FAO dépend d'un ensemble de facteurs (méta critères) qui sont présentés sur la figure 4.11. À travers ces critères, nous cherchons à qualifier l'efficacité des logiciels utilisés dans un processus d'apprentissage dans l'enseignement supérieur.

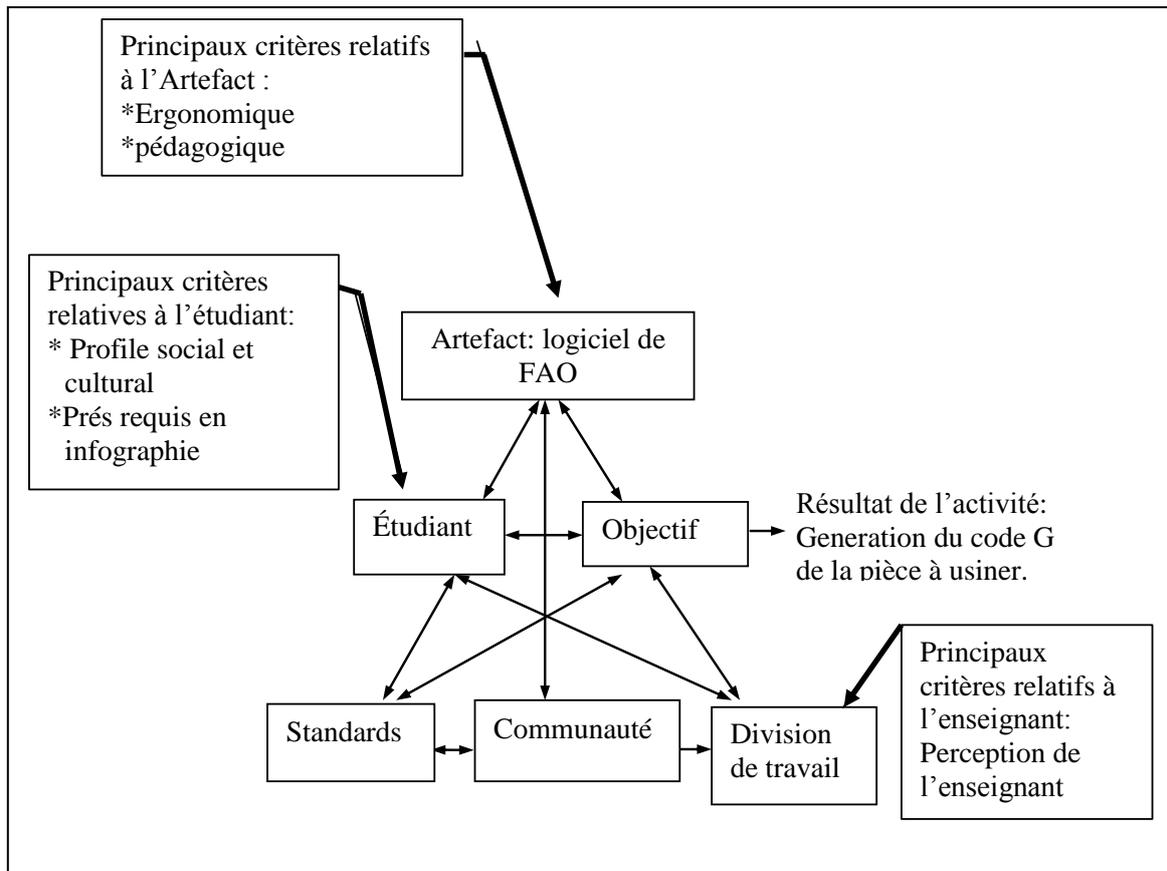


Figure 4.11: Les différents critères associés au modèle de la théorie de l'activité dans le contexte d'apprentissage de la FAO dans le domaine de l'éducation

Selon le modèle de la TA ainsi que la norme des interfaces des logiciels définie dans la norme ISO 9241, et en suivant les réflexions menées avec un groupe de travail nominal pour une première étude pilote, les critères spécifiques à l'efficacité du logiciel de FAO ont été divisés en cinq groupes que nous décrivons dans ce qui suit.

Il est important de noter que la facilité d'utilisation du logiciel n'est pas conditionnée seulement par les aspects spécifiques au logiciel, mais aussi par les objectifs qu'on essaye d'atteindre et de l'environnement dans lequel le logiciel est utilisé. La facilité d'utilisation est donc une propriété de l'interaction entre un logiciel, un étudiant et l'activité, ou l'ensemble d'activités et de tâches que l'étudiant essaye d'accomplir

4.6 Catégorisation des critères d'évaluation déduites du modèle de la TA

Le premier facteur porte sur le profil social et culturel de l'étudiant. L'expérience (expérience antérieure de l'étudiant sur des logiciels de FAO notamment), les connaissances liées au domaine (l'expérience précédente des logiciels de FAO similaire), les capacités

cognitives, les capacités physiques, l'âge et le sexe sont autant de considérations à prendre en compte pour définir le profil de l'étudiant (figure 4.12)

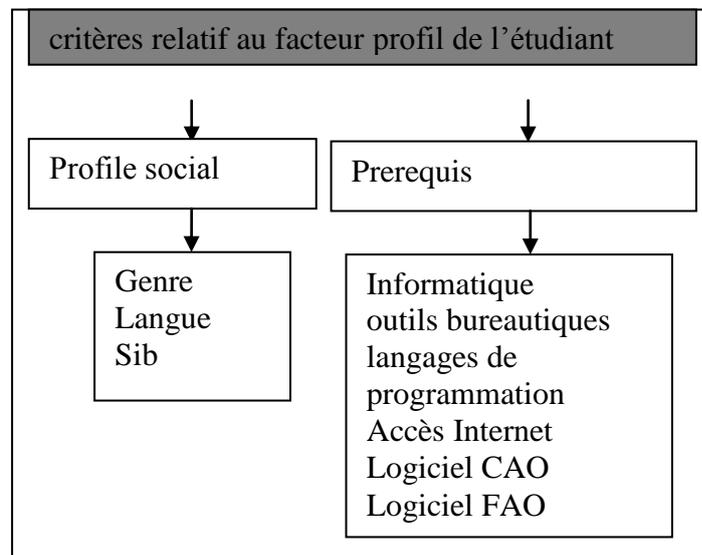


Figure 4.12: Critères relatifs au facteur profil de l'étudiant

Le deuxième critère porte sur l'ergonomie, essentiellement celui de l'interface du logiciel. L'évaluation ergonomique du logiciel vise à évaluer le degré de convivialité et la facilité d'accès aux différents éléments du logiciel de FAO. Les critères d'évaluation (figure 4.13) peuvent être établis selon une théorie ou par des considérations pragmatiques (par exemple, par une communauté politique ou industrielle chargée de définir les normes générales acceptables). Il est possible de juger de la convivialité de l'interface, mais seulement dans un contexte précis.

L'identification des éléments du contexte d'utilisation sont définis par la norme (ISO 9241 Partie 11) comme suit :

- *l'utilisateur* : types d'utilisateurs tenant compte de leurs compétences, de leurs connaissances et conditions préalables telles que l'expérience sur d'autres logiciels, l'expérience matérielle, l'expérience de travail, expérience organisationnelle, éducation, formation ainsi que les attributs personnels tels que l'âge, le sexe, les capacités physiques, les capacités intellectuelles, la motivation.
- *Le logiciel* : la description de ses fonctionnalités et les principaux domaines d'application du logiciel, les moyens pédagogiques disponibles tels que les manuels et guides.

- *Le travail à effectuer ou les tâches à réaliser* : les détails des tâches pour lesquelles le logiciel sera utilisé comme par exemple, le but de la tâche, la fréquence de la tâche, la répartition des tâches, durée de la tâche, la flexibilité de la tâche, la finalité de la tâche, les dépendances de tâches.
- *Environnement organisationnel* : les aspects de la structure de l'organisation dont on peut citer les heures de travail, travail de groupe, les pratiques de travail, la structure de gestion, structure de communication ainsi que les attitudes et la culture; par exemple les pratiques et politiques sur l'utilisation de l'ordinateur et les relations industrielles.
- *Environnement technique* : le matériel de base nécessaire à l'utilisation adéquate du logiciel: ordinateur, système d'exploitation, périphériques...
- *L'environnement physique* : représenté par les conditions du milieu de travail (par exemple, l'humidité, la température, bruit), par la conception du lieu de travail (par exemple, l'espace et le mobilier, la posture de l'utilisateur, l'emplacement) et par la sécurité au travail (par exemple, les risques sanitaires, les vêtements et l'équipement de protection).

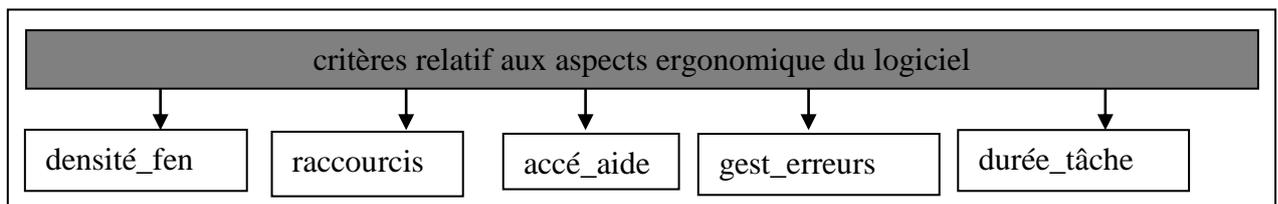


Figure 4.13: Critères relatifs aux aspects ergonomique du logiciel

Le troisième critère a trait à l'aspect pédagogique dont les critères sont présentés en figure 4.14. L'aspect d'une Interface Pédagogique se réfère à la qualité de la présentation et la structuration du contenu

L'évaluation de l'aspect pédagogique est une tâche des plus complexes parce qu'elle implique diverses propriétés : techniques, méthodologiques, pédagogiques, et ergonomiques. Elle s'effectue dans la phase de la conception comme dans la phase de l'utilisation et demande l'intervention de plusieurs domaines (ergonomique, pédagogique...).

Aux aspects de l'interface s'ajoute les aspects éducationnels. Dans ce sens, les objectifs de l'ergonomie du logiciel sont étendus pour envelopper aussi les éducateurs qui fournissent eux aussi des moyens pour l'évaluation d'interfaces d'applications utilisés dans

l'enseignement, afin qu'ils soient appropriés au utilisateur-apprenant et pour faciliter le processus d'enseignement apprentissage.

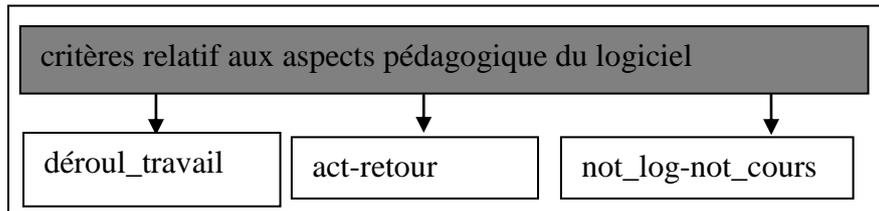


Figure 4.14: Critères relatif aux aspects pédagogique du logiciel

Ici, nous considérons le scénario établi par l'enseignant pour mener cet apprentissage, et qui va dépendre des séquences proposées par le logiciel. La facilité d'apprentissage est liée à trois qualités du logiciel de FAO :

L'adéquation au contenu enseigné qui se réfère aux savoirs et aux connaissances supportés par le logiciel de FAO (séquençement des savoirs relatés dans les leçons de FAO), la précision, la commodité et la pertinence des opérations d'usinage proposées par le logiciel pour la pièce étudiée.

La pertinence pédagogique est liée à la manière dont le logiciel de FAO présente les différentes séquences de traitement lors de l'utilisation du logiciel par l'étudiant

L'adéquation technique qui se réfère à la facilité et la simplicité de la saisie des données dans le logiciel FAO, et à la gestion des erreurs du système.

Le quatrième critère fait référence au temps passé pour accomplir l'activité prévue et qui a trait à l'efficience. L'efficience dépend de la quantité d'effort requis pour atteindre un but. L'effort peut être mesuré, par exemple, en termes de temps nécessaire pour achever une tâche ou en nombre d'erreurs faites par l'utilisateur avant l'accomplissement total d'une tâche. Le dernier critère a trait à la satisfaction de l'étudiant. La satisfaction désigne le niveau de confort des étudiants utilisant un logiciel de FAO et l'acceptation par l'étudiant d'utiliser le logiciel pour parvenir à ses objectifs (figure 4.15).

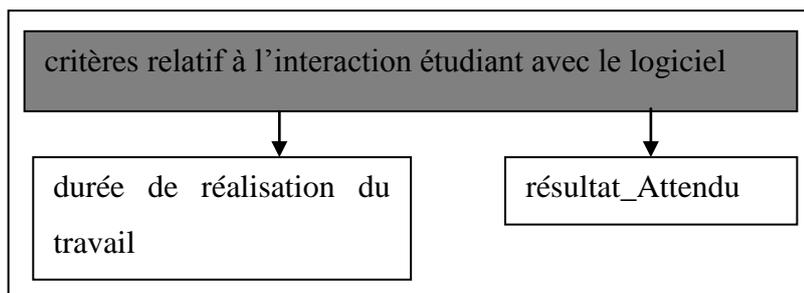


Figure 4.15: Critères relatif à l'interaction étudiant avec le logiciel

Le tableau 4.1 résume tous les critères qui étaient divisés en groupes.

| | | | |
|--------|--|----------|--|
| I | *critères relatifs à l'étudiant: ----Profile de l'étudiant--- | | 12 Accès à l'aide 13 Gestion des erreurs 14 délais de réponse à une tâche |
| | 1 Genre 2 Langues 3 Sib ----Pré requis----- | II II | *critères relatif aux aspects pédagogique du logiciel ---Pédagogie et contenu technique-- 15 séquençement des Etapes 16 action retour 17 notation cours/logiciel |
| | 4 Informatique 5 outils bureautiques 6 langages programmation 7 Accès Internet 8 Logiciel CAO 9 Logiciel FAO | I V | * critères relatif à l'interaction étudiant/logiciel ----Durée de tâche-- 18 Efficience |
| | | V | * critères relatif à l'interaction étudiant avec le logiciel: ----Satisfaction----- 19 Satisfaction |
| I I | *critères relatif aux aspects ergonomiques du logiciel ----ergonomie de l'interface----- 10 Densité d'affichage 11 Raccourcis | | *Y : Efficacité d'apprentissage des étudiants sur le logiciel de FAO |

Tableau 4. 1: Critères influençant l'efficacité de l'apprentissage de l'étudiant sur un logiciel FAO donné

4.7 Conclusion

La science cognitive a été le cadre théorique dominant l'étude de l'Interaction Homme-Machine (IHM), mais en ignorant l'étude d'artefacts et en insistant principalement sur les représentations mentales. Or, l'emploi d'outils prédominant dans la FAO nous a amené à explorer d'autres cadres théoriques, en plus des modèles théoriques de l'apprentissage décrits

dans les chapitres précédents. Nous avons adopté un modèle basé sur la théorie de l'activité pour les possibilités qu'elle offre pour traiter convenablement le cas de définitions de critères de choix de logiciels pour l'enseignement de la FAO.

L'objet de la théorie de l'activité adoptée était de comprendre l'unité d'analyse qui est l'activité, en particulier par rapport à des contextes où la médiation de la technologie occupe un rôle central. En effet, la théorie de l'activité a été utilisée pour étudier l'activité de l'homme dans un certain nombre de domaines de recherche (Jonassen, 2000), y compris l'interaction homme machine (Nardi 1996, Kaptelinin, 1996, Kuutti, 1996) et en tenant compte de l'environnement de ces interactions (Cole et Engeström, 1993 ; Engeström, 2001).

La Théorie de l'Activité en tant que courant des sciences humaines représente un cadre conceptuel dont l'unité fondamentale d'analyse est l'activité humaine. Elle est définie comme un système cohérent de processus mentaux internes, d'un comportement externe et de processus motivationnels qui sont combinés et dirigés pour réaliser des buts conscients.

Dessus (2006) confirme que cette théorie peut être qualifiée de constructiviste en ce *que toute activité d'apprentissage prend place dans un contexte [...] et part du principe que l'apprentissage émerge de l'activité plutôt qu'il en est un préalable.*

La nature de la technologie et des jugements de valeur qui lui sont associés, son interaction avec la culture environnante et le contexte éducatif, les interrelations entre les facteurs clés dans des contextes d'apprentissage et de la vie réelle, représentent des questions cruciales pour fournir un modèle dynamique temporel, situationnel, social et culturel permettant de décrire et de comprendre comment les étudiants peuvent développer leurs savoirs lors de l'enseignement-apprentissage du module FAO. La théorie de l'activité fournit un cadre d'analyse puissant pour mesurer l'efficacité de la situation d'enseignement-apprentissage qui nous amène à étudier l'interaction de l'étudiant avec l'outil technologique dans un environnement plus large.

De ce qui est relaté ci-dessus dans le cadre théorique concernant l'approche cognitiviste et la théorie de l'activité, nous pourrions affirmer que ces deux éléments sont complémentaires et permettent la description des facteurs qui influencent l'enseignement et l'apprentissage de la FAO.

La performance des étudiants travaillant sur un logiciel de FAO est conditionnée par plusieurs facteurs, notamment ceux liés à l'étudiant, à l'artefact (constitué du logiciel installé sur un ordinateur), au professeur et aux paramètres liés à l'organisation et l'environnement.

Ces principaux facteurs ont été mis en catégories et exprimés en plusieurs items qui serviront à leur description.

Dans le chapitre suivant nous présenterons les différentes techniques d'évaluation des logiciels et leurs rapports avec le cadre théorique de notre recherche.

La question de recherche étant :

Comment le logiciel support de formation pourrait il être choisi pour être adopté comme support d'apprentissage de la FAO ?

Nous passons en revue différentes techniques d'évaluation de logiciels existantes dans la littérature pour pouvoir adopter celle adéquate avec le contexte de notre étude et qui concordant avec le cadre théorique de notre recherche qui est basé sur la théorie de l'activité qui définit l'activité comme unité d'évaluation du travail de l'étudiant sur le logiciel à adopté.

Chapitre 5 : Techniques d'évaluation des logiciels

5.1 Introduction

L'évaluation des logiciels est un processus de décision multicritères qui a pour but de prendre des décisions préférentielles selon les choix disponibles. Nous avons développé, dans le chapitre précédent une méthodologie basée sur un cadre théorique reposant sur la théorie de l'activité, pour la définition de critères objectifs de choix de logiciels à des fins d'enseignement-apprentissage de FAO. Comme nous l'avons souligné auparavant, il y a une carence dans les études permettant la définition de critères objectifs permettant ce choix, les méthodes courantes sont plutôt orientée vers l'évaluation des logiciels. Nous avons tenté de présenter l'argumentation selon laquelle une méthode d'évaluation des logiciels centrée sur l'utilisateur ainsi qu'une technique d'évaluation par le biais d'un questionnaire serait adéquate pour mener à bien notre étude de cas.

Le choix particulier de la méthode d'évaluation sera affecté par les objectifs d'évaluation, les caractéristiques de l'outil qu'on souhaite évaluer, les caractéristiques de l'organisation, et des limites et des contraintes posées à l'exercice d'évaluation. Ces différents facteurs interagissent de façon complexe, de sorte qu'il est difficile d'identifier quelle méthode d'évaluation est la plus appropriée.

Jadhav et Sonar (2008) ont classé (figure 5.1) les différentes contributions des revues de la littérature concernant l'évaluation et la sélection des logiciels en quatre catégories:

- les critères d'évaluation du logiciel,
- les méthodes de sélection de logiciels,
- les techniques d'évaluation des logiciels,
- les systèmes ou outils d'aide aux décideurs à la sélection de logiciels.

Un résumé de la contribution de la littérature, représenté en figure 5.1, donne en termes de pourcentage ces différentes catégories.

