HAL open science

simulation informatique en enseignement des travaux pratiques d'automatisme : cas du secondaire technique industriel au Cameroun

Victorien Nkamgnia

▶ To cite this version:

Victorien Nkamgnia. simulation informatique en enseignement des travaux pratiques d'automatisme : cas du secondaire technique industriel au Cameroun. Sciences de l'Homme et Société. CY Cergy Paris Université, 2021. Français. NNT : . tel-03998366

HAL Id: tel-03998366
https://hal.science/tel-03998366v1

Submitted on 21 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NoDerivatives 4.0 International License

École doctorale n° 627
Unité de recherche : laboratoire BONHEURS – EA 7517

Thèse de doctorat

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR EN SCIENCES DE L'ÉDUCATION ET DE LA FORMATION

délivré par

CY Cergy Paris Université

SIMULATION INFORMATIQUE EN ENSEIGNEMENT DES TRAVAUX PRATIQUES D'AUTOMATISME : CAS DU SECONDAIRE TECHNIQUE INDUSTRIEL AU CAMEROUN

Présentée et soutenue publiquement par

NKAMGNIA Victorien

Le 25 mars 2021

Directeur de thèse : Monsieur Vassilis KOMIS

Jury

M. Jean-François Cerisier, Professeur des universités, Université de Poitiers, **Président**
Mme Ecatérina Pacurar, Professeure des universités, Université de Lille, **Rapporteure**
M. Georges Louis Baron, Professeur Émérite des universités, Université Paris Descartes, **Rapporteur**
M. Vassilis KOMIS, Professeur des universités, Université de Patras,**Directeur de thèse**
Mme Line NUMA-BOCAGE, Professeure des universités, CY Cergy Paris Université, **Examinatrice**
M. Alain Jaillet, Professeur des universités, CY Cergy Paris Université, **Examinateur**

REMERCIEMENTS

Je remercie mon directeur de thèse le Professeur VASSILIS KOMIS, pour son encadrement, ses conseils, et pour m'avoir incité à soumettre des propositions de communication lors des divers colloques afin de partager le fruit de mes recherches et de mes réflexions dans le cadre de la réalisation de cette thèse.

Mes sincères remerciement aux membres du jury qui ont accepté de jeter un regard critique sur mon travail.

Mes sincères remerciements au Professeur Emérite Georges-Louis BARON, son accompagnement m'a permis d'améliorer la mouture finale de cette thèse.

Je remercie le Professeur Alain JAILLET pour son soutien multiforme. Je lui exprime ici toute ma gratitude et toute ma sympathie pour avoir permis que mes camarades thésards et moi puissions réaliser nos travaux grâce à la Chaire UNESCO en « Francophonie et révolution des savoirs : éducation et connaissances à l'ère du numérique et des réseaux internationaux ».

Je remercie la direction et les membres du Laboratoire « BONHEUR » en raison de l'assistance multiforme qu'ils m'ont apportée pour la concrétisation de mon travail.

Je remercie l'administration, les enseignants du département d'automatisme et de maintenance industrielle, ainsi que les élèves de la spécialité maintenance électromécanique du Lycée Technique de NKOLBISSON à Yaoundé pour m'avoir procuré le terrain nécessaire à ma recherche.

J'adresse un grand merci aux familles Feu Jean LEUWAT et Joseph TCHATCHOU qui ont toujours été à mes côtés durant la réalisation de ce travail.

Tous mes remerciements à mon épouse bien aimée Mireille NKAMGNIA née YOGA TCHATCHOU ; à mes enfants Gabrielle Priscille, Danielle Andrée, Mohammed et Jérémie Schamma pour leur présence apaisante à mes côtés tout au long de mes travaux de recherche.

Je remercie mes camarades thésards, pour la collaboration fructueuse qui a permis que nous puissions avancer mutuellement dans nos travaux.

RESUME

L'Approche Par Compétences est désormais le cadre de référence pour la rédaction des référentiels de formation au Ministère des Enseignements Secondaires du Cameroun. En s'arrimant à cette approche, les *curricula* subissent de profondes modifications. La simulation a été introduite dans le *curriculum* des techniciens en maintenance électromécanique en tant que nouvelle stratégie d'apprentissage favorisant l'acquisition de compétences professionnelles. Or, acquérir le savoir pratique revient à apprendre par des manipulations physiques réelles. Suivant ce raisonnement, on pourrait s'attendre à ce qu'il y ait davantage d'effets positifs en termes d'acquisition de compétence lorsqu'on est en séquence d'apprentissage réel et moins d'effets en situation d'apprentissage à base de simulation. Partant du point de vue que les compétences sont des ressources que le sujet mobilise pour traiter l'activité réalisée dans des situations particulières, notre objectif est de questionner lesdites ressources et méthodes mobilisées lors de la mise en œuvre de la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » en situation de simulation et transférables à la pratique professionnelle.

Les résultats issus de l'observation en situation réelle d'apprentissage et des auto-confrontations de 36 lycéens (appariés pour avoir 18 équipes de 02 binômes) montrent d'une part, que les ressources mobilisées par les acteurs pour réaliser le cycle automatique de la machine à l'aide du GRAFCET comprennent les concepts pragmatiques « enchaînement des tâches » et « technologie des composants », deux (02) schèmes (séquencement des actions et matérialisation technologique) qui ont été appréhendés dans leurs relations aux concepts pragmatiques. Et que les systèmes d'instruments mis en œuvre par les apprenants pour automatiser le fonctionnement du bien sont constitués du bouton poussoir « test » du logiciel de simulation, des règles associées au GRAFCET, des normes de symbolisation et de codification des systèmes automatisés de production. D'autre part, que l'utilisation de la simulation au début de la formation a un effet important comparativement à l'apport de la formation traditionnelle en phase initiale.

Mots clés : Simulation, travaux pratiques, automatisme, compétences, GRAFCET, concepts pragmatiques, schèmes et système d'instruments.

ABSTRACT

The Competency Based Approach is now the reference framework for the drafting of training standards at the Ministry of Secondary Education in Cameroon. By aligning with this approach, curricula undergo profound changes. As a new learning strategy promoting the acquisition of professional skills, simulation has been introduced in the curriculum of electromechanical maintenance technicians. But acquiring practical knowledge means learning through real physically manipulations. Following this reasoning, one would expect that there would be more positive effects in terms of skill acquisition, when one is in a real learning sequence, and less effect in a learning situation based on simulation. From the view that skills are resources that the learner mobilizes to treat the activity carried out in particular situations, then, our objective is to question these resources and methods mobilized during the implementation of the competence "to improve or modify a property by automating its functioning", in simulated situation and transferable to professional practice.

Results obtained from an observation in real learning situations and self-confrontations of 36 students (matched to have 18 teams of 02 pairs), show on the one hand that, resources mobilized by actors to realize the automatic cycle of the machine using the GRAFCET include the pragmatic concepts of " sequence of tasks ", and of "component technology", two (02) schemes (of actions sequencing and technological materialization) that have been apprehended in their pragmatic relation concepts. And that the instrument system implemented by learners to automate the functioning of the Item consist of the push button "test" of the simulation software, of rules associated to the GRAFCET, of symbolization norms and codification of automated production systems. On the other hand, the use of simulation at the beginning of the training has a significant effect compared to the contribution of the traditional training in the initial phase.

Key words: Simulation, practical work, automation, skills or competence, GRAFCET, pragmatic concepts, schemes and instrument system.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES 10
LISTE DES TABLEAUX 12
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES 14
INTRODUCTION GENERALE 15
CHAPITRE 1 : SIMULATION, TRAVAUX PRATIQUES ET AUTOMATISME EN FORMATION TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL 21
1.1. LA SIMULATION AU SERVICE DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE 21
1.1.1. Différents types de simulation 21
1.1.2. Les origines de l'utilisation de la simulation dans la formation professionnelle 22
1.1.3. La simulation et les formations professionnelles 23
1.1.3. La simulation dans les professions de la santé 27
1.2. LES TRAVAUX PRATIQUES EN ENSEIGNEMENT TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL 28
1.2.1. Travaux pratiques réels 29
1.2.2. Travaux pratiques simulés 30
1.2.3. Travaux pratiques à distance 30
1.2.4. Travaux Pratiques et acquisition de compétences 31
1.3. L'AUTOMATISME INDUSTRIEL 32
1.3.1. Système Automatisé de Production 32
1.3.2. La discipline « automatisme » 35
1.3.3. L'outil GRAFCET 36
1.3.4. Notion de point de vue et GRAFCET correspondant 37
1.4. L'APPROCHE PAR COMPETENCES (APC) 40
1.4.1. La notion de compétence 40
1.4.2. L'APC : cas de l'Afrique francophone 41
1.4.3. L'activité en situation : fondements d'une logique de compétences 43
1.5. SYNTHESE DU CHAPITRE 1 44
CHAPITRE 2 : PROBLEMATISATION ET CADRES THEORIQUES MOBILISES 47
2.1. CONTEXTE DE LA PRESENTE ETUDE 47
2.1.1. L'enseignement secondaire technique industriel au Cameroun 47
2.1.2. Le Technicien en Maintenance Electromécanique (MEM) du Cameroun 49