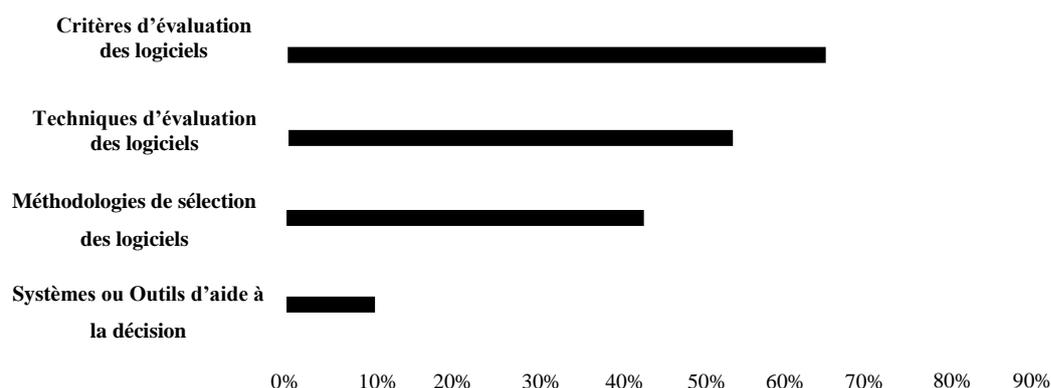


Figure 5.1: Pourcentage des différentes contributions par catégories

Cependant, parmi les catégories de logiciels qu'ils traitent, ces auteurs n'ont identifié que six références (tableau 4.1) concernant l'évaluation des logiciels de simulation qui se rapprochent de la catégorie de logiciels que nous traitons dans notre étude.

| Auteurs | Type de logiciel | Critères | Méthodologie de Sélection | Technique Evaluation | Les systèmes ou outils d'aide à la décision |
|--------------------|------------------------|----------|---------------------------|----------------------|---|
| Cochran and Chen | Logiciel de simulation | Oui | Non | Oui | Oui |
| Davis and Williams | Logiciel de simulation | Oui | Non | Oui | Oui |
| Hlupic and Paul | Logiciel de simulation | Oui | Oui | Non | Oui |
| Lee et al. | Logiciel de simulation | Oui | Non | Oui | Non |
| Nikoukaran et al. | Logiciel de simulation | Oui | Non | Non | Non |
| Rincon et al. | Logiciel de simulation | Oui | Oui | Non | Oui |

Tableau 5.1: Documents traitant l'évaluation des logiciels de simulation

Sur la base de l'examen de la littérature, les auteurs proposent les étapes de sélection basées sur une méthodologie de sélection générique de tout logiciel en sept étapes:

1. Déterminer la nécessité de l'achat du logiciel et procéder à une étude préliminaire de la disponibilité de logiciels qui pourraient être candidats, y compris l'enquête de haut niveau en ce qui concerne les fonctions logicielles et les capacités fournies par les éditeurs.
2. Etablir une liste des principaux logiciels candidats.
3. Éliminer les logiciels candidats qui n'ont pas les caractéristiques requises ou qui ne fonctionnent pas avec le matériel disponible, ou le système d'exploitation existant
4. Utiliser une technique d'évaluation afin d'évaluer les logiciels restants pour obtenir un score ou un classement global des différents logiciels.
5. Faire un examen plus approfondi par l'obtention d'une version d'essai du logiciel et conduire une évaluation empirique et des essais pilotes de l'outil dans l'environnement adéquat.
6. Négocier un contrat précisant le prix du logiciel, le nombre de licences, le calendrier de paiement, les spécifications fonctionnelles, la réparation et les responsabilités de maintenance, le calendrier de livraison, et les options de résiliation de tout accord.
7. Acheter et mettre en œuvre le logiciel le plus approprié.

À la quatrième étape de la méthode de sélection générique, il est question d'utiliser une technique d'évaluation pour obtenir un classement global des différents logiciels. Nous passons en revue une classification de quelques méthodes d'évaluation existantes ainsi que certaines des critiques qui s'y rapportent, notons que ces méthodes sont souvent centrées sur l'évaluation de l'interface des logiciels.

5.2 Méthodes d'évaluation centrés sur l'évaluation de l'utilisabilité

Selon Bastien et Scapin, (2001), Les méthodes d'évaluation sont nombreuses; la classification de ces méthodes devrait permettre une description adéquate et exhaustive afin de faciliter la sélection de l'une de ces méthodes en fonction d'un certains nombres de critères tels que les objectifs ou le but de l'évaluation, les données de l'évaluation et la période de l'évaluation.

- Objectifs ciblés par l'évaluation :

On s'intéresse à savoir s'il s'agit d'une détection des faiblesses et des erreurs de conception dans le cadre d'un diagnostic, ou d'une évaluation d'adéquation du système aux

tâches et à l'environnement pour lequel il a été conçu et déterminer son degrés de performances.

- **Données de l'évaluation :**

Parmi les données d'évaluation les plus importantes, on notera les types et le niveau de performances d'utilisateurs et les caractéristiques de l'interface utilisateur d'une part, et le type d'interaction utilisateur/logiciel d'autre part.

- **Période de l'évaluation :**

La période nous renseigne sur l'état, la forme et la représentation du système interactif à évaluer. Dans la littérature, plusieurs approches ont été proposées pour la classification des méthodes d'évaluation des systèmes interactifs, celles-ci concernent surtout l'évaluation de l'interface logiciel et plus particulièrement l'aspect ergonomique (figure 5.2).

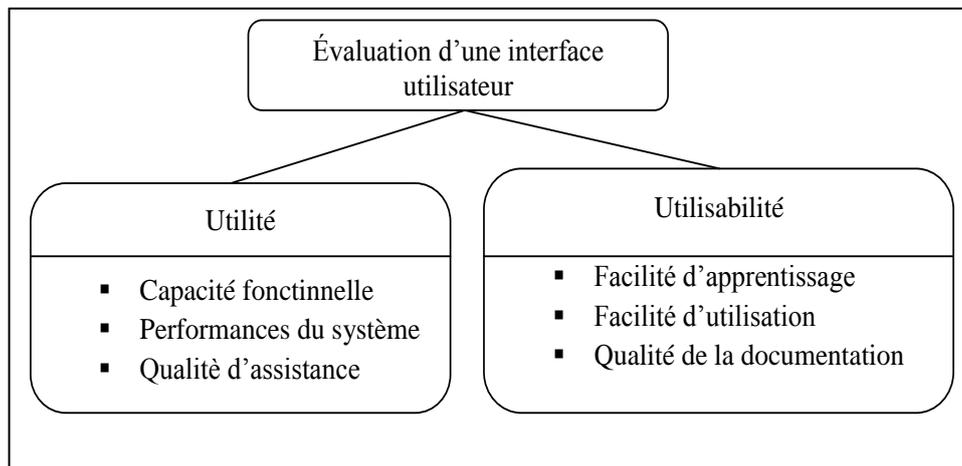


Figure 5.2: Dimension de l'évaluation d'une interface (Senach, 1990)

Comme le montre la figure 5.2, il est d'usage en ergonomie de distinguer deux dimensions dans l'évaluation d'un système : l'utilité et l'utilisabilité (Senach, 1990). L'utilité a trait à l'adéquation fonctionnelle : le logiciel permet-il à l'utilisateur d'atteindre ses objectifs de travail? L'utilisabilité concerne l'adéquation de l'interface Homme-Machine : le logiciel est-il facile à apprendre et facile à opérer ?

Parmi les méthodes de la classification, Senach (1990) distingue les méthodes d'évaluation empiriques exploitant les données comportementales des utilisateurs et qui consistent à recueillir des données relatives au comportement de l'utilisateur lors de l'utilisation du système. Whitefield et al. (1991) classe les méthodes d'évaluation selon la présence réelle ou représentée de l'utilisateur et selon que le système est réel ou représenté par

une maquette ou un prototype. Ils obtiennent ainsi quatre approches d'évaluation possibles les suivantes:

- ✓ les rapports de spécialistes (système réel, utilisateur représenté : spécialiste). Ils ne font pas appel aux utilisateurs réels, mais disposent de la présence du système réel pour l'évaluation. Les guides ergonomiques dans le cas de l'évaluation de l'utilisabilité des interfaces peuvent être utiles dans ce cas.
- ✓ les rapports d'utilisateurs (utilisateur réel, système interactif représenté). Dans ce cas on demande à l'utilisateur de juger certains aspects conceptuels généraux du système. On peut, par exemple, utiliser la technique de questionnaire.
- ✓ les méthodes d'observation (utilisateur et système réels) : ils consistent, comme leur nom l'indique, à observer l'utilisateur en interaction avec le système afin de déterminer les erreurs et les défaillances de ce dernier.

Whitefield et al proposent une matrice selon les quatre cas de figures « matrice aux cas deux par deux » représentée dans la figure 5.3:

| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Logiciel représentatif | Méthodes analytiques | Rapports d'utilisateur |
| Logiciel réel | Rapports de spécialiste | Méthodes des observations |
| | Utilisateur représentatif | Utilisateur réel |

Figure 5.3 Classes des méthodes d'évaluation définies par Whitefield et al.

D'après les deux composantes objet de l'évaluation (système et utilisateur) qui peuvent être soit réelles ou représentées, Whitefield conclut qu'il n'y a, en principe, que quatre catégories de méthodes d'évaluation, une des critiques de son approche est que les rapports de l'utilisateur ne peuvent être obtenus que dans le cas de l'utilisateur réel et le système

représenté. C'est tout aussi faux d'après Ronan Fitzpatrick (1999), parce que les rapports de l'utilisateur peuvent être obtenus à la fois par l'utilisateur réel et dans le cas d'un système réel. Dix et al. (1998) préférèrent faire une classification des méthodes d'évaluation d'un point de vue taxonomique tel que représenté dans le tableau 5.2.

D'après leurs analyses, l'utilisation de ce tableau d'analyse et la taxonomie des méthodes d'évaluation d'utilisabilité (figure 5.4) peuvent aider à décider quelles sont les méthodes appropriées pour faire l'évaluation d'un système.

| | Observation | Questionnaire | Interview | Méthodes Empiriques | Groupes d'utilisateurs | Inspection cognitive | Méthodes Heuristique | Méthode de recherche « Review Methods » | Méthodes de modélisation (Ex : GOMS, Key stroke) |
|-----------------------------------|--|---------------|------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|---|--|
| STRATEGIE | | | | | | | | | |
| Monde réel | M.R. | M.R. | M.R. | M.R. | M.R. | | | | |
| Revue critique | S.M. | S.M. | S.M. | S.M. | S.M. | Ing.V. | R.C. Ing.V. | Ing.V. | Ing.V. |
| Soft Modelling | | | | | | | | | |
| Ingénierie du virtuel | | | | | | | | | |
| LOCALITÉ | | | | | | | | | |
| Laboratoire | Lab. | Lab. | Lab. | Lab. | Lab. | Lab. | Lab. | Lab. | Lab. |
| Contexte du travail | Terrain | Terrain | Terrain | | Terrain | | | | |
| (Terrain) | | | | | | | | | |
| Niveau de subjectivité | | | | | | | | | |
| Objective | Objective | Objective | Subjective | Objective | Objective | Subjective | Subjective | Dépend de la source | Subjective |
| Subjective | Subjective | Subjective | | | Subjective | | | | |
| MEASURE DE L'UTILISABILITÉ | | | | | | | | | |
| Efficacité | Oui | Oui | Oui | Oui | | | | | Oui |
| Efficiency | Oui | Oui | Oui | Oui | | Oui | | Dépend de la source | Oui |
| Satisfaction | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | | Oui |
| INFORMATION | | | | | | | | | |
| Haut niveau | Haut | Haut | Haut | Haut | Haut | | Haut | Dépend de la source | |
| Bas niveau | BAS | | | Bas | Bas | Bas | Bas | | Bas |
| IMMÉDIATÉ DE LA REPONSE | | | | | | | | | |
| Immédiate | Immédiate | | Immédiate | Immédiate | Immédiate | Immédiate | Immédiate | Dépend de la source | |
| Retardé | Retardé | Retardé | | Retardé | Retardé | Retardé | | | Retardé |
| INTRUSIVE | Oui | Non | Oui | Oui | Oui | Non | Non | Non | Non |
| COUT | | | | | | | | | |
| Élevé | Audio rec. Video rec. Comp. logs Post-task | | | | | | | | |
| Pas élevé | Crayon & papier Penser à haute voix Note d'utilisateur | Pas élevé | Pas élevé | Pas élevé | Pas élevé | Pas élevé | Pas élevé | Pas élevé | Pas élevé |

Tableau 5.2: Analyse de la taxonomie des méthodes d'évaluation d'utilisabilité

| | | |
|------------------------|--|--|
| Haut | <p>Revue critique Méthodes heuristiques</p> | <p>Monde réel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observation • Questionnaire • Interview • méthodes empiriques • Groupes d'utilisateur |
| Logiciel réel | | |
| Logiciel représentatif | <p>Ingénierie du virtuel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspection cognitive • Méthodes heuristiques • Revue critique • Model methods | <p>Soft Modelling</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observation • Questionnaire • Interview • méthodes empiriques • Groupes d'utilisateur |
| Bas | | |
| | Bas | Haut |
| | Utilisateur représentatif | Utilisateur réel |

Figure 5.4: Classification des méthodes d'évaluation tenant compte du point de vue taxonomique

Cette classification possède des points de convergence avec celle proposée par Bastien et Scapin, (2001). Holyer, (1993) introduit une classification des méthodes d'évaluation selon leur « philosophie d'origine ». Il distingue quatre types de méthodes qui sont ainsi décrites :

- les méthodes qui tentent d'identifier le processus cognitif de l'utilisateur qui interagit avec le système, ces méthodes sont issues de la psychologie cognitive,
- les méthodes qui sont principalement basées sur les questionnaires, la verbalisation et l'interview, ces méthodes sont issues de la psychologie sociale,
- les méthodes qui consistent en l'observation d'un utilisateur par un ou plusieurs experts ces méthodes sont issues des sciences sociales, par exemple on y retrouve des approches empiriques,
- les approches qui regroupent les méthodes d'évaluation basées sur l'expérience de un ou plusieurs spécialistes, ces méthodes sont issues de l'ingénierie.

Dans le cas de l'éducation et selon nos objectifs nous avons cherché à faire une évaluation globale qui prend en considération le contexte global et doit rendre compte de l'effet des quatre « philosophies d'origine » annoncé par Holyer (1993).

Balbo (1994) classe les méthodes d'évaluation selon les dimensions telles que :

- ✓ les connaissances requises caractérisées par le coût cognitif d'accès à la méthode et les descriptions qui représentent les informations sur l'objet de l'évaluation nécessaires au processus d'évaluation (modèle de l'utilisateur, modèle de tâche, spécifications externes, etc.) ;
- ✓ les ressources matérielles qui correspondent à tous les moyens physiques mis en œuvre pour l'évaluation tels que les supports pour la capture des données, l'objet de l'évaluation et le niveau d'abstraction des données capturées ;
- ✓ les facteurs situationnels qui décrivent le contexte de l'évaluation suivant cinq dimensions : l'étape dans le processus de développement durant laquelle peut se faire l'évaluation, le lieu de l'évaluation, le type d'application caractérisé par rapport à la tâche, la typologie des interfaces (interface graphique à manipulation directe, interface multimodale, etc.) ainsi que l'enveloppe budgétaire et les plannings d'évaluation ;
- ✓ les moyens humains qui désignent l'ensemble des personnes impliquées dans le processus d'évaluation : leur nombre et leurs origines ;
- ✓ les résultats fournis sont caractérisés par le niveau d'abstraction et le type des informations issues de l'évaluation.

Pour sa part, Farenc (1997) sépare les approches d'évaluation selon trois éléments centraux de l'interaction homme-machine, à savoir : l'utilisateur, la tâche et le système.

- ✓ l'utilisateur : une méthode d'évaluation peut être réalisée soit en prenant en compte un ou plusieurs utilisateurs représentatifs des utilisateurs finaux, soit sans prendre en compte les utilisateurs. Dans ce dernier cas la méthode d'évaluation est utilisée quel que soit l'utilisateur et donc valable pour N utilisateurs,
- ✓ la tâche : de la même manière, certaines méthodes d'évaluation s'appliquent pour une tâche qui doit être précisée pour l'évaluation, d'autres, quelle que soit la tâche, donc pour N tâches,
- ✓ le système : une autre dimension relative au choix de la méthode d'évaluation est la nature des résultats de la méthode. Ces résultats peuvent porter sur le système, sur l'interface ou sur les deux.

La classification de Bastien et Scapin, (2001) sépare les approches d'évaluation en deux grandes catégories. Ils stipulent que les critères ergonomiques ont trois caractéristiques qui les distinguent d'autres activités ergonomiques et en font un outil de choix:

- Ils sont basés sur une analyse de l'interface, activité plus rapide et moins dispendieuse que les tests d'utilisabilité.
- Ils sont utilisables par des non-spécialistes du domaine de l'utilisabilité.
- Ils sont suffisamment explicites pour permettre des mesures précises, puis suffisamment standardisés pour donner des résultats reproductibles.

Ils classent aussi les méthodes d'évaluation en deux classes :

- ✓ les méthodes requérant la participation directe des utilisateurs qui se basent essentiellement sur la présence de l'utilisateur; cette catégorie regroupe deux approches : les rapports des utilisateurs et l'observation de l'utilisateur Whitefield et al. (1991).
- ✓ les méthodes s'appliquant aux caractéristiques de l'interface qui se distinguent des précédentes par l'absence de l'interaction directe entre l'utilisateur et le système. Dans cette catégorie, les utilisateurs tout comme leurs tâches sont représentés.

La classification de Grislin et Kolski, (1996) catégorise les méthodes d'évaluation en trois grandes approches :

- ✓ les approches centrées sur les avis et/ou les activités des utilisateurs ;
- ✓ les approches qualifiées d'expertes, centrées sur le jugement d'experts en communication homme-machine ou sur l'utilisation de grilles d'évaluation ou de questionnaires listant les qualités d'une bonne IHM ;
- ✓ les approches qualifiées d'analytiques, centrées sur une modélisation de l'interaction homme-machine. Celles-ci consistent le plus souvent à effectuer l'évaluation à l'aide de métriques objectives à partir d'un modèle descriptif des tâches humaines, ou à partir d'une description des pages-écrans.

Toutefois comme le soulignent Grislin, (1995), Abed, (2001) et Bastien et Scapin, (2001), il paraîtrait irréaliste de considérer ces regroupements de manière indépendante. En effet, des relations transversales entre méthodes sont souvent très utiles. Par exemple, lors de l'analyse de situations de référence avec des utilisateurs, il est souvent utile de procéder à une modélisation des tâches dans un but de spécification; mais il est aussi possible de réutiliser cette modélisation lorsque le système interactif est réalisé afin de la confronter à une modélisation des activités réelles des utilisateurs (Abed et Ezzedine, 1998).

5.3 Méthodes, techniques et outils d'évaluation des systèmes interactifs

Cette section présente un panorama des méthodes d'évaluation et leur techniques les plus couramment citées. Ces méthodes sont regroupées en trois grandes catégories suivant les principes énoncé en section précédente:

- les méthodes basées sur des techniques d'observation de l'utilisateur réel et de recueil des données de l'interaction,
- les méthodes basées sur l'intervention d'experts (en interaction homme-machine, en psychologie cognitive ou en ergonomie),
- les méthodes analytiques basées sur des modèles formels prédictifs intégrant des connaissances sur la tâche et sur des grammaires ou des modèles formels dits de qualité.

Dans chaque catégorie sont décrites la ou les méthodes d'évaluation les plus représentatives ou celles qui ont servi de base à d'autres méthodes. Il s'agit pour chaque méthode, de définir les aspects qui correspondent à la question que nous posons relative au choix de logiciel de FAO pour l'apprentissage.

Le domaine de l'évaluation en IHM est particulièrement vaste. L'objectif d'une méthode d'évaluation est en général de tester l'utilité et/ou l'utilisabilité du système à évaluer, cependant chaque méthode se focalise sur une dimension particulière ou une interprétation particulière de ces deux facteurs. Une du principe ainsi que l'utilisation de la méthode sont décrits explicitement. Une description des principaux avantages et inconvénients de la méthode qui peuvent être rencontrés lors de son utilisation devra aussi être effectuée.

5.3.1 Approches centrées sur l'utilisateur

Ces approches sont basées sur des techniques d'observation de l'utilisateur réel (utilisateurs finaux) et du recueil des données de l'interaction (questionnaire, interview, verbalisation, oculométrie, estimation de la charge de travail, etc.) afin d'analyser les traces de l'activité des utilisateurs. Elles permettent de détecter les problèmes réels que rencontre l'utilisateur lorsqu'il réalise sa tâche avec le système. Les résultats portent sur l'interface et le système mais comme le précise Farenc (1997), elles n'offrent pas les moyens de corriger les erreurs. Parmi ces approches centrées sur l'utilisateur on peut citer les approches empiriques de diagnostic d'usage (utilisables lorsque l'IHM est réalisée totalement ou partiellement), les approches centrées sur l'estimation de la charge de travail et les approches basées sur les tests de conception. Ces approches peuvent intervenir tout au long du cycle de développement de l'IHM.

5.3.2 Approche empirique de diagnostic d'usage

Cette approche n'est possible que si l'IHM est opérationnelle, et est prête pour être présentée aux utilisateurs finaux (des exceptions pour les interfaces qui sont dans une phase bien avancée de leurs développements peuvent être faites) ou est déjà largement utilisée. Elle est en réalité très utile lorsqu'il existe une expérience d'utilisation. L'évaluation se base essentiellement sur un recueil d'informations. Parmi les nombreuses méthodes empiriques qui existent, on peut citer les plus connues qui sont : les questionnaires, les interviews (entretiens), le moucharid électronique, l'oculomètre. Dans ce qui suit nous nous focalisons sur la première méthode qui fait l'objet d'usage dans notre travail.

5.3.3 Questionnaire d'utilisation

L'objectif de cette technique est de recueillir, à l'aide de documents en principe structurés, un ensemble d'appréciations, d'opinions et d'attitudes de l'utilisateur après qu'il ait interagi avec le système. Les questionnaires permettent surtout de déterminer la satisfaction ou les problèmes de l'utilisateur qu'il est difficile ou impossible de mesurer autrement qu'avec le questionnaire (Nielsen 1993). Il existe dans la littérature des questionnaires spécialisés en IHM (Huart *et al.* 2008). Il s'agit de questionner l'utilisateur sur les besoins d'information, les incohérences de l'interface, les points forts ou faibles qu'il a ressentis lors de l'utilisation du système et éventuellement ses suggestions sur la manière de les corriger (Baccino *et al.*, 2005).

Le questionnaire peut aborder les aspects liés au fonctionnement du système et/ou les aspects liés à l'ergonomie de l'interface. Un questionnaire est composé d'une série de questions. Il doit être bien établi avec des finalités bien définies afin d'éviter dispersion, redondance et données inutiles (Kovács et al., 2004). En effet, chaque question doit répondre en partie à la problématique traitée et ne doit pas consister à fournir à elle toute seule une réponse globale. Par exemple pour évaluer l'aspect ergonomique de l'interface, plusieurs questions peuvent être envisagées afin de recueillir l'avis de l'utilisateur sur cet aspect. Une question trop générale du type « pensez-vous que l'ergonomie de l'interface est bien faite ? » est à éviter. Il faut plutôt privilégier des questions plus ciblées du type « que pensez-vous des couleurs utilisées ? » ou encore « les éléments des menus sont-ils facilement identifiables » avec par exemple une réponse sous forme d'échelle. Dans un questionnaire on peut trouver différents types de questions qui permettent soit d'évaluer un aspect particulier du système ou tout simplement d'avoir l'opinion de l'utilisateur :

- **les questions ouvertes** : permettent à l'utilisateur de s'exprimer librement en utilisant son propre langage. Elles permettent de connaître une opinion ou une information générale sur le système. Une question ouverte peut être par exemple, « quel aspect de l'interface préférez-vous ? » ou encore « quels sont les problèmes majeurs que vous avez rencontrés lors de l'utilisation du système ? ». Ces questions ne sont pas recommandées quand il s'agit d'évaluer un aspect bien déterminé du système. Dans ce cas il faut privilégier les questions fermées.

- **les questions fermées** : à l'inverse des questions ouvertes, elles proposent un ensemble de réponses prédéterminées. Ces questions sont à la base des QCM (Questions à Choix Multiples). L'évaluateur peut imposer à l'utilisateur une réponse unique ou lui laisser la possibilité d'effectuer plusieurs choix. Cependant l'élaboration de la liste des choix doit être bien étudiée afin que l'utilisateur puisse trouver une réponse lui convenant. Dans le cas contraire, l'utilisateur risque de répondre d'une façon hasardeuse ou de ne pas répondre du tout. Une question fermée peut par ailleurs donner à l'utilisateur la possibilité de s'exprimer. On parle alors de questions semi-fermées. La figure(5.5 a) montre un exemple d'une question semi-fermée à choix multiples ; dans cet exemple l'utilisateur peut proposer sa propre réponse s'il n'en trouve pas une qui lui convient.

- **les questions scalaires** permettent à l'utilisateur d'exprimer son opinion sur une échelle prédéfinie. Cette échelle peut avoir seulement deux valeurs (échelle binaire : Vrai/Faux ou

Oui/Non) ou plusieurs valeurs (échelle multiple : à 5, 7, 10 valeurs). Dans Baccino *et al.* (2005), les questions scalaires à échelle multiple sont classifiées en trois catégories :

- Les échelles de Likert interrogent l'utilisateur sur son accord ou son désaccord avec une assertion (voir figure 5.5.c),
- Les échelles de rang invitent l'utilisateur à ranger par ordre d'importance des réponses à une question (voir figure 5.5.b),
- Les échelles sémantiques différentielles demandent à l'utilisateur de juger le système selon deux listes d'antonymes. Par exemple, (facile, utile, plaisant, rapide) et (difficile, inutile, déplaisant, lent).

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------------|------------|--------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--|------------------|--|--|--|--|--|
| <p>Quelle sont pour vous les qualités du système ?</p> <p>Le prix <input type="checkbox"/></p> <p>La convivialité <input type="checkbox"/></p> <p>L'ergonomie <input type="checkbox"/></p> <p>La rapidité <input type="checkbox"/></p> <p>Autres : Précisez :</p> | <p>Classer par ordre de préférence le moyen d'interaction avec le système, de 1 (préférence minimale) à 5 (préférence maximale)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Ligne de commande</td><td></td></tr> <tr><td>Icônes</td><td></td></tr> <tr><td>Menu</td><td></td></tr> <tr><td>Raccourcis clavier</td><td></td></tr> <tr><td>Commandes vocale</td><td></td></tr> </table> | Ligne de commande | | Icônes | | Menu | | Raccourcis clavier | | Commandes vocale | | | | | |
| Ligne de commande | | | | | | | | | | | | | | | |
| Icônes | | | | | | | | | | | | | | | |
| Menu | | | | | | | | | | | | | | | |
| Raccourcis clavier | | | | | | | | | | | | | | | |
| Commandes vocale | | | | | | | | | | | | | | | |
| (a) | (b) | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 14.28%;">Complètement d'accord</td> <td style="width: 14.28%;">D'accord</td> <td style="width: 14.28%;">Moyennement d'accord</td> <td style="width: 14.28%;">Aucun avis</td> <td style="width: 14.28%;">Moyennement en désaccord</td> <td style="width: 14.28%;">En désaccord</td> <td style="width: 14.28%;">Complètement en désaccord</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </table> | | Complètement d'accord | D'accord | Moyennement d'accord | Aucun avis | Moyennement en désaccord | En désaccord | Complètement en désaccord | | | | | | | |
| Complètement d'accord | D'accord | Moyennement d'accord | Aucun avis | Moyennement en désaccord | En désaccord | Complètement en désaccord | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| (c) | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 5.5: Exemple de questionnaire : (a) ouvert à choix multiples (b) à échelle de rang (c) à échelle de Likert

La technique du questionnaire possède l'avantage d'être économique et utilisable dans la plupart des situations (Rushinek et Rushinek, 1986). Elle permet à la personne interrogée de travailler « à tête reposée », même si ceci est susceptible, d'après Root et Draper (1983) d'introduire un biais dans ses réponses puisqu'il n'est pas toujours en mesure de se souvenir des difficultés rencontrées lors des différentes situations de travail. Bien que cette technique semble être facile à mettre en place, l'élaboration d'un questionnaire fiable, permettant de récupérer des informations réellement utiles pour l'évaluation, n'est pas toujours facile. Selon Baccino *et al.*, (2005) les problèmes récurrents que l'on rencontre lorsqu'on construit des questionnaires portent sur l'utilisation de termes chargés affectivement, trop imprécis ou trop

ambigus. La possibilité de suggérer la réponse désirée ou d'entraîner une gêne du sujet lorsqu'il croit être évalué sur sa réponse. Par exemple, une question du type « avez-vous une bonne mémoire ? » peut intimider l'utilisateur et il aura tendance à donner une réponse erronée, cependant on peut pallier à ceci par un questionnaire avec anonymat.

Dans le cas que nous traitons, la méthode d'évaluation doit être construite en associant deux thèmes principaux : ergonomique et pédagogique. L'évaluation de la qualité est prise au point de vue de l'utilisabilité ergo-pédagogique. Par conséquent, on cherche, par la définition des critères et les méta-critères (facteurs), à minimiser la subjectivité de l'évaluation afin qu'elle puisse être adaptée aux circonstances particulières de l'enseignement-apprentissage.

Chaque thème est subdivisé en plusieurs critères. La structure de la méthode et sa définition permettent de comprendre le contenu d'un critère et son développement dans le but de cerner la connaissance spécifique relative à chaque thème.

5.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons abordé différentes méthodes et techniques d'évaluation de logiciels et leur classification. Quatre types de méthodes sont ainsi été décrites:

- (1) les méthodes qui tentent d'identifier le processus cognitif de l'utilisateur qui interagit avec le système, ces méthodes sont issues de la psychologie cognitive,
- (2) les méthodes qui sont principalement basées sur les questionnaires, la verbalisation et l'interview, ces méthodes sont issues de la psychologie sociale,
- (3) les méthodes qui consistent en l'observation d'un utilisateur par un ou plusieurs experts ces méthodes sont issues des sciences sociales, par exemple on y retrouve des approches empiriques,
- (4) les approches qui regroupent les méthodes d'évaluation basées sur l'expérience de un ou plusieurs spécialistes,

Nous avons adopté la méthode d'évaluation centré sur l'utilisateur et comme technique d'évaluation celle basée sur les questionnaires, établis sur la base des résultats du modèle théorique élaboré à partir de la théorie de l'activité. Ainsi, nous avons établi deux questionnaires le premier administré aux étudiants et l'autre questionnaire qui a pour finalité de recueillir la perception des enseignants et formateurs de l'OMS. Les aspects particulièrement visés concernent la progression logique des opérations ainsi que la nécessaire assistance durant le travail de l'apprenant.

Chapitre 6 : Le processus de recherche et résultats statistiques

6.1 Introduction

Le présent chapitre décrit la méthodologie utilisée pour la mise en œuvre des outils que nous avons élaborés à partir du modèle théorique adopté. Nous donnons ainsi, une description avec les explications nécessaires de l'utilisation d'une méthodologie de recherche qualitative par l'emploi d'une approche par étude de cas pour la collecte des données. Nous abordons les méthodes d'échantillonnage, la description des hypothèses et les conditions de l'étude de cas, les méthodes de collecte de données et les stratégies d'analyse de données en s'assurant, à l'aide d'outils statistiques de la fiabilité de l'étude. Nous présentons une analyse des résultats émergeant de l'interprétation des données d'un point de vue de la théorie de l'activité et pour faire ressortir les facteurs ou les variables les plus significatifs qui influencent l'efficacité et l'efficience de l'enseignement apprentissage de la FAO. Le chapitre se termine par une description et une justification des techniques d'analyse de données employées.

Après l'identification des critères relatifs au cadre théorique, vient la formulation des questions relatives à chacun des facteurs; qui constitue l'étape de la conception du questionnaire. Nous noterons que lorsque le thème abordé d'une d'étude est entièrement neuf, l'élaboration de questionnaires peut à elle seule faire l'objet d'une étude entière (De Ketele, Roegiers, 1993; Moret et al., 1993). Les questionnaires ont été établis à partir de ces critères, en utilisant une échelle de likert. La création et l'utilisation pratique de l'échelle de likert est une méthode qui est sans doute la plus intuitive qui soit (Iver & Carmines, 1981). Elle n'est pas basée, comme celle décrite par Thurstone, sur une étape préalable de calcul des scores des items, puis une seconde étape présentant des réponses dichotomiques lors de l'utilisation de l'échelle. En quelque sorte, Likert « télescope » les deux étapes en une seule. Il soumet directement aux sujets dont il souhaite mesurer l'attitude, des propositions à juger selon une échelle prédéterminée, du type: Tout à fait d'accord - D'accord - Sans avis - En désaccord - Tout à fait en désaccord. Le nombre des modalités possibles peut varier (généralement de 3 à 7), mais correspond le plus souvent à un nombre impair de manière à ménager une modalité relativement neutre ou non polarisée au centre de l'échelle. Le nombre de modalités proposées est fonction à la fois de la précision souhaitée, mais aussi de la capacité présumée des sujets à effectuer des discriminations fines, un trop grand nombre de catégories n'entraînant pas

nécessairement une augmentation de la précision. Toutefois la modalité neutre peut présenter le risque d'être choisie préférentiellement.

Chaque catégorie reçoit une note a priori (par exemple, 5 pour Tout à fait d'accord, 4 pour D'accord, et 1 pour Tout à fait en désaccord). Pour les items dont l'acceptation est contraire à l'attitude générale que l'on veut mesurer au moyen de cette échelle, les valeurs sont ordonnées dans l'autre sens: 1 pour Tout à fait d'accord et 5 pour Tout à fait en désaccord.2

Données de notre étude

L'échantillon est constitué de 50 étudiants qui représentent la classe de la 2^{ème} année du DUT en Conception Mécanique et Productique (CMP), à l'ENSET-Rabat, université Mohammed V de Rabat-Maroc.

Logiciel utilisé : Catia V5R20

Temps d'apprentissage 8h de cours 20h de TP

Moyens utilisés : salle équipée de 13 ordinateurs avec logiciel installé, vidéo projecteur, tableau blanc et tutoriaux.

Mode de travail : en binômes.

Evaluation individuelle.

6.2 Echantillonnage :

L'étude de l'efficacité d'apprentissage auprès de la totalité de la population ciblée par notre étude, et qui est constituée par les étudiants en 2^{ème} année préparant un DUT au niveau du Maroc ou pour ceux des Ecoles Supérieures de Technologie en branches génie mécanique; et au premier cycle des écoles d'ingénieurs, serait une démarche lente et coûteuse. Nous avons évité ces difficultés en procédant à un recueil d'information auprès d'un sous-ensemble de la population que nous avons jugé être représentatif. Les avantages d'une telle réduction relèvent de la *validité interne* de la recherche et, une fois cette validité acquise, ses inconvénients relèvent de la *validité externe*. La validité interne d'une recherche dépend essentiellement de la précision de la description des caractéristiques étudiées qui sont dans notre cas l'efficacité de l'apprentissage de la FAO. On peut affirmer, en général, que la

validité interne d'une étude réalisée à l'aide d'échantillons est supérieure à celle d'une étude qui engloberait la population tout entière (Cochran, 1977). En effet, la relative rapidité du recueil d'information auprès d'échantillons et l'économie qui en découle permettent d'obtenir un degré d'exactitude sensiblement supérieur à une prise d'information auprès de l'ensemble de la population (Cochran 1977, Krathwohl1982). L'échantillon présente aussi l'avantage de donner une photographie à un instant donné. La qualité intrinsèque de l'information obtenue dans toute recherche est essentielle, au point qu'une validité interne acceptable constitue une condition nécessaire (mais non suffisante) pour que l'étude en question possède la qualité de la validité externe.

La validité externe (voir annexes : tableau 1,2,et 3) est la généralisabilité des résultats et est, entre autre, fonction de la représentativité des échantillons choisis. Ainsi, les études basées sur des populations entières (les recensements) qui possèdent une validité interne acceptable ont automatiquement une grande validité externe permettant de décrire les caractéristiques étudiées dans la population, tant et aussi longtemps qu'elles demeurent stables et que les conditions expérimentales restent inchangées.

Représentativité d'un échantillon de sujets

La représentativité est considérée comme une propriété intrinsèque de l'échantillon. Ainsi, Larousse définit l'échantillon comme une « petite quantité d'un produit quelconque, qui sert à apprécier la qualité du tout (...) ». Malheureusement, en sciences humaines, la complexité et la taille des populations que l'on veut décrire sont autant d'obstacles à la représentativité des échantillons. Pour améliorer la représentativité d'un échantillon, il faut tout d'abord s'attacher à définir correctement les objectifs de la recherche et la population ; ce faisant, on assure une meilleure validité externe de la recherche. Pour définir une population, il faut d'abord déterminer une règle qui permet d'identifier les éléments ou unités échantillonnales de la population ; en outre, le choix d'un échantillon optimal implique qu'on en spécifie la structure interne, puisque ce sont les propriétés de cette structure qui conditionnent le choix d'une méthode d'échantillonnage susceptible d'augmenter la représentativité de l'échantillon retenu.

L'ENSET est un des premiers établissements d'enseignement techniques au Maroc et qui formait au départ des enseignants pour les lycées techniques dans les spécialités du Génie mécanique et productique et du Génie électrique. D'autres formations sont aussi dispensées

comme les DUT Génie Mécaniques et Productique et du Génie électrique et plusieurs Masters. Pour le cycle de DUT; les étudiants bacheliers venants de toutes les régions du Maroc sont sélectionnés sur dossier et sont admis dans la limite des places disponibles selon leurs classement. Ce constat nous permet d'avoir des profils sociaux variés dus à la diversité des origines des régions et une variété due au différents aspect pédagogiques et techniques des étudiants venant de différents lycées des différentes régions du Maroc, ceci permettra de se prononcer sur la validité externe du questionnaire.

6.3 Conception du questionnaire

Cette étape comprend l'élaboration des questions, des choix de réponses ainsi que le pré-test. Les remarques qui suivent sont essentiellement tirées de la littérature sociologique.

6.3.1 Elaboration des questions

La rédaction d'un questionnaire doit être précédée d'une définition des hypothèses générales de l'enquête ainsi que de ses objectifs (De Ketele, Roegiers, Muchelli, 1993). Ces hypothèses contribueront à définir les aspects du problème qui seront recueillis par le questionnaire et à préciser l'information désirée (Bâcher, Baudier (1982).

Dans le cas de notre étude, le questionnaire a pour objectif de mesurer l'efficacité de l'apprentissage de la FAO dans l'enseignement supérieur en utilisant comme support d'apprentissage un logiciel de FAO. D'après le cadre théorique élaboré auparavant, quatre aspects ont été mis en relief qui sont les aspects ergonomique, pédagogique, efficacité et satisfaction. Les informations relatives à chacun de ces aspects seront explorées par des "items". Un "item" est la plus petite unité d'information pouvant être isolée par une mesure ou un examen. Ces "items" étaient regroupés en "4 aspects", comme précédemment décrit. Lors de la rédaction du questionnaire, certains points ont été considérés avec attention. Le vocabulaire employé qui doit être compréhensible par toutes les personnes de la population cible que sont les étudiants ou les enseignants et les questions doivent avoir le même sens pour tous les étudiants (Ghiglione, Matalon, Giacobbi, & Roux, 1970). La rédaction des questionnaires a été précédée d'une série d'entretiens auprès d'un échantillon représentatif de la population cible ainsi que des enseignants de la FAO. Ils ont permis de préciser l'information à recueillir et ses modalités d'expression. L'analyse sémantique du vocabulaire utilisé par les enquêtes permettra de retenir dans le questionnaire les mots clés et les énoncés les plus employés (Moret, Chwalow, & Baudouin-Balleur. (1993). Enfin, le questionnaire a

été élaboré de manière à constituer une suite et une succession logique de questions « construites comme un entretien » pour une aisance et une bonne acceptabilité dans la production de réponses des étudiants et pour que les étudiants se construisent une représentation du phénomène étudié.

6.4 Les facteurs du questionnaire des étudiants et leurs items :

On définit un facteur comme étant une dimension latente, non directement observable, que l'on tente d'étudier en recueillant un certain nombre de variables censées mesurer cette dimension. Nous explicitons dans ce qui suit, les différentes variables adoptées pour les facteurs à explorer ainsi que leurs modalités.

La variable dépendante et ses modalités :

D'après le modèle de la théorie de l'activité décrit auparavant, l'objectif de l'activité de l'étudiant était de produire le programme en code G d'une pièce étudiée en utilisant un logiciel à sa disposition. La question posée doit refléter le degré de performance de l'étudiant dans la réalisation de cette activité en utilisant le logiciel de FAO.

La variable dépendante que nous désignons par Y et qui exprime l'efficacité du logiciel FAO se définit par la réponse à la question suivante, représentée sur le tableau 6.1.

| | | |
|------------|--|---|
| prog_pièce | Êtes-vous arrivé à élaborer le programme de la pièce ? | pas du tout=1 ; en général=2 ; tout à fait=3 |
|------------|--|---|

Tableau 6.1: Variable dépendante Y

La question était posée en se référant à la notion d'efficacité, qui est l'atteinte du but de l'utilisateur à travers l'outil utilisé.- Les réponses sont mesurées comme suit :

En général : 60% des opérations ont été faites correctement.

Tout à fait : 90% des opérations ont été faites correctement.

Les variables indépendantes et leurs modalités :

Les variables indépendantes, ainsi que leurs modalités sont définies par les tableaux 6.2 à 6.7 suivants.

X4 = Aspect ergonomique du logiciel FAO:

| | | |
|--------------|---|--|
| densité_fen | Les fenêtres présentent-elles une forte densité d'affichage ? | 1 ; 2 ; 3 |
| raccourcis | Le logiciel présente-il des raccourcis clavier aux boutons d'action ? | 1 ; 2 ; 3 |
| accé_aide | Existe t-il un fichier d'aide facile d'accès? | oui=1; non=2 |
| gest_erreurs | le logiciel présente t-il une gestion d'erreurs ? | Pas du tout=1; en général=2; tout à fait=3 |
| Durée_tache | La durée de réponse à une tâche est-elle ? | longue ; moyenne ; courte |

Tableau 6.2: Aspect ergonomique du logiciel FAO

X5 = Aspect pédagogique et contenu technique du logiciel FAO:

| | | |
|-------------------|---|--|
| déroul_travail | Savez-vous à tous moment ou en êtes-vous dans le déroulement du travail ? | pas du tout=1 ; en général=2; tout à fait=3 |
| act-retour | les possibilités d'action en retour sont elles diverses ? | pas du tout=1 ; en général=2 ; tout à fait=3 |
| not_log-not_cours | Le logiciel utilise t-il les mêmes termes et notations que le cours théorique ? | 1 ; 2 ; 3 |

Tableau 6.3: Aspect pédagogique et contenu technique du logiciel FAO

X6 = Durée de réalisation du travail (efficience) sur le logiciel FAO

Le temps de réalisation sera noté par l'étudiant au moment où il termine le travail, le professeur contrôlera le temps et la conformité du travail.

| | | |
|-------|--|---------------------------|
| durée | La durée pour effectuer votre travail est-elle ? | longue ; moyenne ; courte |
|-------|--|---------------------------|

Tableau 6.4: Durée de réalisation du travail

X7 = Satisfaction de l'étudiant du résultat donné par le logiciel FAO:

| | | |
|------------------|---|---|
| résultat_Attendu | Le résultat final correspond-il à vos attentes? (conformément à l'étude théorique) | <input type="checkbox"/> Pas du tout satisfait <input type="checkbox"/> Moyennement satisfait <input type="checkbox"/> Assez satisfait <input type="checkbox"/> Bien satisfait <input type="checkbox"/> Entièrement satisfait |
|------------------|---|---|

Tableau 6.5: Satisfaction de l'étudiant du résultat donné par le logiciel FAO

La satisfaction sera fonction du pourcentage de la conformité du résultat donné par le logiciel par rapport à l'étude théorique établie auparavant par l'étudiant.