2.2. PROBLEMATISATION 52
2.2.1. Formulation du problème 52
2.2.2. Questions de recherches 54
2.2.3. Formulation de l'hypothèse 54
2.2.4. Plan de variables 56
2.3. CADRES THEORIQUES MOBILISES 57
2.3.1. La didactique professionnelle 58
2.3.2. Le modèle COMPETY « Les entités cognitives et constitutives des compétences et leur organisation » 61
2.3.3. La « double approche » 65
2.3.4. Le Formalisme « prédicat/arguments » 68
2.4. SYNTHESE DU CHAPITRE 2 70
CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE DE RECHERCHE 73
3.1. DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE ... 73
3.1.1. Analyse du travail 74
3.1.2. Conception de la situation problème 75
3.1.4. Opérationnalisation de l'activité liée à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification d'un bien par automatisation 78
3.2. DEMARCHE DEPLOYEE DANS NOTRE ETUDE 79
3.2.1. Population de notre étude 79
3.2.2. Echantillon retenu pour notre étude 79
3.2.3. Opérationnalisation de l'apprentissage par simulation 80
3.2.4. Lancement du TP 80
3.2.5. Auto-confrontation 80
3.2.6. Procédure expérimentale 81
3.3. METHODE DE COLLECTE DES DONNEES 82
3.3.1. Première séquence 82
3.3.2. Deuxième séquence 84
3.3.2.5. Auto-confrontations 87
3.4. TRAITEMENT DES DONNEES 90
3.4.1. Protocole d'analyse du corpus des données 90
3.4.2. Protocole de traitement du corpus des données 92
3.5. LE TERRAIN 94

3.5.1. Test de la méthodologie projetée 94
3.5.2. Le terrain proprement dit 96
3.6. APPROCHE ET OUTILS DE MISE EN ŒUVRE 98
3.6.1. Approche mise en œuvre 98
3.6.2. Les outils de mise en œuvre 98
3.7. SYNTHESE DU CHAPITRE 3 99
CHAPITRE 4 : PRESENTATION DU CORPUS DES DONNEES 101
4.1. ACTIVITES D'ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DE L'AUTOMATISME 101
4.1.1. La recherche des fonctions 103
4.1.2. L'inventaire des tâches 105
4.1.3. La recherche de la coordination des tâches entre-elles 107
4.1.4. Le choix des options technologiques 109
4.1.5. La description du cycle automatique de la machine 112
4.1.6. L'exploitation du dossier élève 113
4.2. ACTIVITES EN SITUATION SIMULE 116
4.2.1. Caractéristiques des situations d'automatisation à l'aide de la simulation 117
4.2.2. Configurations des données 117
4.3. ACTIVITES EN SITUATION DE FORMATION TRADITIONNELLE 119
4.3.1. Caractéristiques des situations d'automatisation à l'aide du câblage sur banc électropneumatique (formation traditionnelle) 120
4.3.2. Configurations des données 120
4.4. SCORES OBTENUS AUX EVALUATIONS 123
4.4.1. Configuration des différents scores obtenus lors des différents travaux 124
4.4.2. Evolution des scores selon les dispositifs de mise en œuvre 125
4.4.3. Configuration des notes globales du TP selon les dispositifs de mise en œuvre 128
4.4.4. Nature de la distribution des différents scores et notes globales du TP 129
4.5. SYNTHESE DU CHAPITRE 4 132
CHAPITRE 5 : NATURE DES RESSOURCES MOBILISÉES EN SITUATIONS D'AUTOMATISATION ET DE SIMULATION 133
5.1. LES REPRESENTATIONS POUR L'ACTION D'AUTOMATISATION 133
5.1.1. Représentation modèle de l'automatisation 134
5.1.2. Les fonctions du bien à automatiser 134
5.1.4. Représentation circonstancielle des apprenants 138

5.2. LES ORGANISATEURS DE L'ACTIVITE ET LE SYSTEME D'INSTRUMENTS EN SITUATION DE SIMULATION 138
5.2.1. Classes des situations d'automatisation à l'aide de l'outil GRAFCET et de la symbolisation 139
5.2.2. Situation d'automatisation de la scie à l'aide de l'outil GRAFCET et de la symbolisation 142
5.2.3. Les organisateurs de l'activité en situation de simulation 144
5.2.4. Le système d'instruments en situation de simulation 168
5.3. SYNTHESE DU CHAPITRE 5 171
CHAPITRE 6 : EFFETS DE LA POSITION RESPECTIVE DE LA SIMULATION ET DE LA FORMATION TRADITIONNELLE 173
6.1. RAPPELS DE LA CONFIGURATIONS DES SCORES ET DU DOSSIER ELEVE 173
6.1.1. Evolution des scores selon les dispositifs de mise en œuvre 173
6.1.2. Configuration des notes globales du TP selon les dispositifs de mise en œuvre 174
6.1.3. Configuration des données issus du dossier élève. 175
6.2. CONDUITE DES TRAITEMENTS STATISTIQUES DEPENDAMMENT DES DISPOSITIFS 176
6.2.1. Dispositif N° 01 : préparation puis simulation enfin formation traditionnelle 177
6.2.2. Dispositif N° 02 : préparation puis formation traditionnelle enfin simulation 179
6.2.3. Comparaison du dispositif N° 01 au dispositif N° 02 181
6.3. CONDUITE DES TRAITEMENTS STATISTIQUES RELATIFS A L'INFLUENCE DU DOSSIER ELEVE SUR LES DISPOSITIFS 184
6.3.1. Préparation des données 184
6.3.2. Influence de l'âge sur les dispositifs 185
6.3.3. Influence du redoublement sur les dispositifs 188
6.3.4. Influence de l'internat sur les dispositifs 191
6.3.5. Influence de l'ordinateur personnel sur les dispositifs 195
6.3.6. Influence de la salle multimédia sur les dispositifs 199
6.4. ACTION ET ACTIVITE DES ELEVES ET EFFET DE LA POSITION RESPECTIVE DE LA SIMULATION ET DE LA FORMATION TRADITIONNELLE 203
6.4.1. Cas du dispositif N° 01 203
6.4.2. Cas du dispositif N° 02 206
6.4.3. L'effet symbolisation 208
6.4.4. L'influence du redoublement 210
6.6. SYNTHESE DU CHAPITRE 6 211

CHAPITRE 7 : SYNTHESE GENERALE ET DISCUSSION 213
7.1. SYNTHESE GENERALE DES RESULTATS 213
7.1.1. Premier groupe de ressources mobilisées 214
7.1.2. Deuxième groupe de ressources mobilisées 214
7.1.3. Troisième groupe de ressources mobilisées 215
7.1.4. Effet de la position de la formation à base de simulation comparativement celui de la formation traditionnelle 216
7.1.5. Influence du dossier élève sur chacun des dispositifs 218
7.2. DISCUSSIONS 219
7.2.1. Mobilisation des ressources en situation de simulation 220
7.2.2. Effets de la position respective de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage 221
7.2.3. Effet symbolisation 221
7.3. LIMITES DE L'ETUDE 222
7.3.1. Le bien 223
7.3.2. La population 223
7.3.3. La co-activité enseignant-élève 224
7.3.4. Les artefacts principaux mis en œuvre 225
7.3.5. Confrontation des ressources identifiées avec celles des professionnels de la maintenance électromécanique 225
7.4. PERSPECTIVES 226
7.4.1. Continuité des préoccupations scientifiques 226
7.4.2. Les applications dans le domaine des travaux pratiques 227
CONCLUSION GENERALE 229
BIBLIOGRAPHIE 235
ANNEXE 243

LISTE DES FIGURES

Figure N° 01: Les trois parties d'un automatisme (Moreno, Peulot, 2002, page 4) *34*
Figure N° 02: Eléments graphiques de base du GRAFCET *37*
Figure N° 03: Notion de point de vue *38*
Figure N° 04: Problématique de notre recherche..... *55*
Figure N° 05: Les étapes d'une séance de simulation *60*
Figure N° 06 : le cadre d'analyse COMPETY (Vidal-Gomel, 2001, p.46)..... *62*
Figure N° 07 : Classe des prédicats (Hoc, Amalberti, 1999) *70*
Figure N° 08 : Champs théoriques et méthodologiques mobilisés pour notre recherche *72*
Figure N° 09 : Les logiciels de simulation..... *76*
Figure N° 10 : Banc de câblage électropneumatique *76*
Figure N° 11: Scie pour profilés en aluminium dans sa configuration d'origine..... *78*
Figure N° 12 : Représentation schématique de notre procédure expérimentale *82*
Figure N° 13 : Extrait grille de compilation de toutes les fiches renseignées *102*
Figure N° 14 : extrait des verbatim relatif à la préparation..... *102*
Figure 15 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la recherche des fonctions..... *105*
Figure N° 16 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à l'identification des tâches *107*
Figure N° 17 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la coordination des tâches entre elles..... *109*
Figure 18 : Texte surligné en jaune = occurrences liées aux choix des options *111*
Figure N° 19 : Disposition des vérins sur la scie pour profilé en aluminium..... *111*
Figure N° 20 : Texte surligné en jaune : occurrences liées à la description du cycle automatique de la machine..... *113*
Figure N° 21 : Exemple de capture d'écran Nvivo pour situation de simulation *118*
Figure N° 22 : Exemple de capture d'écran Nvivo pour situation de formation traditionnelle *121*
Figure N° 23 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la recherche des fonctions..... *135*
Figure N° 24 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la description de l'évolution temporelle et aux ressources matérielles *137*
Figure N° 25 : Exemples de structure d'un GRAFCET *140*
Figure N° 26 : Exemple de symbolisation..... *142*
Figure N° 27 : GRAFCET donné et GRAFCET attendu..... *143*
Figure N° 28 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la construction étape-transition-liaisons orientés..... *149*
Figure N° 29 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à l'écriture symbolique des composants de la scie *150*
Figure 30 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la construction du schéma du circuit de la partie opérative *154*
Figure N° 31 : Texte surligné en jaune= occurrences liées à l'utilisation du bouton poussoir « test »..... *158*