Cette question mesure aussi la satisfaction de l'étudiant vis-à-vis du logiciel FAO.

X2 = connaissances préalables en informatique et infographie :

Modalité1 : Connaissances basiques :

| | | |
|----------------|---|--|
| Info_college | Pendant vos études au collège ou au secondaire, avez-vous été initié à l'informatique ? | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non |
| O.bureau_navig | Avec quels outils, étiez-vous familiarisé(e) ? | <input type="checkbox"/> Word <input type="checkbox"/> autre: <input type="checkbox"/> Excel <input type="checkbox"/> autre : <input type="checkbox"/> InternetExplorer <input type="checkbox"/> Mozilla <input type="checkbox"/> autre |

Modalité2 : Connaissance intermédiaire :

| | | |
|---------------|---|---|
| Lang_prog | Quel Langage de programmation maîtrisez -vous ? | <input type="checkbox"/> Basic <input type="checkbox"/> PASCAL <input type="checkbox"/> FORTRAN <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> C++ <input type="checkbox"/> VISUAL BASIC |
| Util_internet | Fréquence d'utilisation de l'Internet ? | Jamais <input type="checkbox"/> Parfois <input type="checkbox"/> Souvent <input type="checkbox"/> Très souvent <input type="checkbox"/> |

Modalité3 : Connaissance spécialisé

| | | |
|---------|--|--|
| Log_CAO | Quels logiciels de CAO manipulez-vous avec aisance ? | |
| Log_FAO | Quels logiciels de FAO manipulez-vous avec aisance ? | |

Tableau 6. 6: Connaissances préalables en informatique et infographie

X1 = profil du sujet:

Modalité1 : Genre

| | | |
|-------|--|----------------------|
| Genre | Quel est votre genre (masculin ou féminin) ? | Masculin=1 Féminin=2 |
|-------|--|----------------------|

Modalité2 : Situation sociale

| | | |
|--------|--|---------------------------------|
| Langue | Quelle 2eme langue maîtrisez vous ? | Français=1 Anglais=2 Espagnol=3 |
| Frères | vous avez combien de frères et soeurs? | 0 1 2 3 4 5 6 7 |

Tableau 6. 7: Profil du sujet

6.5 Description des variables et de leurs modalités

Les variables indépendantes: profil de l'étudiant, le contenu pédagogique et technique, l'ergonomie, l'interaction de l'étudiant avec le logiciel, et la variable dépendante qui sont liées à l'efficacité des logiciels de FAO sont décrites dans l'annexe 1. Les réponses aux questionnaires ont été traitées et analysées à l'aide du logiciel statistique Sphinx. Ce logiciel est un programme complet d'analyse de données facile à utiliser et qui peut être utilisé pour un traitement quantitatif des données.

Le cadre théorique nous a permis d'identifier les principaux facteurs d'évaluation du logiciel ainsi que leurs items à savoir :

- Le facteur relatif aux caractéristiques intrinsèques à l'étudiant et ses items qui sont, le profil social de l'étudiant et ses prérequis.
- Le facteur relatif aux caractéristiques intrinsèques du logiciel et ses items qui sont l'aspect ergonomique et pédagogique.
- Le facteur lié aux caractéristiques intrinsèques à l'interaction étudiant et le logiciel et ses item qui sont la satisfaction de l'étudiant et son efficacité.

Cependant on doit conduire une analyse exploratoire pour déterminer que le constat de la catégorisation déduit du cadre théorique est validé par les résultats du traitement statistique que nous avons élaboré, ainsi que les éléments de chaque groupe d'item qui a permis de décrire le facteur qui lui est associé est acceptable. L'analyse confirmatoire a ensuite été menée dans le but de confirmer la fiabilité de chaque groupe d'item vis-à-vis du facteur qu'il décrit, elle permet de déterminer le degré de cohérence des items et leur degré de précision dans la description du facteur auquel ils sont associés.

6.6 Analyse exploratoire :

Nous explorons tout d'abord, les différentes relations directes entre les différents items et l'efficacité des logiciels de FAO, comme illustré par la figure 6.1. Nous avons principalement utilisé l'analyse factorielle.

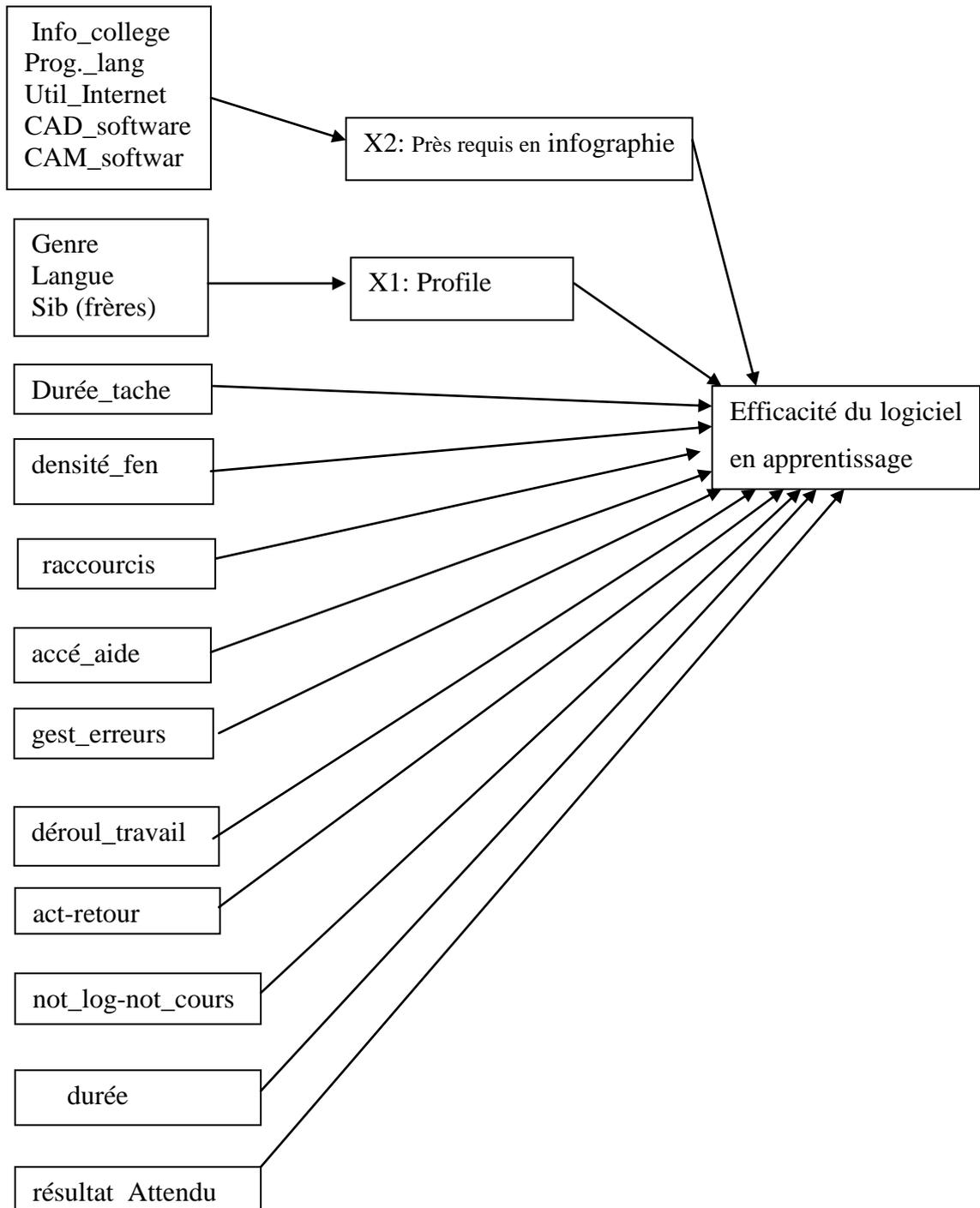


Figure 6.1: Relations des items avec la variable dépendante

L'objectif principal de l'analyse factorielle est de procéder à une analyse multivariée qui tente d'identifier les « facteurs » sous-jacents qui sont responsables de la co-variation entre groupes de variables indépendantes. L'analyse factorielle exploratoire examine les degrés de corrélation de variables pour essayer d'atteindre le meilleur modèle. Cela implique généralement de mettre les variables dans un modèle qui les regroupe (figure 6.2).

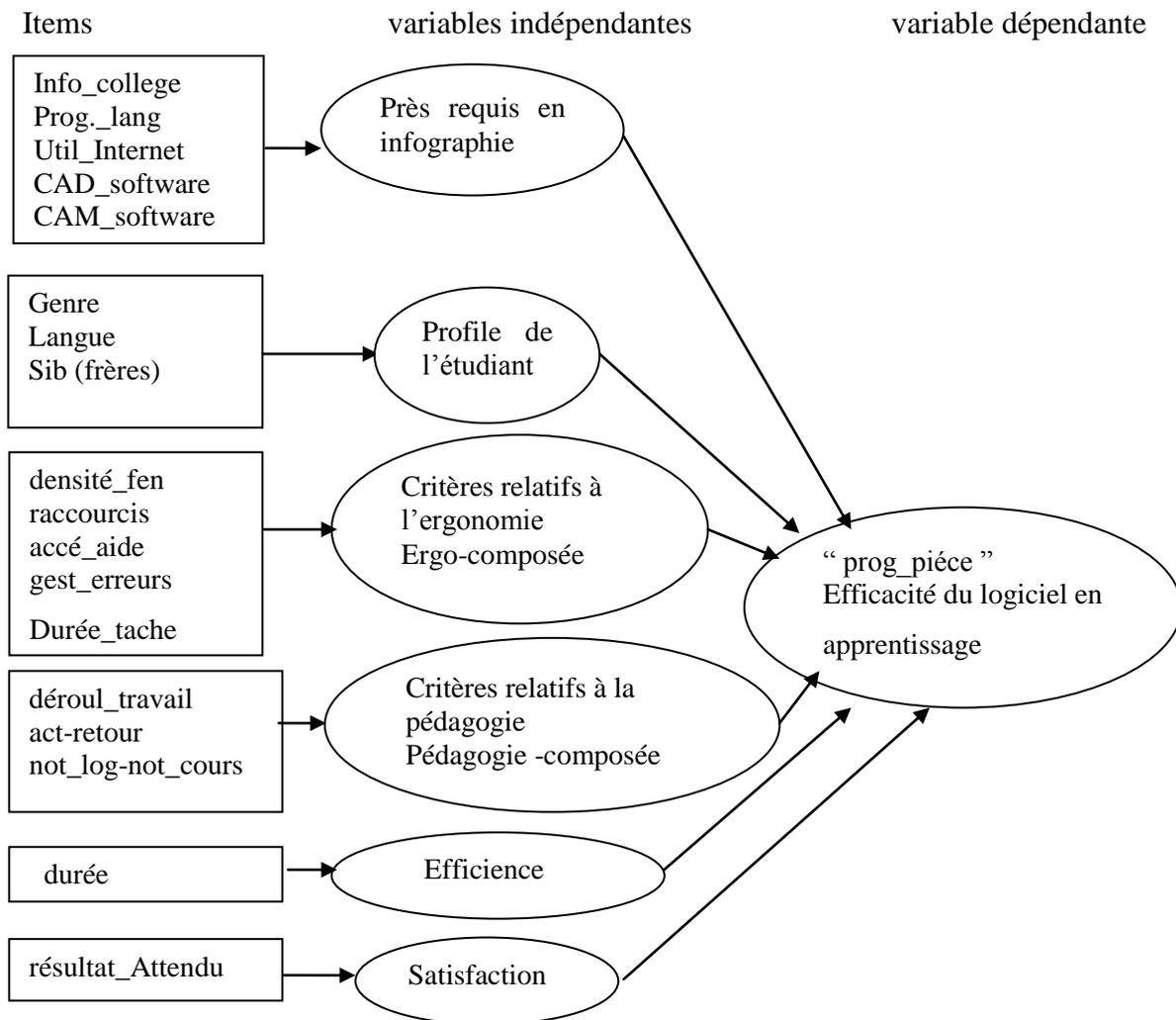


Figure 6.2: Groupe des différents items liés aux variables indépendantes

Les degrés de corrélation entre les différentes variables générés par le logiciel statistique, sont présentés dans le tableau 6.8.

Dès lors que des variables constituent des sortes de « nouvelles » variables synthétiques, on peut examiner la relation entre celle-ci et la variable synthétique. Plus cette relation est forte, plus la variable synthétique est « expliquée » par les variables composantes. Cette relation, qui peut s'exprimer par un chiffre variant de -1 à +1 s'appelle la « **saturation** » (loading factor) de la variable sur le facteur. La saturation est la corrélation entre la variable et

le facteur (dimension hypothétique) : cela désigne les variables qui ont le plus participé à la constitution du facteur. Typiquement, on considère qu'une variable n'est associée à un facteur que si sa saturation dépasse 0,30 en valeur absolue. Pour interpréter un facteur, on recherche effectivement les items qui ont les saturations les plus élevées en valeur absolue. Lorsque l'on peut « opposer » des items par le signe (l'un à une forte saturation positive et l'autre une forte saturation négative) cela facilite l'interprétation car on peut plus facilement déterminer la dimension qui organise le facteur.

| | Efficacité | densité_fen | raccourcis | accé_aide | gest_erreurs | Durée_tache | déroul_travail | act-retour | not_log-not_cours | efficience | Satiffaction |
|-------------------|------------|-------------|------------|-----------|--------------|-------------|----------------|------------|-------------------|------------|--------------|
| Efficacité | 1.00 | | | | | | | | | | |
| densité_fen | 0.81 | 1.00 | | | | | | | | | |
| raccourcis | 0.37 | 0.47 | 1.00 | | | | | | | | |
| accé_aide | 0.36 | 0.20 | 0.07 | 1.00 | | | | | | | |
| gest_erreurs | 0.48 | 0.44 | 0.20 | 0.34 | 1.00 | | | | | | |
| Durée_tache | 0.51 | 0.62 | 0.47 | 0.23 | 0.27 | 1.00 | | | | | |
| déroul_travail | 0.73 | 0.71 | 0.47 | 0.29 | 0.39 | 0.54 | 1.00 | | | | |
| act-retour | 0.64 | 0.60 | 0.26 | 0.16 | 0.31 | 0.26 | 0.61 | 1.00 | | | |
| not_log-not_cours | 0.74 | 0.70 | 0.35 | 0.38 | 0.52 | 0.39 | 0.60 | 0.46 | 1.00 | | |
| efficience | 0.84 | 0.83 | 0.45 | 0.31 | 0.54 | 0.54 | 0.74 | 0.70 | 0.74 | 1.00 | |
| Satiffaction | 0.81 | 0.70 | 0.45 | 0.20 | 0.37 | 0.38 | 0.55 | 0.59 | 0.68 | 0.75 | 1.00 |

Tableau 6.8: Coefficient de saturation les items et l'efficacité

Tous les coefficients de saturation des variables (densité d'affichage, raccourcis, accès à l'aide, gestion des erreurs, délais de réponse à une tâche, séquencement des étapes, action retour, notation cours/logiciel, efficience, satisfaction), représentés sur le tableau 6.8, sont supérieures à 0.3, ce qui représente la bonne signification de la validité du modèle.

La validité d'apparence ou « Face validity » est la validité perçue par les experts et/ou les sujets qui est un jugement subjectif sur l'impression générale laissée par le questionnaire, et ainsi la compréhension des items relatifs aux modalités de réponse, domaines explorés. Ce jugement de valeur est insuffisant mais parfois déterminant dans le choix d'une échelle a été validé par le NGW (Nominal Group of Work) constitué par des professeurs expérimentés ainsi que des étudiants de la filière; ceci étant un jugement qualitatif sur la validité du questionnaire. Les principaux résultats peuvent être résumés comme suit :

Les 10 variables expliquent 85,1% de la variance de l'efficacité;

Le coefficient de corrélation multiple est $R = 0,92$.

Le coefficient alpha (aussi connu comme "l'alpha de Cronbach") est considéré comme le coefficient de fiabilité le plus largement utilisé. Il fournit une estimation de fiabilité basée sur la co-variation entre les items d'un facteur; par conséquent, il est aussi appelé un coefficient de cohérence interne. (Shavelson, 2004). Le coefficient Cronbach des critères explicatifs est 0,89 cela donne le niveau de cohérence interne du modèle ainsi que le degré de fiabilité de l'échelle utilisée, ce qui confirme une bonne cohérence de notre modèle.

Le deuxième but d'une analyse des facteurs est généralement de réduire le nombre de variables utilisées pour expliquer une relation ou de déterminer quelles sont les items qui contribuent le plus à la variance d'un facteur comme représenté sur la figure 6.2.

La variable "ergo_composée" est obtenue par combinaison des variables relatives à l'ergonomie « densité d'affichage, raccourcis, accès à l'aide, gestion des erreurs, délais de réponse à une tâche ». La nouvelle variable obtenue a été re-codée comme une variable d'échelle à trois niveaux: «peu ergonomique»; «moyenne ergonomique» et «ergonomique».

La variable "pédagogie et contenu technique" est obtenue par combinaison des variables relatives au contenu pédagogique et technique tel que mentionné dans la figure 6.2 "sequencement des étapes, action retour, notation cours/logiciel ". la nouvelle variable obtenue a été re-codée comme une variable d'échelle à trois niveaux: «pas du tout»; «presque» et «tout à fait».

La variable "efficacité" représentant la durée pour effectuer le travail est codée sur une échelle à trois niveaux « long »; « moyenne » et « court ».

La variable «satisfaction» de l'étudiant au sujet de son travail; est classée sur «fortement en désaccord », « neutre », « d'accord » et « fortement d'accord ».

La variable dépendante « prog_pièce » représente l'efficacité d'apprentissage car elle reflète le résultat final, elle est évaluée sur une échelle à trois niveaux "pas du tout"; "presque"; "tout à fait".

6.7 Analyse de la fiabilité des facteurs :

Fiabilité du facteur "Ergo_composée":

Le coefficient de saturation représente la corrélation entre les items et le facteur « ergo_composée », facteur déterminé à partir de l'analyse des données du tableau 6.9.

| | Ergo_composé | densité_fen | raccourcis | accé_aide | gest_erreurs | Durée_tache |
|--------------|--------------|-------------|------------|-----------|--------------|-------------|
| Ergo_composé | 1.00 | | | | | |
| densité_fen | 0.84 | 1.00 | | | | |
| raccourcis | 0.34 | 0.47 | 1.00 | | | |
| accé_aide | 0.28 | 0.2 | 0.07 | 1.00 | | |
| gest_erreurs | 0.50 | 0.44 | 0.20 | 0.34 | 1.00 | |
| Durée_tache | 0.40 | 0.62 | 0.47 | 0.23 | 0.27 | 1.00 |

Tableau 6.9: Matrice des intercorrelation relatif à la variable "Ergo_composed"

Le coefficient de Alpha de Cronbach des items : 0,71

Le pourcentage de la Variance expliquée du facteur "ergo_composée" par ses items est 75.3%

Le Coefficient de corrélation Multiple: R = 0,87

Les resultats confirment la fiabilité et la validité du facteur "ergo_composée" décrit par les items : « densité d'affichage, raccourcis, , gestion des erreurs, délais de réponse à une tâche » excepté l'item " accès à l'aide " qui a un coefficient de 0.28 qui est Presque égal à 0.3.

La fiabilité du facteur " pédagogie et contenu technique " :

Le coefficient de saturation représentant la corrélation entre les items et le facteur "pédagogie et contenu technique". Les résultats obtenus sont ~~facteur~~ déterminés à partir de l'analyse des données du tableau 6.10

| | Pédagogie et contenu technique | déroul_travail | act-retour | not_log-not_cours |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------|------------|-------------------|
| Pédagogie et contenu technique | 1.00 | | | |
| déroul_travail | 0.85 | 1.00 | | |
| act-retour | 0.65 | 0.62 | 1.00 | |
| not_log-not_cours | 0.62 | 0.65 | 0.48 | 1.00 |

Tableau 6.10: Matrice des intercorrelations relative à la variable «pédagogie et contenu technique»

Le coefficient de Alpha de Cronbach des items : 0,79

Le pourcentage de la Variance expliquée du facteur " pédagogie et contenu technique " par les items: 75%

Le Coefficient de corrélation Multiple: R = 0,87

Les resultats confirment la fiabilité et la validité du facteur “ pédagogie et contenu technique ” par les items : séquencement des étapes, action retour, notation cours/logiciel, La fiabilité du facteur “efficacité “ :

Le coefficient de saturation qui représente la corrélation entre les items et le facteur “efficacité “ facteur déterminé à partir de l’analyse des données du tableau 6.11

| | Efficacité | Efficience | Satisfaction | Ergo_composé | Pédagogie et contenu technique |
|--------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| Efficacité | 1.00 | | | | |
| Efficience | 0.84 | 1.00 | | | |
| Satiffaction | 0.82 | 0.75 | 1.00 | | |
| Ergo_composé | 0.78 | 0.75 | 0.74 | 1.00 | |
| Pédagogie et contenu technique | 0.80 | 0.75 | 0.65 | 0.58 | 1.00 |

Tableau 6.11: Matrice des intercorrelations relatives à la variable “efficacité“

Le coefficient de Alpha de Cronbach des items: 0,92

Le pourcentage de la Variance expliquée du facteur “ efficacité ” par les items est de 84.4%

Le Coefficient de corrélation Multiple = 0,92

Ainsi, à partir de ces resultats nous pouvons affirmer la fiabilité et la validité de la description du facteur “ efficacité “ variable dependente par les quatre variables independentes: “ergo_composée ”,“ pédagogie et contenu technique ”, “efficience” et “satisfaction”.

L’étude exploratoire et confirmatoire montrent que la description des facteurs déduits du cadre théorique sont bien décrits par les items qui leurs sont associés dans le questionnaire et nous pouvons ainsi conduire notre étude de cas sur la base du questionnaire qui a été établi.

Nous présentons, dans la suite, les résultats des réponses aux questionnaires soumis à nos échantillons representatifs.

6.8 Statistique descriptive :

L’efficacité constitue la variable dépendante qui résulte des réponses au questionnaire avec des poucentages satisfaisants.

Variable indépendante : l'efficacité (Y) :

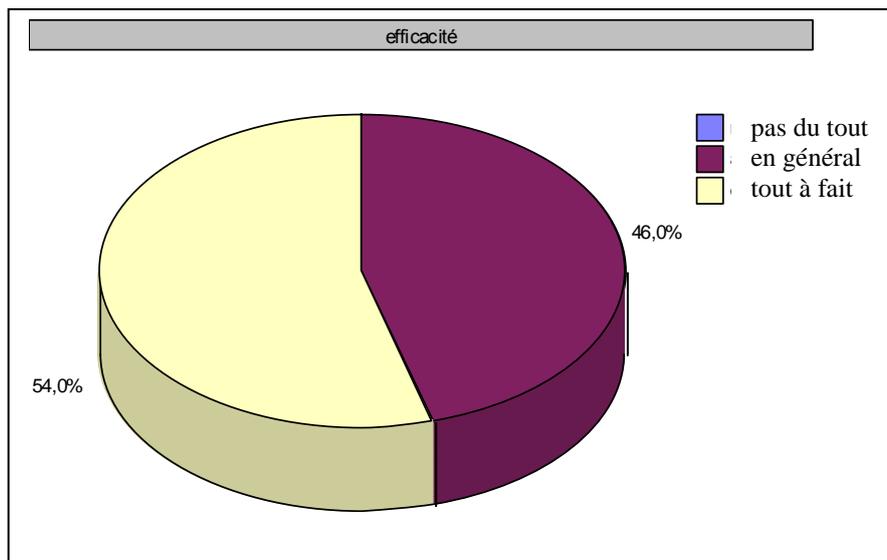


Figure 6.3: Résultat relatif à l'efficacité

Le résultat représenté sur la figure 6.3 montre que 46% des étudiants ont réalisé en général le programme pièce, 54% d'entre eux ont tout à fait réalisé le programme pièce.

La variable *ergonomie_composée* est obtenue par la fusion composée de variables « densité-fenêtre ; raccourcis ; accé_aide ; gest_erreurs ; durée_tache » puis un recodage de celle-ci comme variable échelle.

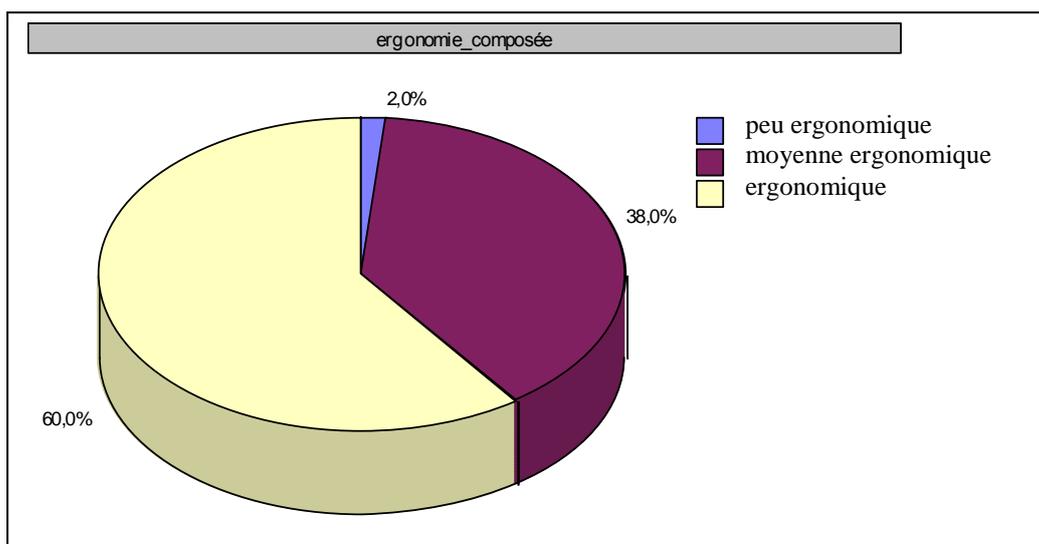


Figure 6.4: Résultat relatif à la qualité ergonomique

D'après le résultat relatif au facteur ergonomique, dépeint sur la figure 6.4, 60 % des étudiants ont jugé le logiciel ergonomique, 38% trouvent le logiciel qu'ils ont utilisé, moyennement ergonomique et 2% ont jugé qu'il était peu ergonomique. Ce résultat va influencer le choix du décideur et de l'équipe pédagogique du fait de la charge cognitive et du temps qui pourra être alloué pour l'enseignement-apprentissage sur ces outils.

La variable pédagogie/contenu est obtenue par la fusion composée de variables « deroul_travail ;act_retour ;not_log-not_cours » et un recodage de celle-ci comme variable échelle.

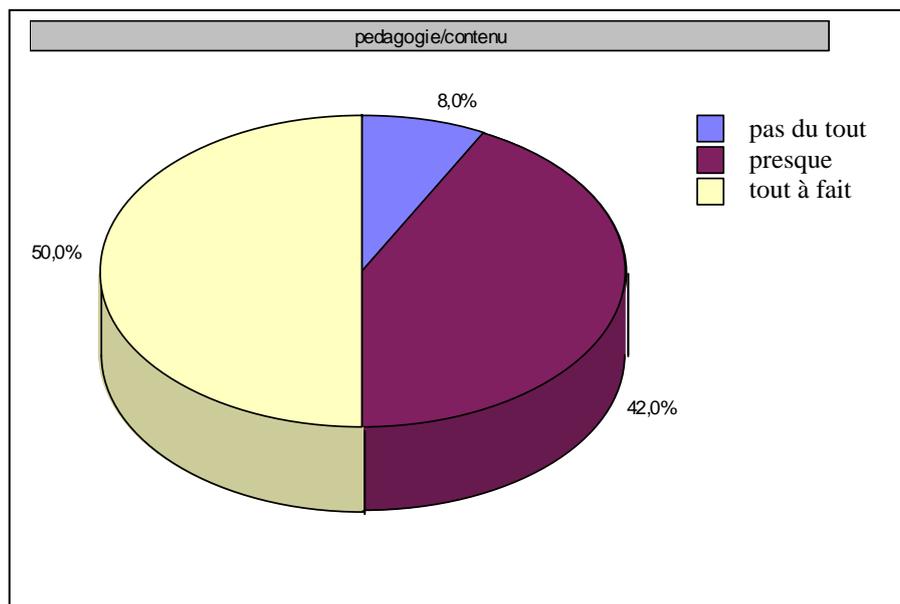


Figure 6.5: Résultat relatif à la qualité pédagogique

Ce résultat est important tant du point de vue de l'étudiant que du professeur ainsi que de l'institution d'enseignement et le service pédagogique qui constituent le pôle de la division de travail d'après le modèle de la théorie de l'activité. Le résultat concernant ce facteur va avoir une influence sur les efforts et les stratégies à mettre en œuvre pour mener à bien l'apprentissage de la FAO ou l'abandon du logiciel au profit d'un autre.

D'après le traitement statistique des données, dont les résultats sont représentés sur la figure 6.5, 50% ont déclaré le logiciel « pédagogique ». C'est-à-dire qu'ils ont pu suivre les étapes d'élaboration du travail effectué avec aisance, 42% jugent qu'il est « assez pédagogique » et 10% qu'il n'était pas du tout « pédagogique » du fait qu'ils ont trouvé des difficultés dans le cheminement de l'accomplissement de leur travail.

La variable « satisfaction » reflète de la satisfaction l'étudiant concernant le travail qu'il a effectué. Le jugement de satisfaction, bien qu'il puisse paraître subjectif, est important car il

resemble sur le contexte global de l'enseignement-apprentissage. C'est un indicateur porteur d'information et de renseignements pour toutes les composantes du pôle de la division du travail et permet ainsi, avec les autres résultats, de confirmer le jugement global à porter sur un logiciel ou un autre. Les résultats statistiques concernant cet indicateur sont mise en évidence sur la figure 6.6. Ainsi, 50% des étudiants de l'échantillon ont été bien satisfait, 40% ont été assez satisfait avec un total de 90 % qui est un pourcentage signifiant et 10% des étudiants entièrement satisfaits.

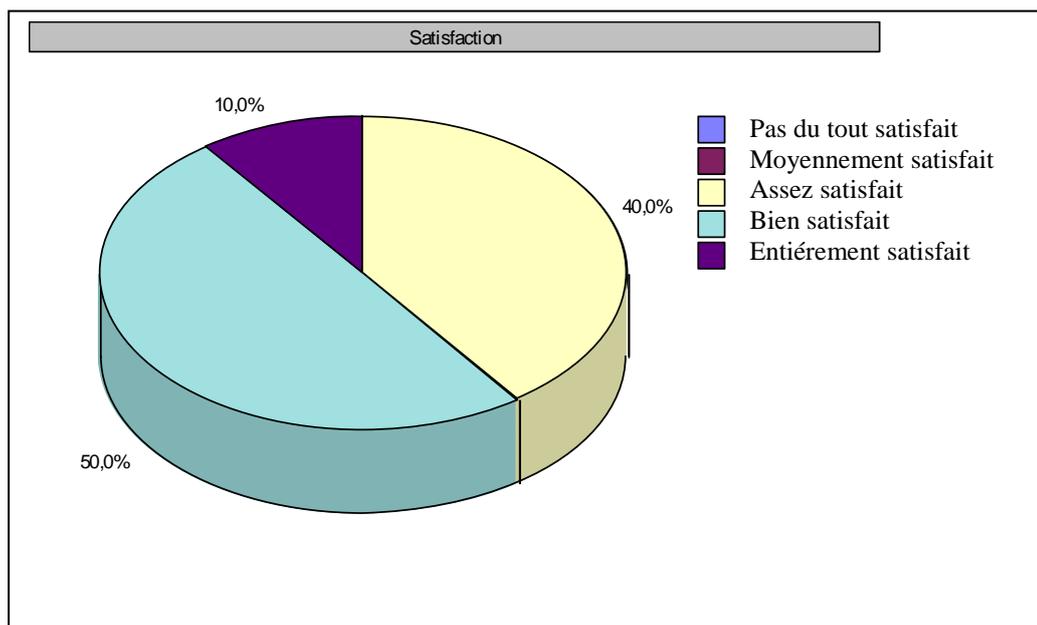


Figure 6.6: Résultat relatif à la satisfaction de l'étudiant

La variable durée de travail étant l'effcience.

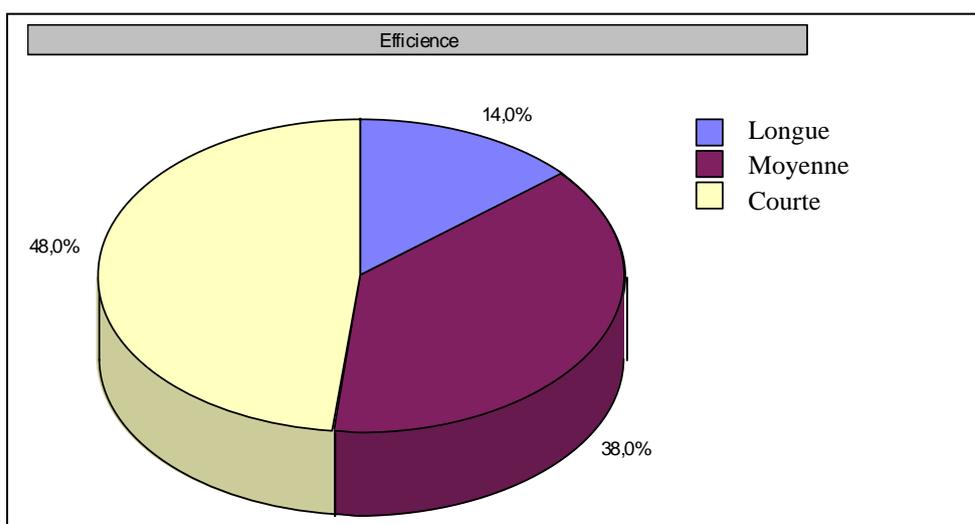


Figure 6.7: Résultat relatif à l'effcience de l'étudiant

Le dernier facteur concerne la performance de l'étudiant vis-à-vis du travail à réaliser sur le logiciel objet de l'évaluation, ce facteur renseignera sur la durée que prend un étudiant dans la mise en œuvre de son activité. Ceci étant important pour juger le temps d'exécution et donc le temps qui sera alloué aux séances d'apprentissage et de l'évaluation des étudiants lors de prochaine séances et contrôles. D'après la figure 6.7, 48% déclarent que la durée d'exécution du travail est courte comparativement aux travaux similaires qu'il ont effectués durant leur formation, 38% ont jugé que la durée moyenne.

6.9 Jugement de l'efficacité du logiciel FAO selon les différents critères

6.9.1 Analyse de partitionnement des données

Nous avons opéré une la classification automatique dans le but de regrouper les individus de la population en classes afin de créer une partition pour porter un jugement sur leurs affinités. Chaque individu se trouve alors dans une seule classe. La partition est l'ensemble des classes. Le traitement de la classification automatique a été effectué à l'aide du logiciel Sphinx, dans le tableau 6.12, nous distinguons à partir des résultats, deux groupes principaux que nous avons nommés respectivement "tout à fait" et «presque».

| | Nombre d'étudiant | % | Intervalle de confiance : |
|----------------------|-------------------|-------|---------------------------|
| Groupe "tout à fait" | 27 | 54,0% | 40,2% < 54,0 < 67,8% |
| Groupe "presque" | 23 | 46,0% | 32,2% < 46,0 < 59,8% |

Tableau 6.12: Distribution statistique des étudiants

Afin d'étudier l'effet des différents critères sur l'efficacité de l'apprentissage de la FAO, nous avons procédé à une série d'analyses, dont les principaux résultats seront développés ci-après.

6.9.2 Jugement de l'efficacité du logiciel FAO selon le premier critère

Nous analysons d'abord l'effet du profil de l'étudiant, et ses pré-requis, sur l'efficacité Y. Les principaux résultats sont résumés dans le tableau 6.13.

| Profil de l'étudiant | Khi 2 | DDL | (1-p)% | Signification statistique |
|----------------------|-------|-----|--------|----------------------------------|
| Genre | 2.58 | 1 | 89.17 | Peu significatif statistiquement |
| Langue | 0.15 | 1 | 30.02 | Non significatif |
| Sib | 5.34 | 6 | 49.91 | Non significatif |
| Pré requis en CAO | 7.15 | 3 | 93.28 | Peu significatif statistiquement |

Tableau 6.13: Valeurs de Ki^2 et la signification statistique du critère profil lié à l'étudiant sur l'efficacité d'apprentissage de l'étudiant sur un logiciel FAO donné

Nous notons qu'il n'y a pas de dépendance de l'efficacité Y des facteurs pris en compte. Nous pouvons noter en particulier la faible corrélation entre les capacités à utiliser des logiciels CAO et les logiciels FAO. Ce constat pourrait s'expliquer par la complexité des environnements de la FAO où il est nécessaire de traiter les données de fabrication tels que le choix des opérations, des outils de coupe et des conditions de coupe, en plus des stratégies d'usinage. La seule contribution que pourrait apporter la connaissance de l'utilisation de logiciels de CAO dans l'apprentissage des logiciels de FAO est celle liée aux interfaces d'utilisation et des menus. La faible significativité liée à ce critère peut être due à l'effectif de l'échantillon et aussi au facteur du milieu socio professionnel des parents et à la provenance des étudiants, ce facteur est non pris en compte dans notre étude.

6.9.3 Jugement de l'efficacité du logiciel FAO selon deuxième ; troisième, quatrième et cinquième critères

Dans cette partie, nous considérons l'influence des caractéristiques spécifiques du logiciel de FAO sur l'efficacité. Nous avons d'abord présenté dans le tableau 6.14 les résultats du traitement statistique des données recueillies pour les deux groupes d'étudiants considérés.

Le critère ergonomie est obtenu par fusion des facteurs « densité-fenêtre ; raccourcis ; accès aide; gestion des erreurs; délai de réponse à une tâche ». La nouvelle variable obtenue a été recodée comme une variable d'échelle.

Le critère Pédagogie est obtenu par fusion des facteurs « séquencement des étapes, action retour, notation cours/logiciel ». La nouvelle variable obtenue a été recodée comme une variable d'échelle. Dans la suite, nous vérifions l'hypothèse de la dépendance et de la contribution de chaque critère lié au logiciel de FAO utilisé.

| Type de groupe | 'presque' | | 'tout à fait' | | T-Student |
|----------------|-----------|------------|---------------|------------|---------------------------|
| | moyenne | Ecart-type | moyenne | Ecart-type | |
| Ergonomie | 2.13 | 0.46 | 2.96 | 0.49 | t = 8,31, 1-p = > 99.99% |
| Pédagogie | 1.87 | 0.34 | 2.89 | 0.42 | t = 9,58, 1-p = > 99.99% |
| Efficience | 1.7 | 0.47 | 2.89 | 0.32 | t = 10,52, 1-p = > 99.99% |
| Satisfaction | 3.13 | 0.34 | 4.19 | 0.40 | t = 10,28, 1-p = > 99.99% |

Tableau 6.14: Les moyennes et les écart-type des deux groupes relatifs aux critères liés au logiciel

Nous vérifions tout d'abord si les deux groupes d'étudiants sont vraiment différents pour pouvoir faire un jugement à partir des résultats de leur moyenne. L'hypothèse de l'égalité de l'écart type des variables « Ergonomie », « pédagogie », « efficience » et « satisfaction » pour les deux groupes d'étudiants est vérifiée selon le test de Student. Comme mentionné au tableau 4, les valeurs des moyennes des deux groupes sont différentes, on peut alors rejeter l'hypothèse stipulant l'égalité des moyennes et par conséquent nous pouvons les considérer comme différentes. Nous pourrions alors évaluer les performances du logiciel de FAO par ces variables en comparant les moyennes des deux groupes, comme résumé dans le tableau 6.15.

| | Moyenne du groupe : 'presque' | Moyenne du groupe : "tout à fait" | Signification statistique de la différence entre les deux groupes |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| Ergonomie | 2.13 | 2.96 | La différence est statistiquement significative |
| pédagogie | 1.87 | 2.89 | La différence est statistiquement significative |
| Efficience | 1.7 | 2.89 | La différence est statistiquement significative |
| Satisfaction | 3.13 | 4.19 | La différence est statistiquement significative |

Tableau 6.15: Valeurs des moyennes des deux groupes d'étudiants

L'analyse de ces données pour les 4 variables révèle que le groupe de 'tout à fait' qui représente 54% de l'échantillon avait des moyennes élevées (2,96 / 2,89 / 2,89 / 4,19) pour les variables (ergonomie, pédagogie, efficacité et la satisfaction), en comparaison avec le groupe "presque". Selon le test de Student [(t = 8, 31, 1-p => 99,99%), (t = 9,58, p = 1 > 99,99%), (t =

10, 52, 1-p => 99,99%), (t = 10,28, 1-p => 99,99%)], nous pouvons affirmer que la différence entre les deux groupes est donc statistiquement significative.

Un autre moyen de vérifier l'indépendance des deux groupes est le calcul de l'effet de taille « size effect » par la détermination du coefficient Cohen-d. Cohen propose d'appeler "faible" un coefficient d de 0,2 ; moyen un effet de coefficient d=0,5; et fort un effet de coefficient d de 0,8 lorsqu'on compare deux groupes.