Figure N° 32 : Texte surligné en jaune = occurrences liées aux règles et la norme ISO 1219.. 159
Figure N° 33 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués au dispositif N° 02 vs redoublement 189
Figure N° 34 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à redoublement vs ensemble du dispositif 190
Figure N° 35 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à interne vs dispositif N° 01 192
Figure N° 36 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à interne vs dispositif N° 02 193
Figure N° 37 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à interne vs ensemble du dispositif 194
Figure N° 38 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à ordinateur personnel vs dispositif N° 01 196
Figure N° 39 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à ordinateur personnel vs dispositif N° 02 197
Figure N° 40 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à ordinateur personnel vs ensemble du dispositif..... 198
Figure N° 41 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à salle multimédia vs dispositif N° 01 200
Figure N° 42 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à salle multimédia vs dispositif N° 02 201
Figure N° 43 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à salle multimédia vs ensemble du dispositif..... 202
Figure N° 44 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à l'identification d'un composant par son symbole en situation de formation traditionnelle 209

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Plan de variable *57*
Tableau 2 : organisation et logistique de prise de données dans la première séquence *88*
Tableau 3: organisation et logistique de prise de données dans la deuxième séquence *89*
Tableau 4: Grille d'organisation des protocoles *90*
Tableau 5: Tableau de codage de protocole *95*
Tableau 6 : Occurrences liées à l'activité de préparation *103*
Tableau 7 : Recherche des fonctions *103*
Tableau 8 : Résultats de la recherche des fonctions par les apprenants *104*
Tableau 9 : Inventaires des tâches *105*
Tableau 10 : Résultats de l'inventaire des tâches par les élèves *106*
Tableau 11 : Résultats de la coordination des tâches entre elles par les apprenants *108*
Tableau 12 : Choix des options technologiques *110*
Tableau 13 : Résultats du récapitulatif du choix des options technologiques par les élèves *110*
Tableau 14 : Résultats de la description du cycle automatique de la scie par les élèves *113*
Tableau 15 : Résultats de l'exploitation du dossier élève *114*
Tableau 16 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de simulation pour le groupe GE *118*
Tableau 17 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de simulation pour le groupe GC *119*
Tableau 18 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de simulation pour l'ensemble de la population *119*
Tableau 19 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de formation traditionnelle pour le groupe GE *121*
Tableau 20 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de formation traditionnelle pour le groupe GC *122*
Tableau 21 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de formation traditionnelle pour l'ensemble de la population *122*
Tableau 22 : Résultats des scores sur 20 obtenus aux différentes situations *123*
Tableau 23 : Gains ou pertes obtenus aux différents travaux par le groupe GE selon le programme de passation *126*
Tableau 24 : Gains ou pertes obtenus aux différents travaux par le groupe GC selon le programme de passation *127*
Tableau 25 : Configuration des notes globales du TP sur 20 pour chaque dispositif et pour chaque élève *129*
Tableau 26 : résultats du test de normalité appliquées aux notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif *131*
Tableau 27 : Exemples de verbalisation suite au test de construction du GRAFCET *164*

Tableau 288 : Exemples de verbalisation suite au test de construction du schéma du circuit de la scie *165*
Tableau 29 : Exemples de verbalisation suite à la mise en valeur des règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219 lors de la construction du GRAFCET *166*
Tableau 30 : Exemples de verbalisation suite à la mise en valeur de la norme ISO 1219 lors de construction du schéma du circuit de la scie *167*
Tableau 31 : Fonctions des instruments des élèves *170*
Tableau 32 : Gains ou pertes obtenus aux différents travaux par groupe et selon le programme de passation *174*
Tableau 33 : Récapitulatif des notes globales du TP sur 20 pour chaque dispositif *175*
Tableau 34 : Données pour test de significativité *176*
Tableau 35 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires des situation de formation du dispositif N° 01 ..... *177*
Tableau 36 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires des situation de formation du dispositif N° 02 ..... *180*
Tableau 37 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à la comparaison des scores du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 ..... *182*
Tableau 38 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à la comparaison des scores du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 sans les redoublants *183*
Tableau 39 : Balises de Cohen (1988) *185*
Tableau 40 : Matrice de corrélation de Spearman dispositif N° 01 vs âge *186*
Tableau 41 : Matrice de corrélation de Spearman dispositif N° 02 vs âge *187*
Tableau 42 : Matrice de corrélation de Spearman ensemble du dispositif vs âge *187*

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

AFNOR :	Association Française de NORmalisation
ANOR :	Agence des Normes et de la Qualité
ANOVA :	Analysis of variance ou analyse de la variance
APC :	Approche Par Compétence
BT :	Brevet de Techniciens
CAP :	Certificat d'Aptitude Professionnel
COMPETY :	Les entités cognitives et constitutives des compétences et leur organisation
CONFEMEN :	Conférence des ministres de l'éducation ayant le français en partage
DIN :	Deutsche Industrie Norm
DSCE :	Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi
GC :	Groupe Contrôle
GE :	Groupe Expérimental
GRAFCET :	GRAphe Fonctionnel de Commande Etape Transition
lSO :	International Organization for Standardization (en anglais) ou Organisation Internationale de Normalisation
MDSR :	Méthode de Défaillance et Substitution de Ressources
MEM :	Maintenance ElectroMécanique
MINESEC :	Ministère des Enseignements Secondaire du Cameroun
OFPPT :	Office de la formation professionnelle et de la promotion du travail
OIF :	Organisation Internationale de la Francophonie
PC :	Partie Commande
PO :	Partie Opérative
PR :	Partie Relation
SAP :	Système Automatisé de Production
TP :	Travaux Pratiques
UNESCO :	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (en anglais) ou Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture.
OMD :	Objectifs du Millénaire pour le Développement
TIC :	Technologie de l'Information et de la Communication

INTRODUCTION GENERALE

La République du Cameroun s'est engagée à jouer sa partition dans le concert des nations. De ce fait, le pays compte sur une jeunesse dynamique et bien formée pour doter son tissu économique d'un capital humain capable de soutenir la croissance. Pour y arriver, L'Etat du Cameroun a élaboré deux documents de référence : la loi N°98/004 du 14 avril 1998 d'Orientation de l'éducation au Cameroun (CAMEROUN, 1998) et le Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi (DSCE) (CAMEROUN, 2009). La loi d'orientation de l'éducation au Cameroun fixe le cadre juridique général de l'éducation au Cameroun pour ce qui concerne les enseignements maternel, primaire, secondaire général et technique, ainsi que l'enseignement normal. Le Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi quant à lui, réaffirme la volonté du Gouvernement du Cameroun de poursuivre la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) dans leur ensemble et en particulier, il place résolument le défi de la croissance et de la création d'emplois au centre de ses actions en faveur de la réduction de la pauvreté. Le Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi est le cadre de référence pour la République du Cameroun de la politique et de l'action Gouvernementale ainsi que le lieu de convergence de la coopération avec les partenaires techniques et financiers en matière de développement. Il constitue pour la République du Cameroun, le vecteur de la recherche de la croissance et de la redistribution de fruits jusqu'aux couches les plus vulnérables de la population avec un accent particulier sur les femmes et les jeunes.

L'évolution du système économique, social et culturel et les transformations dans l'organisation du travail, ont conduit le Ministère des Enseignements Secondaires (MINESEC) du Cameroun, prenant appui sur les deux documents cités plus haut, à se lancer dans un vaste chantier de réorganisation du système éducatif à sa charge afin de garantir une meilleure adéquation formation-emploi. Pour le MINESEC, la professionnalisation des enseignements, adossée au bilinguisme et à la maîtrise des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), aideront, sans conteste, ses apprenants à s'insérer efficacement dans un environnement socioprofessionnel de plus en plus compétitif. La mise en œuvre de ce programme de rénovation pédagogique se devait

de s'appuyer sur une approche pédagogique fiable et efficiente. Pour ce faire, le Cameroun a adopté comme cadre de référence l'Approche Par Compétences (APC).

L'APC sert désormais d'approche méthodologique pour l'élaboration et la rédaction des référentiels de formation au Cameroun. Les buts visés par cette approche méthodologique sont de rendre la personne compétente dans l'exercice de sa profession, c'est-à-dire : lui permettre de réaliser correctement, avec des performances acceptables au seuil d'entrée sur le marché du travail, les tâches et les activités inhérentes à la profession. Favoriser son intégration à la vie professionnelle, notamment, par une connaissance circonstanciée du marché du travail lui permettant de s'y intégrer de façon harmonieuse. Favoriser son évolution et son approfondissement des savoirs professionnels en lui permettant de comprendre les principes sous-jacents aux différentes techniques utilisées ; d'acquérir des méthodes de travail et le sens de la discipline ; d'acquérir l'autonomie, le sens de l'initiative et des responsabilités dans l'exécution de ses tâches ; de renforcer sa préoccupation pour la qualité du travail ((Jonnaert (2002b) ; Perrenoud (1997) ; Tardif, (2003) in Jonnaert (2006)). Favoriser sa mobilité professionnelle en lui permettant d'accroître sa capacité d'apprendre, de s'informer et de se documenter ; d'acquérir des attitudes positives à l'égard des changements technologiques ; de se préparer à la recherche dynamique d'un emploi ; d'acquérir une perception juste des possibilités de carrière dans son domaine de formation. En somme, la principale mutation induite par cette approche adoptée au Ministère des Enseignements Secondaires est le basculement des enseignements théoriques à la professionnalisation des enseignements.

La professionnalisation des enseignements est d'autant plus prononcée en filière technique que la loi d'orientation dans son article 36 et plus précisément à l'alinéa 3 stipule qu'en plus de l'enseignement général, une formation pratique est offerte aux élèves dans les collèges et lycées professionnels, selon leur orientation. C'est pour cela que l'enseignement des matières techniques et professionnelles dans les techniques industrielles des établissements d'enseignement secondaire technique est constitué d'un mélange d'exercices théoriques et pratiques pour que l'apprentissage soit proche des réalités du monde professionnel ((Bouabid, Salmi-Bouabid, 2005), (Gravier et al., 2006), (Uran et al., 2007)). De ce fait, toutes les disciplines liées aux techniques industrielles, à l'instar de l'automatisme ont une partie pratique dans leurs enseignements. Cette phase

pratique a pour objectif de permettre aux élèves d'une part de s'intéresser un peu plus à leur travail par le fait qu'ils soient acteurs et non plus spectateurs et d'autre part d'avoir une démarche déductive. En effet, l'élève qui manipule peut vérifier et s'approprier les théories vues en cours ou même échafauder ces théories par l'observation, la mesure puis l'analyse. Il élabore donc lui-même son savoir-faire. Les manipulations liées aux travaux pratiques réels sont particulièrement importantes pour acquérir des compétences haptiques et la conscience d'instrumentation. L'apprentissage de l'automatisme passe donc par un savoir (théorie) et un savoir-faire (application du savoir). Le savoir-faire acquis doit être si possible en adéquation avec les réalités et les besoins du monde industriel. Pour cela, il est important que l'apprenant soit confronté à des problèmes « réels » et utilise donc des parties opératives « réalistes ».

Au Cameroun, bien que les laboratoires classiques et les ateliers de travaux pratiques soient très utiles et éducatifs, ils sont limités en ce qui concerne le nombre, les coûts d'équipements, d'espace, de temps, et de personnel. Pour les établissements qui en disposent, les équipements disponibles sont vétustes et souvent inadaptés à cause de l'évolution technologique galopante. Par décision ministérielle N° 140/B1/1064 du 15 février 2002, les établissements d'enseignement secondaire camerounais ont été dotés de matériel informatique et des centres multimédias équipés d'au moins 30 ordinateurs multimédias, et des enseignants formés dans les écoles normales supérieures du Cameroun avec un niveau avancé dans la maîtrise de l'outil informatique. Cette mesure a été suivie de l'arrêté N° 3475/D/63/MINEDUC/CAB du 17 juin 2003 portant introduction du cours d'informatique dans les établissements scolaires. Les difficultés relevées plus haut avec les laboratoires classiques traditionnels et les ateliers de travaux pratiques peuvent être contournées en adoptant les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), car tous les domaines de l'enseignement et de la formation bénéficient des apports des TIC, notamment celle de l'utilisation de la simulation. L'utilisation des simulations dans l'enseignement tel que l'ont présenté Guéraud et al. (1999), Gravier (2007), BRIKA et BALLA (2009) pour ne citer que ceux-là peut être l'un des moyens destinés à lutter contre l'insuffisance des pratiques pédagogiques en liaison avec les cours de Travaux Pratiques (TP). Bainbridge et Ruiz Quintanilla (1989) et Patrick (1992) in LEPLAT (2005, p.3),

soutiennent que le but de toute simulation utilisée pour la formation est de maximiser le transfert à la vraie tâche dans son contexte normal.

Au Ministère des Enseignements Secondaires, la spécialité Maintenance Electromécanique (MEM) s'occupe de la formation professionnelle initiale des techniciens en maintenance électromécanique. Le curriculum de cette spécialité a subi des profondes modifications en s'arrimant à l'APC. Pour cela il a fallu trouver les voies et moyens afin d'améliorer la qualité de la réalisation effective des travaux pratiques en automatisme et élaborer de nouvelles stratégies d'apprentissage favorisant l'acquisition et le développement de compétences professionnelles. Une des solutions a été l'introduction de la simulation informatique dans le curriculum de la spécialité Maintenance Electromécanique (MEM) et ceci dès la rentrée scolaire 2016-2017 (arrêté N° 301/16/MINESEC/IGE/IPTI du 28 novembre 2016, portant définition du référentiel de formation de la spécialité maintenance électromécanique au second cycle de l'enseignement secondaire technique et professionnel). Nous souhaitons faire le point sur cette solution qu'est la simulation, en nous posant la question de la pertinence de l'utilisation de ce dispositif technico-pédagogique, en particulier au regard de l'acquisition de compétences professionnelles pour les apprenants, lors de la réalisation des travaux pratiques en automatisme pour la spécialité maintenance électromécanique. C'est dans ce sillage que s'inscrit la présente étude intitulée « **simulation informatique en enseignement des travaux pratiques d'automatisme : cas du secondaire technique industriel au Cameroun** ».

Notre étude est découpée en sept chapitres encadrés d'une part par une introduction générale situant notre problématique et soutenant le cheminement, tant scientifique que technique, retenu dans notre document et d'autre part par une conclusion générale permettant d'apprécier l'étendue du travail fourni et aussi les recommandations nées des travaux présentés. Une large bibliographie étaye et situe notre travail. Une annexe complète l'ensemble.

Les sept chapitres de la thèse sont les suivants :

Le premier chapitre présente un état de l'art scientifiquement dense sur la simulation au service de la formation professionnelle. Les travaux pratiques en enseignement technique et professionnel sont présentés. Ce chapitre dresse aussi la

typologie de l'automatisme dans le secteur industriel. Il précise également les stratégies mises en place via l'APC à l'aide de l'activité en situation.

Dans le deuxième chapitre, nous exposons notre problématisation et les cadres théoriques qui seront mobilisés dans notre étude. Le contexte de la présente étude est présenté. Nous formulons notre problème. Nous indiquons nos questions de recherches. Nous formulons les hypothèses devant servir à donner du sens aux questions soulevées. Nous dressons le plan des variables qui servira de support à la réalisation de notre étude. Nous nous focalisons sur la didactique professionnelle, cadre théorique général de notre étude. Ce chapitre comporte aussi le modèle COMPETY « Les entités cognitives et constitutives des compétences et leur organisation ». La « double approche » fait aussi l'objet de ce chapitre qui présente également le formalisme « prédicat/arguments ».

La méthodologie de recherche fait l'objet du troisième chapitre. Nous présentons la démarche méthodologique de la didactique professionnelle. Nous y abordons également la démarche mise en œuvre dans notre étude. Ce chapitre est aussi consacré à la méthode déployée pour la collecte de données. Nous présentons le traitement des données mis en œuvre ainsi que le déploiement sur le terrain. L'approche et les outils de mise en œuvre font aussi partie de ce chapitre.

Le quatrième chapitre s'intéresse à la présentation du corpus des données. Le corpus des données issus des activités d'analyse du fonctionnement de l'automatisme sont présentés. Nous étalons le corpus des données lié aux activités en situation de simulation. Nous indiquons le corpus des données produit par les activités en situation de formation traditionnelle. Nous y présentons aussi les résultats des scores obtenus aux différentes évaluations.

La nature des ressources mobilisées par les acteurs en situations d'automatisation et de simulation fait l'objet du cinquième chapitre. Nous présentons le premier groupe de ressources mobilisées qui sont en fait les représentations pour l'action d'automatisation. Le deuxième groupe de ressources mobilisées constitué des organisateurs de l'activité en situation simulée est étalé. Nous présentons le troisième groupe de ressources mobilisées rattaché au système d'instruments en situation simulée.