Résultats du test de student et de Cohen-d

| | T-Student | Cohen's d |
|--------------|--------------------------|-----------|
| Ergonomied | t = 8,31, 1-p = > 99.99% | 1.74 |
| Pedagogie | t = 9,58, 1-p = > 99.99% | 2.66 |
| Efficiency | t =10,52, 1-p = > 99.99% | 2.96 |
| Satisfaction | t = 10,28, 1-p = >99.99% | 2.85 |

Tableau 6.16: Résultats du test de student et de Cohen-d

Dans le tableau 6.16 les coefficients *d* de Cohen, dont les détails des interprétations sont donnée à l'annexe 6, sont largement supérieur à 0.8. Cette situation confirme la nette différence entre les deux groupe 'presque' et tout à fait' et confirme cette différence n'est pas due au hasard ; ceci permet de bâtir notre évaluation sur les facteurs et les items prédéfinis.

Afin de déterminer la relation entre l'efficacité et les autres facteurs nous avons procédé à l'analyse de régression multiple illustrée à la figure 6.8.

6.9.4 Analyse de régression multiple des critères liés au logiciel et l'efficacité de l'apprentissage des étudiants

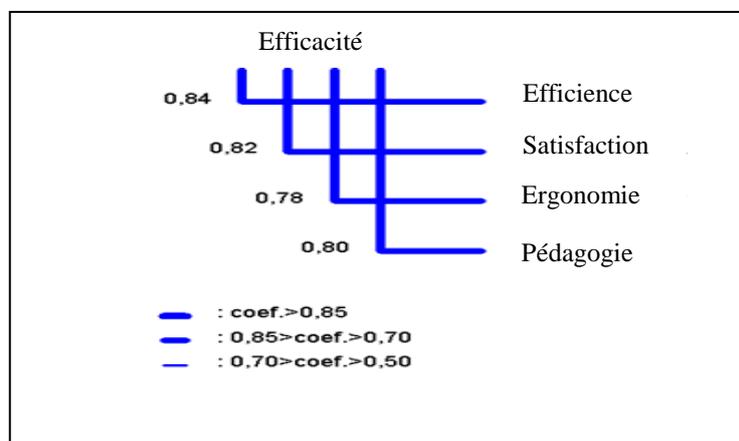


Figure 6.8: Graphe de dépendance entre l'efficacité de l'apprentissage des étudiants et les critères liés au logiciel

L'équation de régression linéaire entre l'efficacité de l'étudiant et les critères liés au logiciel peut être présentée sous la forme suivante:

prog_pièce (efficacité de l'étudiant) $Y = 0,937 * X6$ (efficience) $1,314 * X7$ (satisfaction) $1,205 * X4$ (ergonomie) $1,529 * X5$ (pédagogie) $1,377$.

Les résultats, que nous présentons sur la figure 6.8. montrent que les quatre variables expliquent 84,4% de la variance de la variable Y. Le coefficient de corrélation multiple est de 0,92. Le fait que les quatre variables expliquent 84,4% de la variance de la variable « efficacité » nous renseigne qu'il existe une bonne corrélation entre les facteurs que nous avons déterminé, on peut donc dire que les variables décrivent bien l'efficacité, et de ce fait on peut se fier au questionnaire pour porter notre jugement sur le logiciel objet de notre évaluation.

Récapitulatif des résultats après le traitement statistique du questionnaire

Les résultats présentés dans la figure 6.9 ci-dessous montre les résultats du questionnaire basé sur le cadre théorique de la TA, en tenant compte des facteurs qui sont, l'ergonomie du logiciel de FAO, l'aspect pédagogique, le profil de l'étudiant, pré-requis, l'efficience et la satisfaction des étudiants. On constate que les variables pédagogie/contenu, efficience et satisfaction, ont une influence importante sur l'efficacité en raison de leur coefficient de corrélation (0,8; 0,84; 0,82); l'ergonomie a un coefficient de corrélation de (0,78). Il est noter que l'adéquation du logiciel avec les aspects pédagogiques ont plus d'importance, ceci exige de l'enseignant d'avoir de bonnes compétences dans la préparation de scénario.

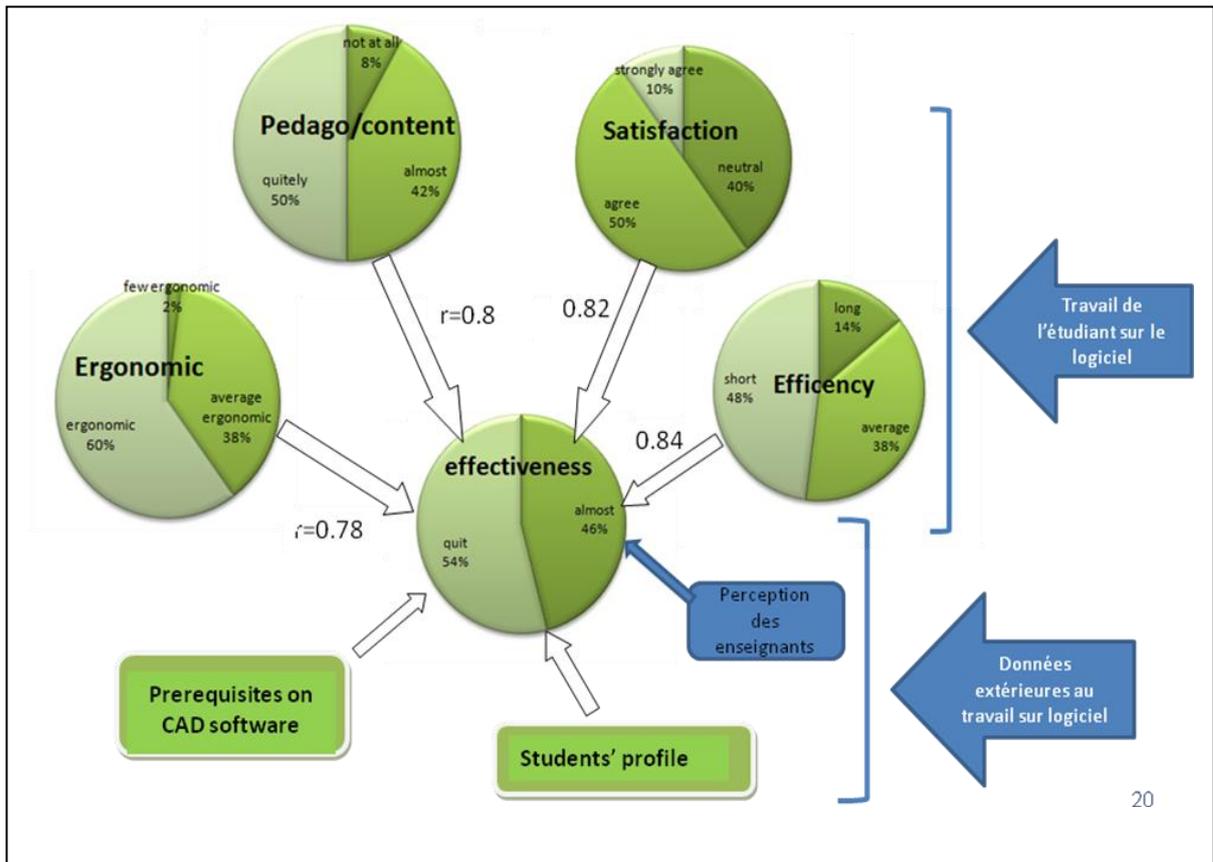


Figure 6.9: Récapitulatif des résultats après le traitement statistique du questionnaire

6.9.5 Analyse en composantes principales (ACP)

Enfin, pour avoir une vue claire de la relation entre les groupes d'étudiants et les performances du logiciel de FAO, nous effectuons une analyse en composantes principales (ACP) sur les données du questionnaire en projetant le nuage des étudiants sur le graphe formé par les axes principaux.

Comme le montre la figure 6.10, le premier axe représente 79,84% de l'inertie totale. L'axe 2 représente 8,79% de l'inertie, ceci montre le taux d'inertie expliqué par l'ACP qui est de 88,63 %, ce qui n'est pas négligeable et qui est un résultat très significatif.

Les critères : pédagogie , l'ergonomie, la satisfaction, l'efficience et l'efficacité s'affichent à proximité du bord du cercle de corrélation, cela indique la bonne représentation de la qualité des différents critères sur le graphique que nous interprétons comme suit:

Axe 1:

L'efficacité et l'efficience contribuent le plus à l'axe 1 parce que leurs coordonnées sont à proximité de cet axe comme indiqué dans le tableau 6.17 et la figure 6.10. À propos des individus, l'axe 1 oppose 24 étudiants qui considèrent le logiciel utilisé efficace à l'apprentissage à ceux, 19 étudiants qui ont constaté qu'il est moins efficace. Axe 1, est donc la première composante principale qui explique correctement l'efficacité du logiciel de FAO en matière d'éducation, et permet de mesurer l'efficacité des étudiants en utilisant un tel logiciel dans l'apprentissage de FAO.

Axe 2:

Pour le deuxième axe, nous constatons que la pédagogie et contenu y contribuent de façon positive, comme indiqué dans le tableau 6.17, à l'opposé de la pédagogie, la satisfaction et l'ergonomie sont proches et contribuent négativement. Ceci peut être interprétée par le fait que les étudiants qui sont satisfaits considèrent le logiciel ergonomique. En général le nuage des étudiants est centré au dessus des critères « pédagogie , la satisfaction, l'ergonomie et l'efficience ».

| | Axe 1 (+79.84%) | Axe 2 (+8.79%) |
|----------------------------|---|--|
| CONTRIBUTIONS POSITIVES | Efficacité +22,0% Efficience +21,0% | Pedagogie +55,0% |
| CONTRIBUTIONS NEGATIVES | | Ergonomie -35,0% Satisfaction -8,0% |

Tableau 6.17: Contribution des critères étudiés aux axes 1 et 2

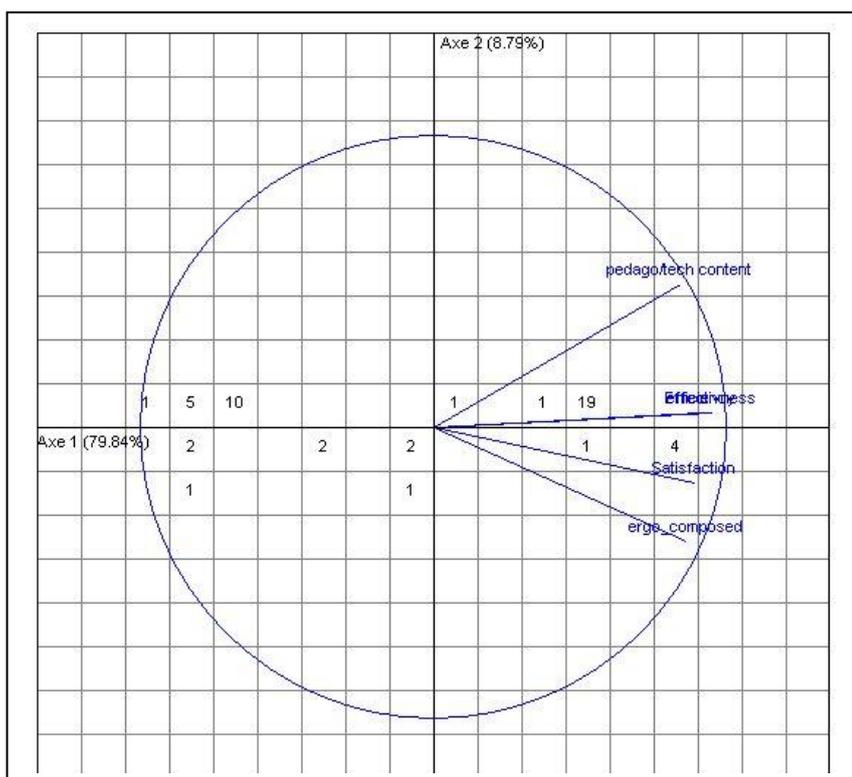


Figure 6. 10: Graphe ACP de la combinaison des étudiants par rapport aux critères liés au logiciel

Les quatre critères décrivent ainsi l'efficacité en raison de la valeur de l'indice de Cronbach qui est égal à 0,9. Cette valeur prouve l'homogénéité et la cohérence interne des quatre critères qui est tout à fait satisfaisant pour la détermination de l'efficacité d'apprentissage de la FAO. Pour notre cas d'étude, ce logiciel peut être adopté avec une assez bonne approximation.

6.10 Rôle du professeur dans le contexte globale d'enseignement de la FAO

À partir des agents de médiation, nous distinguons l'enseignant et son rôle principal en tant que vecteur véhiculant des connaissances relatives au logiciel FAO à travers un scénario d'apprentissage. La capacité de l'enseignant porte sur l'intégration de l'outil informatique appliqué au domaine technique concomitante à l'intégration des données de fabrication et des méthodes pédagogiques relatives au domaine de l'éducation.

Harris et al. (2009) suggèrent que le modèle TPCK (Technological Pedagogical Content Knowledge) met l'accent sur les liens entre les technologies, les contenus à enseigner et les approches pédagogiques spécifiques, démontrant comment les compréhensions de la technologie, de la pédagogie et du contenu d'enseignement peuvent interagir les uns avec les

autres pour que l'enseignant puisse produire un enseignement efficace. Le modèle TPCK est un modèle de technologie éducative pour décrire les connaissances à acquérir par un enseignant pour intégrer les nouvelles technologies dans les pratiques éducatives.

Ce modèle, développé par Koehler & Mishra (2008) a été inspiré du modèle PCK (Pedagogical Content Knowledge) qui est basé sur le concept de pédagogie du contenu disciplinaire. Le modèle TPCK ajoute à celui des PCK la dimension technologique et de ce fait décrit l'exploitation optimale de la connaissance technologique dans les pratiques pédagogiques associées au contenu disciplinaire. Il est basé sur trois composantes qui sont : le contenu, la pédagogie et la technologie. Le modèle TPCK met ainsi en évidence les relations qui existent entre ces trois composantes (formant ainsi des composantes dérivées, cf. Figure 5 6.11) et constitue ainsi une base théorique pour l'activité de formation intégrant les TIC telle que les enseignants la mettent en œuvre.

Le modèle TPCK appliqué au cas de l'apprentissage de la FAO

Les différentes composantes de la représentation du modèle TPCK dans l'enseignement de la FAO représenté dans la figure 6.11 peuvent être précisées comme suit :

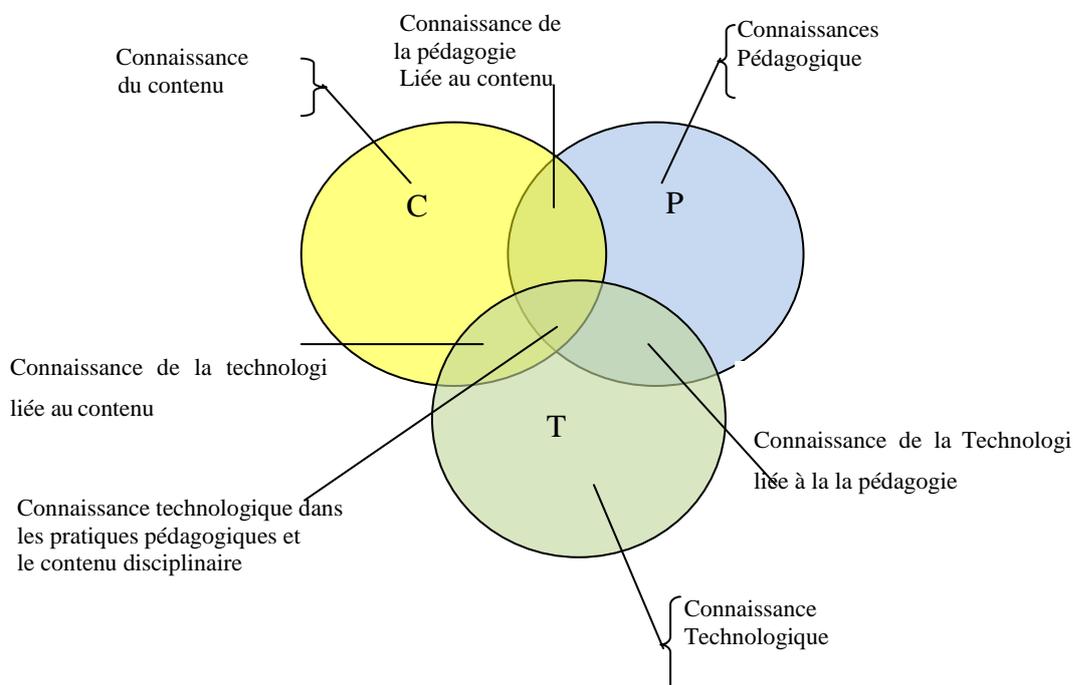


Figure 6.11: Différentes composantes du TPCK

La connaissance technologique (TK) est la connaissance sur la manière d'utiliser le matériel informatique, le logiciel et les périphériques associés. Elle implique également d'autres connaissances spécifiques à la discipline du génie mécanique. Il s'agit notamment de la manière d'effectuer les différentes étapes relatives au choix de la machine, du post-processeur adéquat, de la forme du brut, à l'adaptation des différentes opérations au cas étudié pour générer du code G.

La connaissance pédagogique (PK) est la connaissance relative à l'apprentissage des étudiants, aux stratégies d'enseignement, aux différentes méthodes et d'évaluation. Dans notre cas ces connaissances portent sur la façon d'utiliser les tutoriaux et les documentations tout en se basant sur un modèle d'apprentissage pour l'enseignement de la FAO.

La connaissance du contenu (CK) est la connaissance spécifique à la matière enseignée. Dans notre cas, c'est la connaissance des différents processus d'usinage de la pièce, des outils de coupes disponibles, des conditions de coupe relatives à la matière de la pièce et des outils de coupe choisis.

La connaissance pédagogique du contenu disciplinaire (PCK) implique la connaissance des stratégies d'enseignement qui intègrent des représentations conceptuelles appropriées afin de favoriser de manière significative la compréhension. PCK étant la connaissance des représentations des contenus techniques et les stratégies pédagogiques adoptées pour rendre le contenu spécifique plus compréhensible pour les apprenants. Dans notre cas, c'est l'utilisation de tutorial présenté sous forme de page (polycopie ou écran) pour enseigner les étapes d'élaboration d'un travail à l'aide du logiciel de la FAO avec l'intégration de connaissances liées à la fabrication.

La connaissance de la technologie liée à la pédagogie (TPK) est la connaissance de l'utilisation pédagogique de outils technologiques pour l'apprentissage de la FAO. Elle concerne l'utilisation des TIC comme outils d'apprentissage, l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur.

La connaissance de la Technologie liée au contenu (TCK) est la connaissance sur la façon d'utiliser la technologie pour représenter, rechercher et créer le contenu de différentes manières. C'est la connaissance des différentes possibilités ou des stratégies pour réaliser la pièce et de la manière d'optimiser une stratégie adoptée et procéder à une simulation afin de confirmer les résultats des travaux.

La connaissance des interrelations entre le contenu la pédagogie et la technologie (TPCK) est la connaissance de l'utilisation de diverses technologies pour enseigner, représenter et faciliter la création de connaissances relatives à une discipline spécifique. Dans notre situation, (voir figure 6.12) c'est la connaissance sur la manière d'utiliser le logiciel de FAO, d'intégrer toutes les données de fabrication nécessaires afin d'avoir une stratégie optimisée et de générer le code G de la pièce.