Le sixième chapitre présente les effets de la position respective de la formation à l'aide de la simulation et de la formation traditionnelle. La configuration des scores et le

dossier élève y est rappelée. Nous y conduisons des traitements statistiques dépendamment des dispositifs et aussi ceux relatifs à l'influence du dossier élève sur les dispositifs. Action et activité des élèves et effet de la position respective de la simulation et de la formation traditionnelle fait aussi partie de ce chapitre.

Le dernier chapitre est consacré à la synthèse générale et aux discussions. Les résultats obtenus sont synthétisés. Les liens avec des études antérieures sont présentés. Les limites de l'étude sont formulées. Enfin, les perspectives sont développées.

La conclusion générale restitue les enjeux et met en évidence l'originalité du travail effectué à savoir : la nature des ressources mobilisées par les apprenants en situation simulée pour résoudre le problème d'automatisation de la scie pour profilé d'aluminium.

CHAPITRE 1 : SIMULATION, TRAVAUX PRATIQUES ET AUTOMATISME EN FORMATION TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL

Le présent chapitre développe dans un premier temps, le thème de la simulation en liaison avec la formation professionnelle, dans un second temps s'arrête sur les travaux pratiques en enseignement technique et professionnel, dans un troisième temps fait un détour sur l'automatisme en contexte industriel et dans un quatrième temps se focalise sur l'APC.

1.1. LA SIMULATION AU SERVICE DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE

1.1.1. Différents types de simulation

Selon la définition du dictionnaire *Larousse*, la simulation est une « *représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié*. » Guéraud et al. (1999) trouvent cette définition très générale, car elle ne permet pas de faire d'hypothèses sur la finalité de la simulation. Ils proposent plutôt une répartition des simulations informatiques en trois catégories selon l'objectif poursuivi.

Simuler pour comprendre représente la première catégorie proposée par Guéraud et ses associés et qu'a repris Ndoumatseyi Botongoye, (2012, p.99). Il s'agit de chercher à comprendre un phénomène réel à partir de la simulation d'un modèle (le plus souvent numérique). Dans une démarche d'évaluation environnementale des filières de gestion des déchets, Peyronnard et al., (2009) ont mis sur pied une modélisation dédiée à l'identification des réactions de dissolution/ précipitation contrôlant la réponse à l'attaque acide d'un déchet stabilisé/solidifié par un liant hydraulique.

Simuler pour construire est la deuxième catégorie déclinée par les mêmes auteurs. A ce niveau, la simulation informatique est utilisée pour tester un nouvel objet avant de passer à la phase de réalisation. Nkenlifack et al., (2011) ont élaboré un algorithmique dans un

but prévisionnel de mise en place d'un système automatisé industriel de contrôle d'un laminoir.

Simuler pour apprendre concerne la dernière catégorie développée par Guéraud et ses associés. Pour ce point, la simulation est introduite dans les dispositifs d'apprentissage sur la base des objectifs pédagogiques spécifiques. Chekour et al., (2015) ont intégré le simulateur Pspice dans les cours de science physique afin de faciliter la tâche cognitive des lycéens marocains dans le processus d'acquisition des concepts en électricité.

Dans les domaines de l'électronique et des TIC, la simulation est « *the representation of physical systems and phenomena by computers, models and other equipment* » (Lackie, 2007, p.1097).

1.1.2. Les origines de l'utilisation de la simulation dans la formation professionnelle

L'aviation a révolutionné le domaine des transports au début du XXème siècle (Granry, Moll, 2012). La conception des simulateurs pour la formation a accompagné le développement des aéronefs, ceci dans le but de permettre aux futurs pilotes d'exercer leurs compétences en pilotage sans mettre leur vie en danger et détruire le matériel volant. L'utilisation des simulateurs d'entraînement pour former des pilotes remonte dans les années 1900. Le rôle essentiel des simulateurs d'entraînement était d'améliorer les phases de vol, car les premiers simulateurs permettaient aux pilotes de savoir comment l'avion pouvait réagir durant le vol. Les risques d'accident étaient ainsi minimisés, en plus les pilotes se familiarisaient avec le comportement de l'avion. En somme, la simulation permettait la formation des pilotes à moindre coût, tout en préservant l'environnement par la réduction des vols d'entraînement dans des conditions réelles.

En 1967, la formation des professionnels de la santé c'est vue dotée du premier mannequin contrôlé par ordinateur du nom de « Sim One » (Hoffman, Abrahamson, 1975). Ledit mannequin conçu par l'Université de Californie du Sud pour former uniquement les anesthésistes à l'origine, a été modifié en 1971 pour le rendre utile à la formation de divers professionnels de la santé. « Sim One » reproduit de nombreuses fonctions humaines (respiration, vue, toucher, …) puisqu'il a tous les organes fonctionnels (bouche, yeux, cœur, …). Dès 1995, la simulation fait son entrée dans le plan de formation des exploitants des centrales nucléaires et y connait un essor considérable. Partant du fait que

« *l'exploitation des centrales nucléaires nécessite un haut degré de maîtrise des installations, que ce soit en termes de pilotage ou de maintenance ou en situation normale ou accidentelle* » (Granry, Moll, 2012, p.22), et que les formations en grandeur réelle sont difficiles à réaliser et à hauts risques, les simulateurs sont utilisés pour la formation des agents de conduite des centrales nucléaires. En somme, l'usage de la simulation en formation professionnelle est étroitement lié à la possibilité d'« *arriver à une meilleure intégration entre le lieu où une compétence est apprise et celui où elle est mise en œuvre* » (Depover et al., 2007, p.192).

De nos jours, avec le développement des nouvelles technologies, les simulateurs d'entrainement et d'apprentissage qui permettent de familiariser plus ou moins les apprenants avec le réel, deviennent des outils presque ordinaires d'aide au développement des compétences. Dans cette vision, il est implicitement admis que les expériences en situations réelles et en situations de simulation sont de nature à développer des compétences professionnelles (Wagemann, Percier, 2004).

1.1.3. La simulation et les formations professionnelles

Cerisier (2011) relève que les technologies numériques sont plébiscitées, lorsqu'elles sont mises au service de l'activité de l'apprenant sur la base d'une scénarisation l'impliquant selon une approche constructiviste ou socioconstructiviste. Depover et al. (2007) ont relevé qu'« *en formation professionnelle, les environnements de simulation occupent depuis longtemps une place de choix* ». D'après Béguin, Pastré (2002) la simulation permet de construire les contenus de formation à partir des situations, et non plus à partir de savoirs disciplinaires, c'est à dire que la simulation peut être appréhendée comme une manière de placer les situations professionnelles au centre des dispositifs de formation. L'objectif poursuivi par cette disposition est l'acquisition ou le développement de compétences liées à un domaine professionnel bien précis. Les recherches qui portent sur l'approche soulignée plus haut sont marquées par l'analyse de l'activité professionnelle et l'analyse des apprentissages qui se font sur simulateur (Pastré, Club CRIN Évolution du travail et mutations technologiques, 2005). Dans son travail, Pastré (2004) montre que les régleurs en plasturgie ont amélioré leurs compétences grâce à la formation avec simulation. Pour y parvenir, l'auteur a mis sur pied un dispositif de formation qui s'appuie sur la

situation professionnelle modélisée des régleurs en plasturgie. Ledit dispositif reposait sur une séance de formation de 03 heures qui consistait à utiliser la situation de travail et la simulation comme des supports d'apprentissage systématique, par une modification du but de l'activité. L'auteur a utilisé un pré-test (première passage sur simulateur), un post-test (deuxième passage) et un groupe contrôle pour évaluer les effets de la formation. L'effectif de la population était de 10 personnes. L'analyse qualitative des résultats montre que les sujets qui ont bénéficié de la séance de formation sur simulateur ont une progression considérable entre pré-test et post-test : la formation a donc considérablement amélioré les compétences des régleurs.

Vidal-Gomel (2001) pour sa part, montre sur une population constituée de professionnels opérateurs chargés de la gestion des risques professionnels dans le domaine de la maintenance des systèmes électriques, que le développement des compétences relève de l'intégration de dimensions « schématiques » et représentationnelles. Pour arriver à cette conclusion, Vidal-Gomel a élaboré une situation de simulation visant à tester les hypothèses émises sur les différentes dimensions des compétences dont disposent les techniciens du domaine de la maintenance des systèmes électriques pour gérer des risques d'accident. Les artefacts principaux de la simulation mise en œuvre sont une armoire électrique et un panneau lumineux de sortie, outils habituellement utilisés pour ces simulations. Vingt-trois opérateurs repartis en 04 groupes en fonction de leur niveau d'expérience et 03 formateurs ont accepté de participer à cette simulation. Les traces de l'activité sont obtenues à partir des films des différentes simulations et des séances d'auto-confrontation. Ces traces qui constituent des données pour l'auteure, sont donc des éléments observables de l'activité des opérateurs et des formateurs, et leurs verbalisations. Les données recueillies ont été codées en adaptant aux spécificités de la simulation, le codage « prédicat-argument » proposé par Hoc et Amalberti (1998). Les résultats montrent que d'une part, les deux variables externes, champ et degré d'expérience, à partir desquelles Vidal-Gomel a construit les quatre groupes d'opérateurs, ont un effet sur l'accroissement de l'autonomie, indicateur du développement des compétences des opérateurs. D'autre part, le développement des compétences relève de l'intégration des dimensions « schématiques » et représentationnelles. Les dimensions « schématiques » et représentationnelles que sont les concepts pragmatiques, organisateurs de l'activité,

classes de situations, instruments et systèmes d'instruments des opérateurs permettent de mettre en évidence leur articulation avec différentes dimensions des compétences.