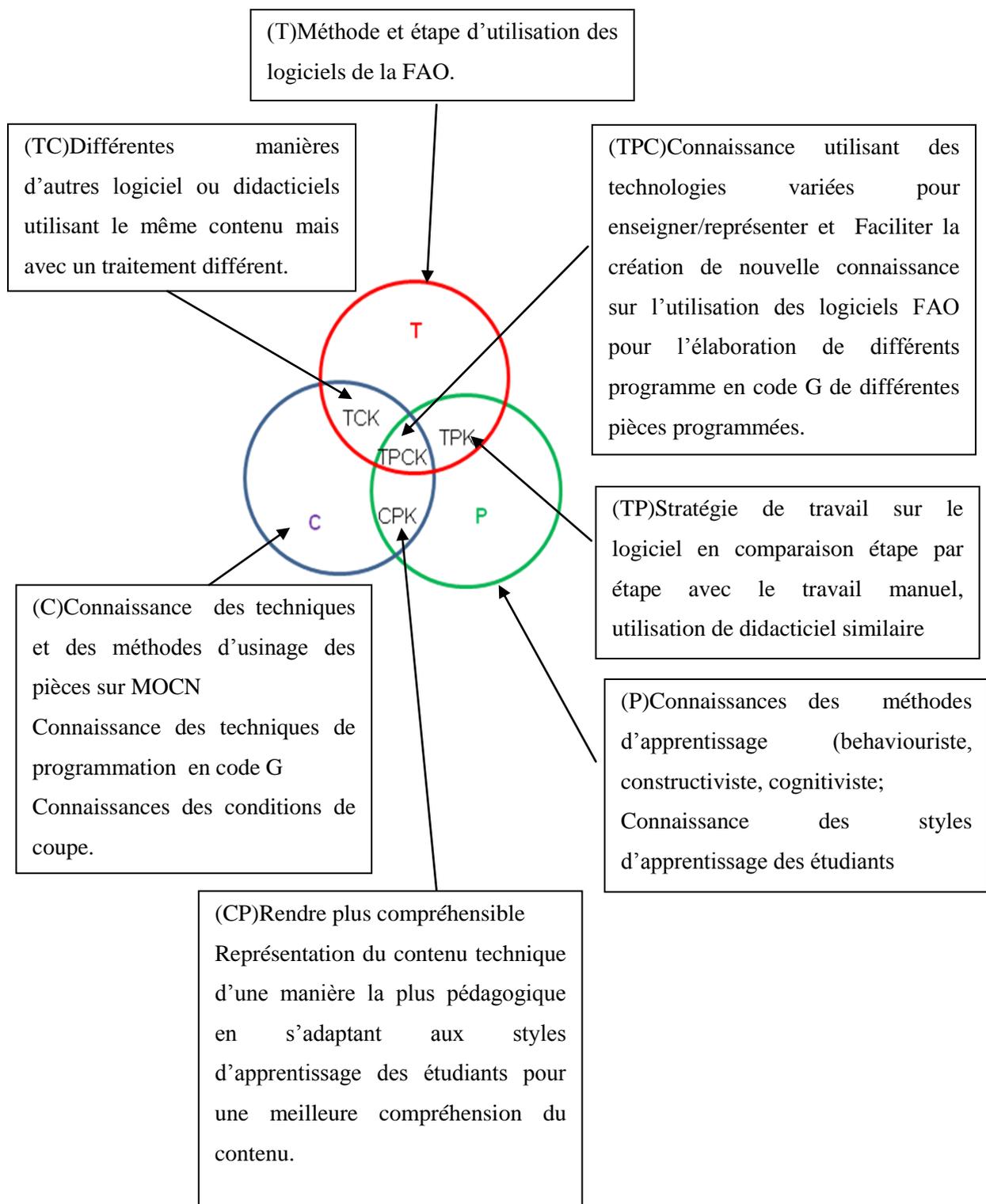


Figure 6.12: Application du modèle TPCCK dans le cas de l'enseignement de la FAO

6.11 Jugement du professeur sur l'efficacité

Un deuxième questionnaire a été établi, avec comme finalité de recueillir la perception des enseignants et formateurs de l'OMS. Les aspects particulièrement visés concernent la progression logique des opérations ainsi que la nécessaire d'assistance durant le travail de l'étudiant. La difficulté majeure que nous avons eu pour l'administration de ce questionnaire à un échantillon représentatif d'enseignants est l'absence de filières similaires à celle des étudiants du premier questionnaire dans d'autres établissements. Nous avons tenté de l'administrer à des enseignants de FAO dans d'autres filières proches de celle que nous avons considéré pour les étudiants sans trouver, au Maroc, des filières répondant à cette exigence. Nous avons donc utilisé le questionnaire à des fins exploratoires pour une groupe de 10 enseignants

Le traitement des résultats de l'enquête auprès des enseignants, dans cette étape exploratoire est développé dans ce qui suit.

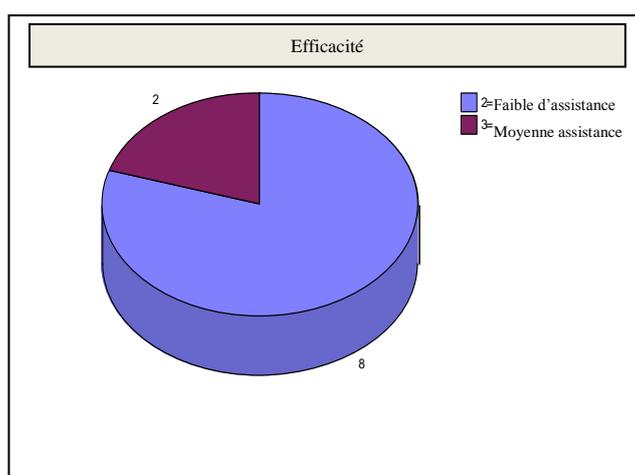


Figure 6.13: Résultat de l'efficacité à travers le degrés d'assistance du professeur

L'efficacité peut être mesurée par le degré d'assistance du professeur à l'étudiant lors du travail sur le logiciel, ce résultat est illustré sur la figure 6.13.

| Assistance(efficacité) | Ind_objec | Progre ss_op | Polyecran | Contenu/o bjec_visé | Perso l ogiciel |
|------------------------|-------------|--------------|-------------|---------------------|-----------------|
| 2=peu d'assistance | 1,25 | 4,88 | 3,00 | 4,38 | 4,13 |
| 3=assistance moyenne | 1,00 | 5,00 | 2,50 | 4,50 | 4,00 |
| TOTAL | 1,20 | 4,90 | 2,90 | 4,40 | 4,10 |

Tableau 6.18: Moyennes des deux catégories d'Assistance (efficacité) pour chacun des critères évalués

Sur un échantillon de 10 professeurs, les valeurs du tableau 6.19 sont les moyennes calculées sans tenir compte des non-réponses. Les noms des critères discriminants sont encadrés. Les nombres encadrés correspondent à des moyennes par catégorie significativement différentes (test t) de l'ensemble de l'échantillon (au risque de 95%).

| Assistance (efficacité)/Poly/écran | assez=2 | assez bien=3 | TOTAL |
|------------------------------------|---------|--------------|-------|
| 2 = peu d'assistance | 0 | 8 | 8 |
| 3 = assistance moyenne | 1 | 1 | 2 |
| TOTAL | 1 | 9 | 10 |

Tableau 6.19: Croisement des variables Assistance (efficacité) x Poly/ecran

Les valeurs du tableau 6.20 sont les nombres de citations de chaque couple de modalités. $\chi^2 = 4,44$, ddl = 1, 1-p = 96,50%. La dépendance est significative.

L'analyse en composantes principales (ACP), représentée sur la figure 6.14. permet de constater une forte corrélation entre les variables « ind_objec ;perso_logiciel ;poly/ecran » avec « faible d'assistance » ceci veut dire que ceux qui ont déclarés qu'ils assistent moins leurs étudiants ont utilisés durant l'apprentissage des documents poly/écran et indiquent clairement les objectifs du travail demandé et peuvent personnaliser ce logiciel ce qui montre une bonne cohérence des résultats.

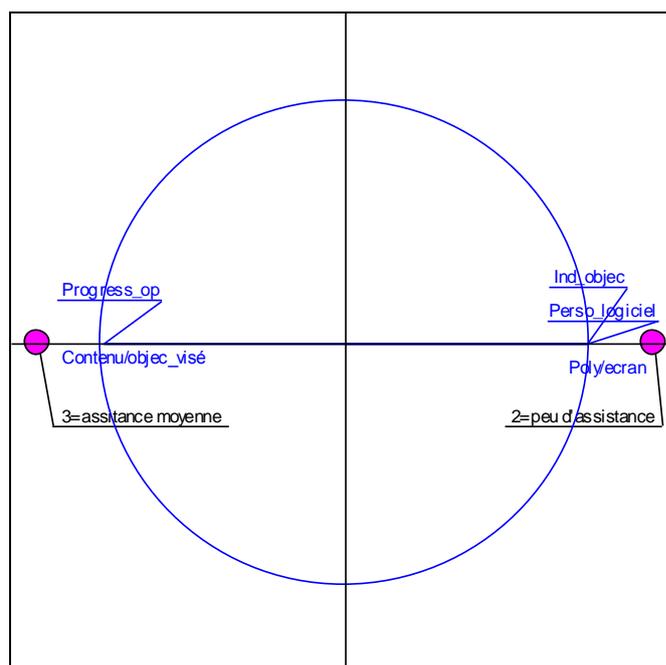


Figure 6.14: Graphe ACP des variables de l'enquête professeur

6.12 Conclusion

L'élaboration du modèle théorique nous a permis de définir les critères pouvant servir à évaluer le logiciel de CFAO que nous avons utilisé dans notre étude. L'administration du questionnaire, issu du modèle établi, a eu pour objet d'analyser la cohérence de notre approche et d'identifier, parmi les critères retenus, ceux qui étaient les plus pertinents.

L'indicateur de performance était défini par un taux de réussite de 90 % du travail exécuté par l'étudiant sur le logiciel. Ceci nous a permis de qualifier la variable dépendante qui permettra de mesurer l'efficacité de l'étudiant.

D'après le cadre théorique exposé dans notre recherche nous avons déduit les différents facteurs qui peuvent influencer la performance de l'étudiant travaillant sur ce type de logiciel ce qui nous a permis de définir les différentes variables indépendantes et de constituer notre hypothèse de départ.

Il a été procédé à l'analyse exploratoire qui est une analyse multivariée pour identifier les «facteurs» sous-jacents qui sont responsables de la co-variation entre groupes de variables indépendantes. Nous avons pu ainsi affirmer notre supposition quant à la catégorisation que nous avons faite auparavant. Ainsi nous avons défini les variables indépendantes influençant l'efficacité de l'apprentissage de la FAO à savoir le profil de l'étudiant, ses prés-requis, l'ergonomie, l'aspect pédagogie, l'efficience et la satisfaction.

Une attention particulière est portée à la validation du questionnaire car pour tout instrument de mesure, les qualités du questionnaire doivent être connues avant de débiter une étude. On ne pourra prendre en compte les données fournies par le questionnaire qu'après avoir vérifié que l'outil choisi mesure bien ce pour quoi il a été construit. En d'autres termes, il s'agit d'apprécier la fiabilité, la validité. Une fiabilité acceptable permet de minimiser ainsi les erreurs aléatoires de mesure et une validité correcte permet de réduire les erreurs systématiques de mesure.

Les résultats confirment la fiabilité et la validité des facteurs, ce qui a été montré notamment par le coefficient de Alpha de Cronbach, le pourcentage de la variance expliquée et par le coefficient de corrélation multiple.

L'échantillon de l'étude est constitué de 50 étudiants. D'après l'indicateur de performance, deux groupes se sont distingués, tel que montré par les résultats de 46% des étudiants qui ont

réalisé "en général" le programme pièce tandis que 54% d'entre eux ont "tout à fait réalisé" le programme pièce, ceci peut être considéré comme un résultat satisfaisant dans le domaine de l'enseignement. Cependant pour confirmer notre jugement à partir de ce résultat nous avons comparé les moyennes des deux groupes, pour ce faire il fallait d'abord affirmer qu'ils sont différents et que ce fait est aléatoire, et nous avons donc vérifié l'hypothèse de l'égalité de l'écart type des variables « Ergonomie », « pédagogie », « efficacité » et « satisfaction » pour les deux groupes d'étudiants. Ceci est vérifiée selon le test de Student et nous avons par conséquent, pu se baser sur les résultats du questionnaire pour prédire de l'efficacité du logiciel dans l'apprentissage de la FAO.

Le traitement des réponses au questionnaire des étudiants a montré l'influence des différents facteurs déduits du cadre théorique de notre recherche qui s'est basé sur la théorie de l'activité. Ces traitements ont montré cependant une faible influence des pré-requis concernant les acquis des étudiants sur les logiciels de CAO, ceci est dû au fait que les méthodes et les procédures de travail ainsi que les données manipulées dans une étude de FAO et ainsi dans la manipulation du logiciel de FAO sont très différentes de celles mises en œuvre en CAO. Ce constat nous a permis de conclure qu'une solution de CFAO intégrée n'est pas primordiale dans le choix d'un logiciel pour l'enseignement-apprentissage de la FAO.

Le profil social n'avait pas une grande influence, ceci est peut être dû au niveau social presque homogène des étudiants de ces filières, cet état mérite d'être étudié d'une manière plus approfondie.

On constate que les variables pédagogie, efficacité et satisfaction, ont une influence importante sur l'efficacité en raison de leur coefficient de corrélation (0,8; 0,84; 0,82); l'ergonomie a un coefficient de corrélation de (0,78). Il est à noter que l'adéquation du logiciel avec les aspects pédagogiques ont plus d'importance, ceci exige de l'enseignant d'avoir de bonnes compétences dans la préparation de scénari. Ce constat est confirmé par l'ACP comme c'était mentionné auparavant dans la partie relative aux résultats du questionnaire administré aux étudiants.

D'autre part les résultats du questionnaire administré à l'échantillon des enseignants, bien qu'il soit de petite taille, révèle que d'après l'analyse en composantes principales (ACP) menée, une forte corrélation entre les variables relatives aux aspects pédagogiques tels que l'indication des objectifs de travail aux étudiants, l'utilisation de tutoriaux sous forme de succession de copie d'écrans. Les membres de ce groupe d'enseignants ont déclaré qu'ils ont

assisté moins leurs étudiants durant leur apprentissage, ce qui montre une bonne cohérence des résultats par rapport au cadre théorique de notre recherche.

Conclusions et perspectives

À l'issue de notre travail, une méthodologie d'évaluation des outils de modélisation et de simulation dans le domaine de l'enseignement de la fabrication mécanique a pu être élaborée. Les points qui ont été abordés sont principalement : le cadre théorique émanant de la théorie de l'activité à travers laquelle nous avons pu déduire les facteurs d'évaluation influençant l'apprentissage et l'enseignement de la FAO. Une revue des méthodes d'évaluation des logiciels nous a permis le choix de la méthode d'évaluation par questionnaires et enfin l'étude exploratoire et confirmatoire ainsi que les différents traitements statistiques des résultats obtenus pour confirmer la fiabilité et la validité de notre méthode.

Le présent travail avait pour but la recherche d'une méthodologie pour l'évaluation des outils de modélisation et de simulation dans le domaine de l'enseignement de la fabrication mécanique au niveau universitaire. L'étude du cadre théorique a permis de lister les principaux courants théoriques de l'enseignement et de l'apprentissage ainsi que les aspects sociologiques pour identifier le modèle le plus adéquat et le plus adapté à notre problématique. Nous avons aussi relevé, dans la littérature, l'absence d'un modèle théorique qui permet de décrire le contexte global de l'enseignement-apprentissage de la simulation dans le milieu universitaire. On ne pouvait faire une prise de décision concernant le choix d'un outil-support pour l'enseignement-apprentissage de la simulation dans le milieu universitaire sans aborder les aspects de la didactique professionnelle liée à ce domaine.

Notre recherche de modèle pour comprendre comment l'étudiant interagit avec l'outil de simulation dans l'objectif de l'appropriation de la connaissance et l'efficacité dans cet apprentissage nous a conduit vers les sciences cognitives et la théorie de l'action. Ces deux voies se sont avérées limitées dans le cas de cette recherche comme nous l'avons montré dans ce travail, car elles ne rendent pas compte du contexte global de l'enseignement-apprentissage de la simulation à savoir le facteur lié à l'enseignant, aux concepteurs des outils de simulation, à l'institution d'enseignement « espace d'apprentissage et d'organisation de la formation »

Notre analyse nous a permis de confirmer les deux points principaux :

1) le premier est que la théorie de l'activité nous a permis de répondre au besoin énoncé auparavant qui est la détermination en premier lieu des facteurs influençant l'enseignement-apprentissage des OMS lié à un environnement plus global à savoir : le type de profil de

l'étudiant, les spécificités du logiciel, la communauté des concepteurs des logiciels de simulation et l'établissement d'enseignement et de formation.

2) le deuxième est de faire une catégorisation des différents facteurs selon leurs aspects techniques, pédagogiques ou sociaux et déterminer les interrelations entre les différents facteurs en vue de déterminer les plus influents.

Après avoir déduit et défini les différents critères d'évaluation de l'efficacité de l'étudiant qui interagit avec l'outil de médiation qui est le logiciel de FAO et après avoir catégorisé ces différents critères, nous avons passer à une revue des moyens et méthode d'évaluation. L'adoption d'un questionnaire comme moyen de recueillir les jugements des étudiants et ceux des professeurs vient du fait que les étudiants et les professeurs en sont les utilisateurs effectifs. L'objectif de cette technique était de recueillir, à l'aide de documents structurés, l'ensemble d'appréciations, de jugements et d'attitudes, des étudiants après qu'il ait interagi avec le système ainsi que ceux des professeurs qui sont difficile à mesurer autrement.

L'étude exploratoire et confirmatoire ont montré que les facteurs déduits du cadre théorique sont bien décrits par les items qui leurs sont associés dans le questionnaire administré aux étudiants de ce fait on a pu conduire notre étude de cas sur la base du questionnaire qu'on a établis. Le traitement des réponses du questionnaire des étudiants a permis d'étudier l'influence des différents facteurs tels que les prés requis, le profil de l'étudiant, les aspects ergonomique, pédagogique, l'efficacité et la satisfaction sur l'efficacité du travail de l'étudiant. Il a été démontré que les aspcts pédagogiques, ainsi que l'ergonomie ont plus d'influence et par consequent ils doivent être examinés avec une attention particulière pour faire un choix à mettre en œuvre dans l'enseignement universitaire.

L'analyse en composantes principales nous a confirmé l'hypothèse de la dépendance de l'efficacité avec les facteurs pris en considération, conduisant à une cartographie claire de cette influence.

Les apports originaux de cette thèse sont de plusieurs ordres. Elle a permis, en premier lieu, d'élaborer un cadre théorique basé sur la théorie de l'activité pour l'évaluation des outils de modélisation et simulation dans l'enseignement universitaire. Ceci nous a ensuite amené à déduire les facteurs et leurs items pour la construction d'un questionnaire valide et fiable pour recueillir les jugements des utilisateurs dans le domaine de l'enseignement. Nous avons enfin pu établir une méthode appropriée pour le traitement statistique utilisable et exploitable dans des cas similaires.

Notre contribution reste à compléter, par la suite, plusieurs aspects pourront être analysés. Un premier aspect est celui de la dépendance de l'évaluation sur un logiciel spécifique, pour cette raison, il pourra être prévu de soumettre le même questionnaire à un groupe d'étudiants travaillant sur des logiciels différents. Un autre aspect est la transposition de la connaissance d'une situation d'apprentissage à une production. Nous pouvons considérer si l'efficacité des étudiants dans l'industrie pourrait être comparable à leur performance à l'université en ce qui concerne la diversité des logiciels de FAO et de la complexité des pièces à usiner dans le cadre industriel.

Pour consolider la validité externe et la généralisabilité du questionnaire il est envisagé de soumettre ce questionnaire à un nombre d'établissement suffisant et de même niveau et caractéristique et de refaire le traitement statistique, une autre aspect à explorer et la difficulté de scénarisation de l'enseignement selon le type de logiciel adopté ainsi un questionnaire serait soumis aux enseignants pour en déduire des conclusions sur cette aspect important et qui parfois permet d'optimiser le volume horaire d'apprentissage.

La présente recherche a montré qu'une conjonction de la Théorie de l'Activité (TA) avec le modèle de représentation des connaissances technologiques et pédagogiques du contenu (TPCK) fournit un modèle suffisamment complet et dynamique pour décrire et comprendre comment les étudiants peuvent esquisser les savoirs à travers le tutoriel, le cours exposé par le professeur et l'interaction avec le logiciel.

Ainsi le recours au modèle « Technological Pedagogical Content Knowledge » (TPCK) semble approprié parce qu'il décrit la compréhension qu'a l'enseignant des technologies, de la pédagogie et des disciplines, et de leur interaction, afin de produire un enseignement efficace (Koehler & Mishra, 2008) dans un contexte d'apprentissage en classe.

Bibliographie

- Abed, M, & Ezzedine, H. (1998). Vers une démarche intégrée de conception-évaluation des systèmes Homme-Machine. *Journal of Decision Systems*, 7, pp. 147-175, 1998.
- Abed, M. (2001). Méthodes et modèles formels et semi-formels pour la conception et l'évaluation des systèmes homme-machine. Habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 02 mai 2001.
- Amigues, R., Ginestié, J., & Gonet, A. (1991). Learning and teaching of technology at the middle school level: the place of industry. Paper presented at the fifth PATT Conference, Eindhoven.
- Baccino, T., Bellino, C., & Colombi, T. (2005). Mesure de l'utilisabilité des interfaces. TIC et Sciences Cognitive. Hermes. 2005. ISBN : 2-7462-1026-6.
- Bachelard, G. (1947). the formation of the scientific spirit. Paris: VrinGaston Bachelard (1884-1962].
- Bâcher, F. (1982). Les enquêtes en psychologie - Première description. Lille : Presse Universitaire de Lille; 1982.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485-493.
- Balbo, S. (1994). Évaluation Ergonomique des Interfaces Utilisateur : un pas vers l'automatisation. Thèse de doctorat, Laboratoire de Génie informatique-IMAG, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action: A Social-Cognitive Theory*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Bastien, J.M.C, & Scapin, D.L. (2001). Evaluation des systèmes d'information et critères ergonomiques. In : Kolski C. (Ed.), *Environnement évolués et évaluation de l'IHM. Interaction Homme Machine pour les SI*, Volume 2, pp. 53-80. Paris : Hermès, 2001.
- Baudier, F. (1987). Education pour la Santé. Guide pratique. Besançon : SDES ADEES ; 1987 : 278.