De même, Rogalski et Durey (2004) ont montré que l'analyse des effets de la formation et de l'utilisation d'outils cognitifs en situation permet d'identifier le potentiel de développement des compétences d'un apprenant. Dans le cadre d'une étude sur la formation opérationnelle, une épreuve d'utilisation d'un outil intitulé « feu de forêt » a été élaborée pour exploiter les fonctionnalités principales de l'outil. Cette épreuve a été proposée à 74 stagiaires en formation continue (42 sujets avec expérience du feu de forêt et 32 officiers sans aucune expérience). Les résultats globaux ont mis en évidence des éléments généraux sur l'accessibilité de l'outil, sur le rôle positif de la formation ainsi que le rôle d'une expérience préalable du feu de forêt. Ces résultats montrent aussi la difficulté relativement plus grande des items qui demandent de produire des données par rapport à celles qui demandent à en interpréter.

Dans son travail, Caens-Martin (2005) montre que dans le domaine de la taille de la vigne, la formation avec simulation a considérablement amélioré les compétences des professionnels des exploitations viticoles. Pour y parvenir, l'auteur a élaboré un outil de formation, un simulateur de taille de la vigne comprenant 03 modules : un module de résolution de cas (créer les conditions d'un développement des compétences en situation par l'exercice de l'activité), un module historique (permettre à l'apprenant et au formateur de relire l'ensemble des opérations qui ont contribuées à aller à la résolution de l'exercice) et le module création de d'exercices (créer ou modifier des nouvelles situations de taille). L'effectif de la population était composé de 08 stagiaires en bac professionnel et leurs tuteurs. Une série de 20 ceps retenus pour leur degré de complexité ont été soumis à la population de l'étude. L'analyse qualitative des résultats montrent que les stagiaires ont amélioré leurs raisonnements de taille et que les activités de médiation et d'étayage du formateur ont un effet dans le processus de construction des compétences des apprenants.

Boucheix (2005) pour sa part, montre sur une population constituée de professionnels grutiers expérimentés, qu'une progression importante est notée après l'utilisation de la simulation. Pour arriver à cette conclusion, Boucheix a élaboré une situation de simulation visant à vérifier le bénéfice éventuel du travail avec simulateur sur la compréhension des courbes et tableaux par des grutiers faiblement lettrés. L'auteur a utilisé un pré-test

(lecture et utilisation de courbes et des tableaux de charges classiques) sous forme d'épreuve composée de 8 items, puis un passage sur simulateur ensuite un post-test sous forme des exercices composés des 8 items utilisés lors du pré-test. Vingt-huit grutiers professionnels expérimentés faiblement lettrés ont été répartis en 02 groupes. Le premier de 18 personnes est le groupe expérimental, le deuxième de 10 grutiers est le groupe contrôle. Les résultats montrent une progression importante du groupe expérimental entre le pré-test et le post-test et pas d'évolution dans le groupe contrôle. Des analyses statistiques ont confirmé les résultats. Boucheix a conduit une deuxième expérience aux fins de comparer la formation sur simulateur et la formation traditionnelle. La population était composée de 38 grutiers professionnels différents de la première expérience. Deux groupes ont été constitués. Le premier groupe est composé de 22 personnes dont 13 lettrés et 9 illettrés et faiblement lettrés. Le deuxième groupe est constitué de 16 grutiers dont 09 lettrés et 7 illettrés et faiblement lettrés. Afin de mieux comprendre l'effet de la simulation par rapport à la formation traditionnelle et d'évaluer la position optimale de celle-ci dans le déroulement de l'apprentissage, l'auteur a utilisé le programme de passation suivant : Le groupe 1 commence par le pré-test, enchaine avec la simulation, puis passe au post-test 1, poursuit avec la formation traditionnelle et finie par le post-test 2. Le groupe 2 commence par le pré-test, enchaine avec la formation traditionnelle, puis passe au post-test 1, poursuit avec la simulation et finie par le post-test 2. Les résultats montrent d'une part que le simulateur utilisé au début de la formation a un effet important chez les grutiers illettrés et faiblement lettrés et la formation traditionnelle qui suit n'apporte pas de progrès majeur. La formation traditionnelle utilisée en phase initiale est moins importante que celui de la simulation. Les analyses statiques ont confirmé ces résultats. D'autre part l'apport de la formation et moins importante en deuxième position qu'en position initiale, inversement l'apport du simulateur est plus important en position initiale qu'en position finale. Les analyses statistiques les ont confirmées.

Guibert (2005) dans celui du laminage à chaud, Camusso (2005) dans le diagnostic des cartes électroniques, pour ne citer que ceux-là ont montré que la formation avec simulation a considérablement amélioré les compétences des professionnels dans leur domaine respectif.

Par contre, Ndoumatseyi Botongoye (2012) a cherché à comprendre les conditions de légitimation de l'usage des simulateurs (ensemble de supports didactiques, équipements matériels scolaires, hormis l'équipement réel) dans la formation des élèves de la filière maintenance des systèmes motorisés du Gabon et les logiques de formation dans lesquelles ces simulateurs s'inscrivent. Pour ce faire, l'auteur a utilisé une enquête par questionnaire adressée à 14 enseignants et 04 élèves de cinq établissements du Gabon. Les résultats de ladite enquête montrent que d'une part, les simulateurs pallient dans une certaine mesure les déficits chroniques d'équipement des établissements gabonais. Mais, d'autre part, ces résultats soulignent toute l'ambiguïté inhérente à leur usage puisqu'il impacte le processus d'enseignement, d'apprentissage qui se déconnecte des besoins de formation.

1.1.3. La simulation dans les professions de la santé

Cook et al. (2011) soutiennent que la formation boostée par la simulation dans la formation des professionnels de la santé est toujours associée à des effets importants en termes d'acquisition des connaissances, des compétences et des comportements des apprenants. Dans leur recherche, ils ont réalisé une revue systématique et une méta-analyse de tous les articles de recherche, publiés dans toutes les langues jusqu'en mai 2011 et évaluant la simulation par rapport à aucune intervention pour la formation pratique des apprenants relevant des métiers de la santé. Leur étude a été planifiée, menée et rédigée dans le respect des normes PRISMA de qualité pour les méta-analyses. L'analyse des résultats obtenus à partir de 10.903 articles a permis d'identifier 609 études admissibles pour 35.226 apprenants inscrits. Statistiquement, et comparativement à l'absence d'intervention ou combiné au curriculum traditionnel, l'apprentissage par simulation technologique présentait des bénéfices reproductibles en matière d'acquisition de connaissances, des compétences et des comportements, et de soins aux patients.

Pour ce qui est de la formation professionnelle en chirurgie endoscopie et cholécystectomie laparoscopique à base de simulation, Dawe et al. (2014) concluent que *« Skills acquired by simulation-based training seem to be transferable to the operative setting for laparoscopic cholecystectomy and endoscopy »* (p.1). Les auteurs ont déployé une stratégie de recherche systématique utilisée en 2006 et mise à jour pour récupérer les

études pertinentes. L'inclusion des articles a été déterminée à l'aide d'un protocole préétabli, une évaluation indépendante par deux (02) examinateurs et une décision de consensus final. Les résultats qui découlent de leur étude montrent que les apprenants qui ont acquis des compétences grâce à la simulation avant leur passage dans un bloc opératoire, obtiennent des scores plus élevés avec moins d'erreurs que leurs homologues qui ne sont pas passés par la simulation. Les recherches dans le domaine de la formation professionnelle en chirurgie à base de simulation menées par Sturm et al. (2008), Aggarwal et al. (2008) et Sutherland et al. (2006) pour ne citer que ceux-là, sont arrivées à la même conclusion que celle de Dawe et Al. (2014).

Dans leur travail, Ferlitsch et al. (2010) ont conclu que la formation sur simulateur affecte de manière significative la précision technique aux stades précoce et intermédiaire de la formation en endoscopique gastro-intestinale et aussi que la simulation aide à réduire le temps nécessaire pour atteindre la compétence technique dans le domaine des examens endoscopiques gastro-intestinales. Deux types d'évaluation ont été utilisées dans leurs travaux. La première évaluation a concerné les patients, ces derniers se sont prononcés sur l'inconfort et la douleur après l'endoscopie pratiquée par les acteurs. La seconde évaluation a été conduite par les experts du domaine et leur évaluation a porté sur le temps, la technique (intubation, passage pylorique, Jmaneuver) et le diagnostic des entités pathologiques des apprenants. La population était constituée des résidents en médecine interne sans expérience de l'endoscopie. De 2003 à 2007, 28 résidents ont été inscrits et scindés en deux groupes. Le premier groupe (groupe S) a commencé la formation par la simulation, tandis que le second groupe (groupe C) a reçu une formation conventionnelle uniquement. Les résultats montrent qu'il y a des différences significatives dans les scores du groupe S comparativement à ceux du groupe C pour ce qui concerne le temps, la technique et le diagnostic. Et aucune différence significative, entre les deux groupes, s'agissant des scores d'inconfort et de douleur.