- Beuchot, G., Filippi, M., & Perrin, J. (2003). avec la collaboration de M.F. Koulounidjan.
- Blaye, A., Light, P., & Rubtsov, V. (1992). Collaborative learning at the computer; how social processes "interface" with human-computer interaction. *European Journal of Psychology of Education*, 7(4), 257-268.
- Bonnard, R. (2010). Sciences pour l'ingénieur géosciences architecture, SPIGA . (Doctoral thesis). Ecole Centrale de Nantes, France.
- Bovone & al. (1989). How to choose an useful simulation software, in *Proceedings of the 1989 European Simulation Multiconference*, SCS, San Diego, pp. 39-43.
- Brousseau, G. (2004). « Les représentations, étude en théorie des situations didactiques », *Revue des sciences de l'éducation* Volume XXX n°2, 2004, 241-277, Montréal, Québec, Canada (Ed. Gisèle Lemoyne).
- Caelen, J. & Fréchet, A. L. (1992). "Attitudes cognitives et actes de langage en situation de communication homme/machine", article soumis au congrès de l'ARC, Nancy, 1992.
- Cochran, W.G. (1977). *Sampling Techniques*, (3e éd.), New York: Wiley, 1977.
- Cuny, X. (1969) *Sémiologie et étude ergonomique des communications de travail*. *Le Travail Humain*, 1969, 32, 3-4, 177-198.
- De Ketele, J.M. & Roegiers, X. (1993). *Méthodologie du recueil d'informations. Fondements des méthodes d'observations, de questionnaires, d'interviews et d'études de documents*. Bruxelles : DeBoeck; 1993 :226.
- Dessus, P. (2006). Quelles idées sur l'enseignement nous révèlent les modèles d'Instructional Design? *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 28(1), 137-157.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. & Beale, R. (1998). *Human-computer interaction*, Prentice Hall, Hemel Hempstead, UK.
- Doise, W. (1982). *L'explication en psychologie sociale*. Sociologies. Paris, Presses universitaires de France.
- Engeström, Y. (2007). Discussion: Enriching activity theory without shortcuts. *Interacting with Computers*, 20, 256–259.

- Engestrom, Y. (2001). Expansive Learning at Work: toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of Education and Work*, Vol. 14, No. 1, University of California, San Diego, USA & Center for Activity Theory and Developmental Work Research, PO Box 47, 00014 University of Helsinki, Finland, 2001.
- Farenc, C. (1997). ERGOVAL: une méthode de structuration des règles ergonomiques permettant l'évaluation automatique d'interfaces graphiques. Thèse de Doctorat, Université Toulouse 1, janvier 1997.
- Fermanian, J. (1989). Methodology and statistical problems in the assesment of memory by rating scales. *Arch. Gerontol. Geriatr. Suppl.* 1 : 215-221 ; 1989.
- Fitzpatrick, R. (1999). Strategies for Evaluating Software Usability. Department of Mathematics, Statistics and Computer Science, Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland.
- Galperin , P. I. (1992). The problem of activity in Soviet psychology. *Journal of Russian and East European Psychology*, 30(4), 37-59
- Ghiglione, R. & Matalon, B. (1970) *Les enquêtes sociologiques, théorie et pratique*. Paris : Armand Colin ; 1970 : 297.
- Giacobbi, M. & Roux, J.P. *Initiation à la sociologie. Les grands thèmes, la méthode, les grands sociologues*. Paris : Hatier ; 199 : 187-194.
- Ginestié J., & Andreucci C. (1997). Approach of assessment and teaching meaningful in Technology education in France: tries and mistakes. 8th PATT Conference, Breukeleu, PATT Foundation.
- Ginestié, J. (1994). La technologie au collège : bilan et perspectives. Colloque Techno, les actes du 16 mars, Montpellier.
- Good, T.L, & Brophy, J.E. (1990). *Educational Psychology: A realistic approach* (4th Ed) White Plains, NY: Longman.
- Granott, N. (1993). Patterns of Interaction in the Co-Construction of Knowledge. In H. Wozniak & K. W. Fischer (Eds.), *Development in Context. Acting and Thinking in Specific Environments*. Hillsdale, New Jersey: LEA.

- Grislin, M, & Kolski, C. (1996). Evaluation des interfaces homme-machine lors du développement de système interactif. *Technique et Science Informatiques (TSI)*, 3, pp. 265-296, 1996.
- Grislin, M. (1995). Définition d'un cadre pour l'évaluation a priori des interfaces homme-machine dans les systèmes industriels de supervision. Mémoire de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, janvier 1995.
- Gubencu, D. & al, (1986). CAM STRATEGIES USING VISUALMILL SOFTWARE.
- Harris J., Mishra P. & Koehler M, (2009). *Journal of Research on Technology in Education* 397 2009. ISTE (International Society for Technology in Education), 800.336.5191
- Healy, L., Stefano, P., & Hoyles, C. (1995). Making Sense of Groups, Computers, and Mathematics. *Cognition and Instruction. Special Issue: Processes and products of collaborative problem solving: some interdisciplinary perspectives.*, 13(4), 505-523.
- Herbst, P.G. (1974). *Sociotechnical design*. Tavistock Publications, 1974, 242 p.
- Hlupic. V. & Paul R.J. . (1999). Guidelines for selection of manufacturing simulation software, *IIE Transactions*, Vol.31, pp. 21-29 (1999).
- Hoc, J.M. (1978). Etude de la formation à une méthode de programmation informatique. *Le Travail Humain*, 1978, 41, 1, 111—126.
- Holder, K. (1990). Selecting simulation software. *or Insight*, 3(4), 19-24 Vlatka Hlupic, Ray J. Paul, Jan, (1999). Guidelines for selection of manufacturing simulation software. *IIE Transactions*.
- Holyer, A (1993). *Methods for evaluating User Interfaces*. School of Cognitive and Computing Sciences. University of Sussex, Brighton, 1993.
- Howe, C., Tolmie, A., Green, K., & Mackenzie, M. (1995). Peer collaboration and conceptual growth in physics: task influences on children's understanding of heating and cooling. *Cognition and instruction*, 13(4), 483-503.
- Huart, J, Kolski. C, & Bastien, C. (2008). L'évaluation de documents multimédias, état de l'art. In Merviel S. (Ed.), *Objectiver l'humain ? Volume 1, Qualification, quantification*, Hermes, Paris, pp. 211-250, ISBN 978-2-7462-1553-5, 2008.

- Inhelder, B., Sinclair H., & Bovet, M., (1974). *Apprentissage et structures de la connaissance*, Paris : Presses Universitaires de France, 1974.
- Jadhav, A. S., & Sonar, S. J. (2009). Evaluating and selecting software packages: a review. *Information and Software Technology*, 51(3), 555–563.
- Jonassen, D.H. (2000). *Computers as mindtools for schools: Engaging critical thinking*. Upper Saddle River, NJ: Merrill/Prentice Hall.
- Jonassen, D.H. (2000). *Computers as mindtools for schools: Engaging critical thinking*. Upper Saddle River, NJ : Merrill/Prentice Hall.
- Kovács, B., Gaunet, F., & Briffault, X. (2004) *Les techniques d'analyse de l'activité pour l'IHM*. Hermes 2004. ISBN :2-7462-0944-6.
- Kozanitis, A. (2005). *Historique et évolution des courants théoriques de l'apprentissage, école polytechnique, version électronique*.
- Kuutti, K. (1996). Activity theory as a potential framework for human-computer interaction research. In B. A.
- Lefebvre, M. & Pinard, A. (1972). Apprentissage de la conservation des quantités par une méthode de conflit cognitif, *Revue canadienne des sciences du comportement*, vol. 4, no 1, 1972, p. 1;
- Leontiev, A. (1976). *Le développement du psychisme*. Paris : Editions sociales, 1976.
- Leplat, J & Hoc, J.M (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations, *Cahiers de psychologie cognitive*, 1983, 3, 1, 49-63.
- Leplat, J. (1993). Ergonomie et activités collectives. *Revue roumaine de Psychologie*, 37(2), 103-118.
- Leplat, J. & Bisseret, A. (1965). Analyse des processus de traitement de l'information chez le contrôleur de la navigation aérienne, *Bulletin du C.E.R.P.*, Vol. XIV, n° 1-2.
- McIver, J. P., & Carmines, E. G. (1981). *Unidimensional scaling*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* (3rd ed.). New York: McGrawHill.

- Mishra, P., & Koehler, J. M. (2008). Introducing Technological Pedagogical Content Knowledge, Annual Meeting of the American Educational Research Association New York City, March 24–28, 2008.
- Minier, P. (2003). Ancrage historique et développement des courants de pensée de l'apprentissage UQAC.
- Moret L., Chwalow J., & Baudouin-Balleur C. (1993). Evaluer la qualité de vie : construction d'une échelle. *Rev. Epidém. Et Santé Publ.*, 1993, 41, 65-71.
- Moscovici, S., & Paicheler, G. (1973). Travail, individu et groupe. In S. Moscovici(Eds.), *Introduction à la psychologie sociale* Paris: Librairie Larousse.
- Nardi, A. (1996). Activity theory and human-computer interaction. in Nardi, (ed.) *Context and consciousness: Activity theory and human computer interaction* : The MIT Press, 7-16.
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*, Academic Press Limited, London, UK.
- Norman, D. A. (1986). Cognitive engineering. In D. A. Norman & S. W. Draper (Eds.), *User-centered system design: New perspectives on human-computer interaction*, 31–61. Hillsdale, NJ: LEA.
- Normand, V. (1992). "Task modelling in HCI : purposes and means", *Rapport de Recherche*, Thomson CSF, Juillet.
- Norme ISO 9241 Partie 11. Ergonomics requirements for office work with visual terminals parties 10 à 17, 2004.
- Ombredane, A., et Faverge, .J.M. (1995) *L'analyse du travail*. Paris : P.U.F. 1955.
- Parsons, T. (1951). *The social system*. Glenco: Free Press.
- Pléty, R. (1996). *L'apprentissage coopératif*. Lyon: Presses Universitaires de Lyon.
- Pontecorvo, C. (1990). Social context, semiotic mediation and forms of discourse in constructing knowledge at school. *Learning and Instruction*, 2, 1-27.
- Preece, J., Rogers, Y., Sharpe, H., Benyon, D., Holland, S. & Carey, T. (1994) *Human-computer interaction*, Addison-Wesley, Wokingham, UK.

- Root, R.W., & Draper, S. (1983). Questionnaire as a software evaluation tool. In *Human Factors in Computing Systems-I*, A. Janda (Ed.), ACM, North-Holland, Amsterdam, PP.83-87, 1983.
- Rushinek, A., & Rushinek, S. (1986) What makes users happy ? *Communication of ACM* 29, PP. 594-598.
- Senach, B. (1990). *Evaluation ergonomique des IHM : Une revue de la littérature*. Rapport INRIA n°1180, mars, 1990.
- Sperandio,JC. (1977). La régulation des modes opératoires en fonction de la charge de travail chez les contrôleurs de trafic aérien. *Travail Humain*, 40, 2, 249-256.
- Suchman, L. (1987). *Plans and situated actions: the problem of human machine interaction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vermersch, P. (1980). Analyse de la tâche et fonctionnement cognitif dans la programmation de l'enseignement. *Bulletin de Psychologie*, 1980, 33, 344, 389—397.
- Visetti, Y. M. (1989), compte -rendu du livre de L. Suchman, *Plans and Situated Actions - The Problem of Human/Machine Communication*, *Intellectica*, 1989/1, 7
- Vygotsky, L. S. (1978). *Interaction Between Learning and Development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wartofsky, M.W. (1979). *Models: representation and the scientific understanding*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Weinberg, G.M., & Schulman, E.L. (1974). Goals and performance in computer programming. *Human Factors*, 1974, 16, 1, 70—77.
- Whitefield, A., Wilson, F., & Dowel, J. (1991). A framework for human factors evaluation. *Behaviour & Information Technology*, 10 (1), pp. 65-79, 1991.

Annexes

Annexe1:

Questionnaire administré aux étudiants.

| | |
|--|---|
| La variable dépendante Y= efficacité | |
| prog_pièce | Êtes-vous arrivé à élaborer le programme de la pièce? |
| X4 = Aspect ergonomique de l’OMS: | |
| densité_fen | Les fenêtres présentent-elles une forte densité d’affichage ? |
| raccourcis | Le logiciel présente-il des raccourcis clavier aux boutons d’action ? |
| accé_aide | Existe t-il un fichier d'aide facile d'accès? |
| gest_erreurs | le logiciel présente t-il une gestion d'erreurs? |
| Durée_tache | La durée de réponse à une tâche est-elle? |
| X5 = Aspect pédagogique et contenu technique de l’OMS: | |
| déroul_travail | Savez-vous à tous moment ou en êtes-vous dans le déroulement du travail? |
| act-retour | les possibilités d'action en retour sont elles diverses ? |
| not_log- not_cours | Le logiciel utilise t-il les mêmes termes et notations que le cours théorique? |
| X6 = Durée de réalisation du travail (efficience) sur l’OMS: | |
| durée | La durée pour effectuer votre travail est-elle? |
| X7 = Satisfaction de l’étudiant du résultat donné par l’OMS: | |
| résultat_Attendu | Le résultat final correspond-il à vos attentes? (conformément à l’étude théorique) |
| X1 = profil du sujet: | |
| Genre | Quel est votre genre (masculin ou féminin)? |
| Frères | vous avez combien de frères et sœurs? |
| Langue | Quelle 2 ^{ème} langue maîtrisez-vous? |
| X2 = connaissances préalables en informatique et infographie : | |
| Info_college | Pendant vos études au collège ou au secondaire, avez-vous été initié à l’informatique ? |
| | Avec quels outils, étiez-vous familiarisé(e) ? |
| Lang_prog | Quel Langage de programmation maîtrisez-vous ? |
| Util_internet | Fréquence d’utilisation de l’Internet ? |

Annexe 2:

Questionnaire administré aux professeurs

| Nom de la variable | Question | Modalité |
|------------------------|---|--|
| Assistance(efficacité) | Donner un niveau à votre assistance durant le travail de l'étudiant ? | 1= pas d'assistance ; 2=peu d'assistance ; 3=assistance moyenne ; 4=assez d'assistance ; 5=assistance complète ; |
| Progress_op | Les opérations présentent-elles une progression logique ? | 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; |
| Poly/ecran | y a-t- Il une organisation pages-polycopié /pages écran ? | pas assez=1 ; assez=2 ; assez bien=3 ; |
| Contenu/objec_visé | Le contenu correspond t-il aux objectifs visés ? | 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; |
| Ind_objec | Les objectifs sont-ils indiqués à l'étudiant ? | oui=1 ; non=2 |
| Perso_logiciel | Pouvez-vous personnaliser le logiciel pour répondre à vos buts pédagogiques ? | 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; |

Annexe 3

Validation quantitative d'un questionnaire selon Cottraux

| Validité <i>Validity</i> | Fiabilité (ou fidélité) <i>Reliability</i> | Sensibilité au changement <i>Sensitivity</i> |
|---|--|--|
| <p>1 - Validité de contenu (ou pragmatique) <i>Content / face validity</i> Adéquation aux situations fréquemment rencontrées par le sujet Adéquation et exhaustivité avec laquelle un domaine spécifique est couvert</p> <p>2 - Validité sur critère <i>Criterion validity</i>: Concordance entre les résultats et les observations mesurant le phénomène avec exactitude</p> <ul style="list-style-type: none"> - empirique : Correspondance des résultats aux classifications cliniques - concomitante : Corrélation de l'instrument à d'autres formes de mesures des mêmes variables - concurrente : Corrélation de l'instrument à d'autres instruments du même type déjà validés - prédictive : Possibilité d'émettre un pronostic à partir des résultats ; la mesure proposée prévoit une future valeur critère <p>3 - Validité de structure <i>Construct validity</i> Possibilité de mettre en correspondance les résultats avec une théorie préalable</p> | <p>Stabilité avec laquelle un questionnaire produit une même réponse à une question posée dans une même situation</p> <p>1 - Fiabilité de l'enquêteur (ou interjuges) : Corrélation obtenue par deux (ou plusieurs) observateurs avec le même instrument</p> <p>2 - Fiabilité au cours du temps (test-retest) : Corrélation des résultats de deux (ou plusieurs) évaluations dans les mêmes conditions expérimentales mais à des temps différents</p> <p>3 - Fiabilité de l'instrument (cohérence interne, homogénéité) corrélation des différents items entre eux ainsi que corrélation avec une note totale</p> | <p>1 - Sensibilité interindividuelle Capacité de l'instrument à discriminer des individus différents</p> <p>2 - Sensibilité intraindividuelle Capacité de l'instrument à détecter des différences chez un même sujet</p> |

Annexe 4

Etude de la validité d'un questionnaire d'après d'après Coste

| Validité de contenu <i>Content validity</i> | Validité contre critère <i>Criterion validity</i> | Validité du construit/de structure <i>Construct validity</i> |
|--|--|---|
| Adéquation, exhaustivité avec lesquels le domaine étudié est décrit étude de la littérature, étude de cas cliniques | Validité contre critère - predictive - concurrente | <p>Interne :</p> <p><i>Factorial validity</i> (étudiée grâce à des analyses descriptives multivariées)</p> <p><i>Internal consistency</i> (cohérence interne)</p> <p>Externe :</p> <p>- <i>convergent validity</i> : corrélation avec les résultats d'une autre méthode mesurant le même phénomène</p> <p>- <i>discriminant validity</i> : absence de corrélation avec les résultats d'une autre méthode connue pour être sans relation avec la structure évaluée</p> <p>Mesure par rapport à une ou plusieurs variables explicatives</p> <p>- <i>Incremental validity</i> : méthode de mesure supérieure à toute mesure préexistante</p> |

Annexe 5

Etude de la validité d'un questionnaire d'après d'après Fermanian (1989).

| Validité d'apparence <i>Face validity</i> | Validité de contenu <i>Content validity</i> | Validité contre critère <i>Criterion validity</i> | Validité du construit <i>Construct validity</i> |
|--|--|--|---|
| Jugement d'expert sur la valeur apparente de l'échelle | <p>Pertinence :</p> <ul style="list-style-type: none"> chaque item appartient bien à un domaine étudié - Avis d'expert ; kappa, kappa pondéré, coefficient de corrélation intraclasse entre experts - Banque d'items, théorie des facettes de Guttman lorsque le concept est "flou" <p>Représentativité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Représentation de chaque domaine fonction de son importance dans l'"univers" - Jugement d'expert | <p>Validité concomitante</p> <p><i>concurrent validity</i> : échelle et critère de référence utilisés en même temps</p> <p>- Validité prédictive</p> <p><i>predictive validity</i> : phénomène est mesuré d'abord puis après un certain temps, le critère de référence</p> | <p>Test des hypothèses basées sur la conception théorique du phénomène mesuré par l'échelle</p> <p>(Analyses factorielles : Analyse des correspondances Analyses en composantes principales)</p> <p>Validité convergente</p> <p>Validité divergente (coefficient de corrélation de Pearson ou non paramétrique)</p> |

Annexe 6 : coefficient de Cohen

| Cohen's Standard | Effect Size | Percentile Standing | Percent of Nonoverlap |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------------|
| | 2.0 | 97.7 | 81.1% |
| | 1.9 | 97.1 | 79.4% |
| | 1.8 | 96.4 | 77.4% |
| | 1.7 | 95.5 | 75.4% |
| | 1.6 | 94.5 | 73.1% |
| | 1.5 | 93.3 | 70.7% |
| | 1.4 | 91.9 | 68.1% |
| | 1.3 | 90 | 65.3% |
| | 1.2 | 88 | 62.2% |
| | 1.1 | 86 | 58.9% |
| | 1.0 | 84 | 55.4% |
| | 0.9 | 82 | 51.6% |
| LARGE | 0.8 | 79 | 47.4% |
| | 0.7 | 76 | 43.0% |
| | 0.6 | 73 | 38.2% |
| MEDIUM | 0.5 | 69 | 33.0% |
| | 0.4 | 66 | 27.4% |
| | 0.3 | 62 | 21.3% |
| SMALL | 0.2 | 58 | 14.7% |
| | 0.1 | 54 | 7.7% |
| | 0.0 | 50 | 0% |

Cohen (1988) hesitantly defined effect sizes as "small, $d = .2$," "medium, $d = .5$," and "large, $d = .8$ ", stating that "there is a certain risk in inherent in offering conventional operational definitions for those terms for use in power analysis in as diverse a field of inquiry as behavioral science" (p. 25).

Effect sizes can also be thought of as the average percentile standing of the average treated (or experimental) participant relative to the average untreated (or control) participant. An ES of 0.0 indicates that the mean of the treated group is at the 50th percentile of the untreated group. An ES of 0.8 indicates that the mean of the treated group is at the 79th percentile of the untreated group. An effect size of 1.7 indicates that the mean of the treated group is at the 95.5 percentile of the untreated group.

Effect sizes can also be interpreted in terms of the percent of nonoverlap of the treated group's scores with those of the untreated group, see Cohen (1988, pp. 21-23) for descriptions of additional measures of nonoverlap.. An ES of 0.0 indicates that the distribution of scores for the treated group overlaps completely with the distribution of scores for the untreated group, there is 0% of nonoverlap. An ES of 0.8 indicates a nonoverlap of 47.4% in the two distributions. An ES of 1.7 indicates a nonoverlap of 75.4% in the two distributions.