1.2. LES TRAVAUX PRATIQUES EN ENSEIGNEMENT TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL

Mialaret (2011) nous fait savoir que le mot « pratique » est assez vague lorsqu'on se réfère à des formes et niveaux de l'activité humaine. Chez les professionnels, la pratique est

confondue avec la recherche constante des solutions les plus pertinentes qu'il faut apporter aux situations auxquelles ils sont confrontés. Pour Mialaret (2011), ces solutions pertinentes apportées par le professionnel sont non seulement des réponses adaptées aux exigences de la situation, mais elles sont considérées par le sujet comme la recherche d'une solution originale aux problèmes rencontrés. Dans le cas d'espèce, la pratique est donc inséparable d'une intense activité psychologique pour découvrir ou prendre conscience des problèmes qui se posent, pour analyser les éléments de la situation, pour rechercher une solution et ne pas se contenter d'appliquer les recettes déjà connues (ou, si c'est le cas, c'est en toute connaissance de cause que le sujet le fait et il est capable de le justifier).

Decomps, Malglaive (2011) nous révèlent que l'élément essentiel pour garantir l'efficacité professionnelle est le savoir pratique. Ce savoir pratique devient le moteur de toutes les connaissances, car au contact avec la réalité de l'activité professionnelle, il fait appel à toutes les autres formes de connaissance pour les mobiliser dans l'action. Donc coupler formation purement scolaire et activité professionnelle, revient à acquérir le savoir pratique, principe même de l'alchimie des compétences, c'est-à-dire, opérationnaliser les connaissances livresques afin de produire des compétences.

L'abondante littérature sur l'apprentissage par les TP ((Nedic et al., 2003), (Feisel, Rosa, 2005), (Ma, 2006), …) permet d'identifier trois types de travaux pratiques (TP) différents : réel, simulé, et à distance.

1.2.1. Travaux pratiques réels

Les travaux pratiques réels consistent en des manipulations physiquement réelles. L'apprentissage par les travaux pratiques réels est un processus : de découverte où les élèves apprennent en manipulant physiquement l'équipement, et de collaboration entre les membres d'une équipe. Deux caractéristiques distinguent les travaux pratiques réels des deux autres types de travaux pratiques :

(1) tout l'équipement exigé pour exécuter la manipulation est physiquement installé ;
(2) les apprenants qui exécutent les travaux pratiques sont physiquement présents dans la salle dédiée aux travaux pratiques.

En revanche, les travaux pratiques réels sont considérés comme trop coûteux. Ils exigent beaucoup d'espace, du temps d'instructeur, et de l'infrastructure expérimentale, qui est

sujette à des coûts croissants (Farrington et al., 1994). Aussi, en raison de la limitation de l'espace et des ressources, les travaux pratiques réels sont incapables de répondre à certains des besoins particuliers des élèves handicapés (Colwell et al., 2002) et des utilisateurs éloignés (Watt et al., 2002). En plus, les évaluations des étudiants donnent à penser que lesdits étudiants ne sont pas satisfaits des Travaux Pratiques réels actuelles (Dobson et al., 1995).

1.2.2. Travaux pratiques simulés

Les travaux pratiques simulés sont les imitations d'expériences réelles. Toute l'infrastructure nécessaire pour les travaux pratiques n'est pas réelle, mais simulée sur des ordinateurs. Mahdi et al. (2017) ont montré que l'utilisation des logiciels de simulation informatique en classe permet aux enseignants de combler le manque des travaux pratiques et d'améliorer la qualité de l'enseignement des sciences physiques. Pour arriver à ce résultat, les auteurs ont délivré en ligne un questionnaire à deux cents enseignants de science physique. Ledit questionnaire visait à déterminer dans quelle mesure les simulateurs informatiques auraient des effets positifs sur l'apprentissage des phénomènes physiques.

Canizares, Faur, (1997) font remarquer que le coût de la simulation n'est pas nécessairement inférieur à celui des véritables laboratoires. Les simulations réalistes nécessitent une grande quantité de temps et d'argent pour être développées tout en courant le risque de ne pas modéliser fidèlement la réalité (Papathanassiou et al., 1999). La théorie de l'apprentissage situé (par exemple, McLellan (1996)) relève que ce que les élèves apprennent à partir des simulations c'est principalement comment faire fonctionner les simulations.

1.2.3. Travaux pratiques à distance

Les travaux pratiques à distance sont caractérisés par la réalité médiatisée, mais ces types de travaux pratiques sont similaires aux travaux pratiques réels, car ils ont besoin d'espace et de dispositifs. Ce qui différencie les travaux pratiques à distance des travaux pratiques réels, c'est la distance entre l'expérience et l'expérimentateur. Dans des travaux pratiques réels, l'équipement peut être localement médiée par le contrôle de l'ordinateur. En

revanche, dans les travaux pratiques à distance l'expérimentateur obtient des données en contrôlant un équipement géographiquement éloigné. El Amine, Louiza, (2005) ont proposé un modèle pour l'intégration des travaux pratiques en ligne dans le contexte des deux dispositifs de formation E_FCAR et E_NETSEC. Lelevé et al., (2008) ont défini une première modélisation intra-disciplinaire puis interdisciplinaire de télé-TP basé sur deux éléments principaux : la plate-forme de télé-TP d'une part et d'autre part les acteurs humains et informatiques : apprenant, encadrant, techniciens et concepteurs de scénarii pédagogiques.

1.2.4. Travaux Pratiques et acquisition de compétences

Parlant de la typologie détaillée supra , la revue de la littérature sur l'apprentissage par les travaux pratiques ((Ma, Nickerson, 2006), (Krivickas, Krivickas, 2007), …) souligne que du point de vue de l'acquisition de compétences, chaque type de travaux pratiques possède ses défenseurs et ses détracteurs. Decomps et Malgaive (2011) indiquent qu'un pilote d'avion n'inspirera pas confiance tant qu'il n'aura pas réellement pris les commandes d'un avion. Et ce malgré les connaissances théoriques, technologiques et les centaines d'heures d'exercice sur un simulateur de vol.

Engum et al. (2003) ont montré que les exercices pratiques réels étaient plus efficaces que ceux qui sont simulés, en termes d'acquisition des compétences. Dans leur recherche, le hasard, le pré-test et le post-test ont été utilisés. Un total de 163 participants, âgés de 20 à 55 ans a été recruté (70 étudiants en soins infirmiers et 93 étudiants en troisième année de médecine). Les méthodes de formation à l'utilisation du cathéter se basait sur une méthode traditionnelle d'enseignement comprenant un module d'auto-apprentissage scénarisé qui impliquait une bande vidéo de 10 minutes de démonstration de l'instructeur et des manipulations manuelles à l'aide d'un mannequin en plastique. La seconde méthode impliquait un multimédia interactif, disponible dans le commerce, une simulation informatique de cathéter (CathSim). L'analyse des résultats a montré que les scores obtenus lors du prétest sont les mêmes pour les deux groupes (simulation et TP réel). Et qu'*a contrario*, il existe une différence significative en termes de gain cognitif, de satisfaction et de procédure pour les étudiants du groupe « TP réel » comparativement à ceux du groupe « simulation ».

De même Buckley et al. (2004) ont relevé que l'utilisation des simulations en classe n'avait pas amélioré l'acquisition des connaissances, des compétences et des comportements des élèves, comparativement aux groupes témoins. Les chercheurs ont développé « BioLogica », un environnement d'apprentissage de la génétique assisté par ordinateur. « BioLogica » a été utilisé dans sa première étape d'investigation par 02 enseignants et 45 élèves. Chaque enseignant a conduit une leçon dans 02 groupes pour la même durée. Le groupe de contrôle recevait les leçons habituelles de l'enseignant en génétique, tandis que le groupe expérimental utilisait BioLogica. Pour cette étude, les chercheurs ont mis en œuvre le pré-test et le post-test pour recueillir les données. L'analyse des résultats montre que lors du pré-test il n'y a aucune différence statistiquement significative entre le groupe contrôle et le groupe expérimental. Par contre, une différence statistiquement significative a été relevée entre le groupe de contrôle et le groupe expérimental lors du post-test, le groupe de contrôle ayant obtenu un score plus élevé que le groupe expérimental.

1.3. L'AUTOMATISME INDUSTRIEL

Un automatisme est un sous-ensemble d'une machine, destinée à remplacer l'action de l'être humain dans des tâches en général simples et répétitives, réclamant précision et rigueur. On est passé d'un système dit manuel, a un système mécanisé, puis au système automatisé.

1.3.1. Système Automatisé de Production

Dans l'industrie, les Systèmes Automatisés de Production (SAP) sont devenus indispensables. Ils permettent d'effectuer quotidiennement les tâches les plus ingrates, répétitives et dangereuses (Bourgeois, 1997). Parfois, ces SAP sont d'une telle rapidité et d'une telle précision, qu'ils réalisent des actions impossibles pour un être humain. Le savoir-faire de l'opérateur est transposé dans le système automatisé : il devient le « processus ». Un processus peut être considéré comme un système organisé d'activités qui utilise des ressources (personnels, équipements, matériels et machines, matières

premières et informations) pour transformer des éléments entrants en éléments de sortie dont le résultat final attendu est un produit (Moreno, Peulot, 2002).

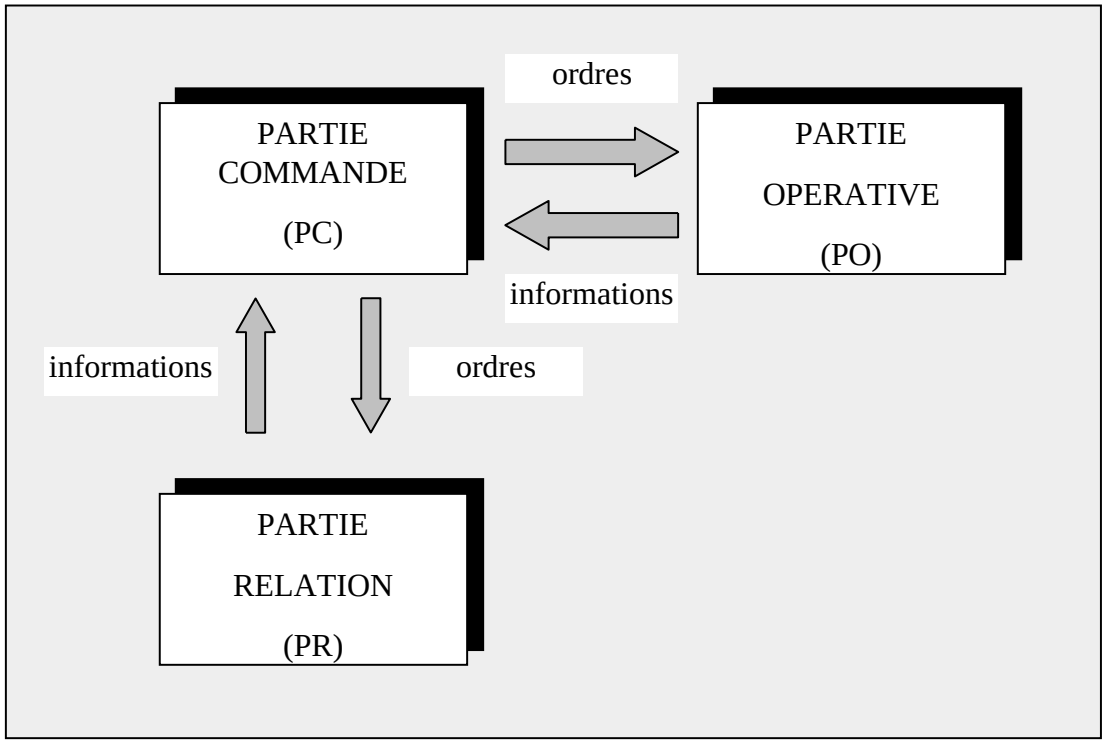
Un système automatisé de production comprend plusieurs chaînes fonctionnelles (Morin et al., 2011) :

- la chaîne d'action comprenant tous les composants (pré-actionneurs, actionneurs, transmetteurs et effecteurs) qui transforment, adaptent et transmettent le flux de puissance nécessaire à la réalisation d'une fonction ;
- la chaîne d'acquisition, constituée de tous les composants (capteurs, transmetteurs, convertisseurs, carte d'entrée de l'automate, les composants du pupitre de dialogue) qui permettent d'acquérir et de traiter une information ;
- la chaîne de sécurité, avec le composant appelé module de sécurité chargé de réaliser la gestion des différentes sécurités ;
- la chaîne de dialogue est constituée de tous les composants (bouton poussoir, bouton arrêt d'urgence, bouton tournant, voyant lumineux) du pupitre de commande qui servent d'interface homme-machine ;
- la chaîne d'alimentation rassemble les composants (disjoncteur différentiel, transformateur,…) ou le groupe de composants (centrale pneumatique, centrale hydraulique,...) chargés de produire l'alimentation nécessaire au fonctionnement de chaque composant de la chaine fonctionnelle.

En somme, un système automatisé de production est un système généralement complexe qui doit également répondre à des contraintes économiques et donc à une certaine flexibilité.

Un système automatisé de production est constitué d'une partie opérative (PO), d'une partie commande (PC) et d'une partie relation (PR) qui dialoguent ensemble (Bleux, Fanchon, 1996).

Figure N° 01: Les trois parties d'un automatisme (Moreno, Peulot, 2002, page 4)



- La partie opérative (PO) est la partie visible du système. Elle regroupe les mécanismes, tous les composants de la chaîne d'action et les capteurs-machines tels que les fins de courses, les détecteurs, etc. (composants de la chaîne d'acquisition). La partie opérative exécute les ordres émanant de la partie commande pour conférer une valeur ajoutée à la matière d'œuvre entrante. C'est en général un ensemble mécanisé utilisant l'énergie électrique, pneumatique ou hydraulique. Elle émet vers la PC des comptes rendus. Dans un système automatisé de production, le secteur des capteurs représente le service surveillance et de renseignement du mécanisme.
- La partie relation (PR) comprend tous les composants de la chaîne de dialogue, de la chaîne de sécurité, les composants du pupitre de dialogue et les capteurs-

opérateurs autorisant la mise en énergie de l'installation, etc. (composants de la chaîne d'acquisition).

- La partie commande (PC) regroupe les constituants et les composants tels que les convertisseurs, les cartes d'entrée de l'automate, etc. (composants de la chaîne d'acquisition) assurant le traitement des signaux d'entrée en provenance de la partie opérative et de la partie relation afin d'émettre les ordres de sortie destinés aux entrées des pré-actionneurs et aux éléments de signalisation pour obtenir les effets voulus en fonction d'informations disponibles, comptes rendus, consignes, etc. et d'un modèle de comportement.

1.3.2. La discipline « automatisme »

L'automatisme a pour support les « modèles » qui décrivent l'évolution temporelle du fonctionnement d'un système en réponse à des informations, à des consignes que le système reçoit et aux perturbations qu'il subit.

Comme discipline, elle privilégie l'aspect « système » dans les démarches qu'elle utilise. Elle impose de s'intéresser aux fonctions des objets qui constituent :

- les parties commandes,
- les parties opératives,
- les interfaces de commande, de dialogue et de puissance, et aux contraintes physiques et humaines de l'environnement.

L'apprentissage de l'automatisme passe par un savoir (théorie) et un savoir-faire (application du savoir). Le savoir-faire acquis doit être en adéquation avec les réalités et les besoins du monde industriel. Pour cela, il est important que l'apprenant soit confronté à des problèmes « réels » et utilise donc des parties opératives « réalistes ». L'automatisme est une discipline importante et nécessaire dans tous les secteurs industriels. La diversité des processus industriels nécessite des connaissances sur l'aspect processus et les différentes technologies du domaine de l'automatisme.

Riera et al. (2005) par leurs travaux sur une expérience pédagogique originale de télé-TP, relèvent que l'enseignement de l'automatique doit accorder une place aux Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les architectures d'automatisme. Les auteurs ont proposé une séance de travaux pratiques réels de 3 heures et une autre de télé-

TP de 2 heures portant sur la commande d'une porte de garage automatique, à deux étudiants volontaires de 2ème année d'IUP GEII, un enseignant de travaux pratiques réel et un enseignant de télé-TP. Pour mener à bien leur expérimentation, ils ont utilisé un environnement technique constitué de trois salles distinctes, géographiquement éloignées et séparées sur le site du campus : une salle de travaux pratiques déjà existante, contenant le matériel d'automatisme nécessaire (Automate Programmable Industriel (API), maquettes, …), une salle de travail pour l'étudiant, et une salle de travail pour l'enseignant. Les résultats ont permis de mettre en évidence que les salles de travaux pratiques où les étudiants utilisent un ordinateur de bureau ne sont pas vraiment adaptées à une interaction enseignant-étudiants performante. En revanche, le télé-TP empêche l'enseignant de se mettre « physiquement » à la place de l'étudiant. Le plus intéressant est que cette expérimentation a conduit les auteurs à réfléchir à l'enseignement des Technologies de l'Information et de la Communication appliqué aux automatismes.

1.3.3. L'outil GRAFCET

GRAFCET signifie GRAphe Fonctionnel de Commande, Etapes, Transitions. Il a été mis au point fin des années 1970, par l'AFCET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique). Il se présente sous la forme d'un organigramme et décrit dans une suite logique et organisée le cycle et le déroulement des différentes opérations d'un système automatisé de production.

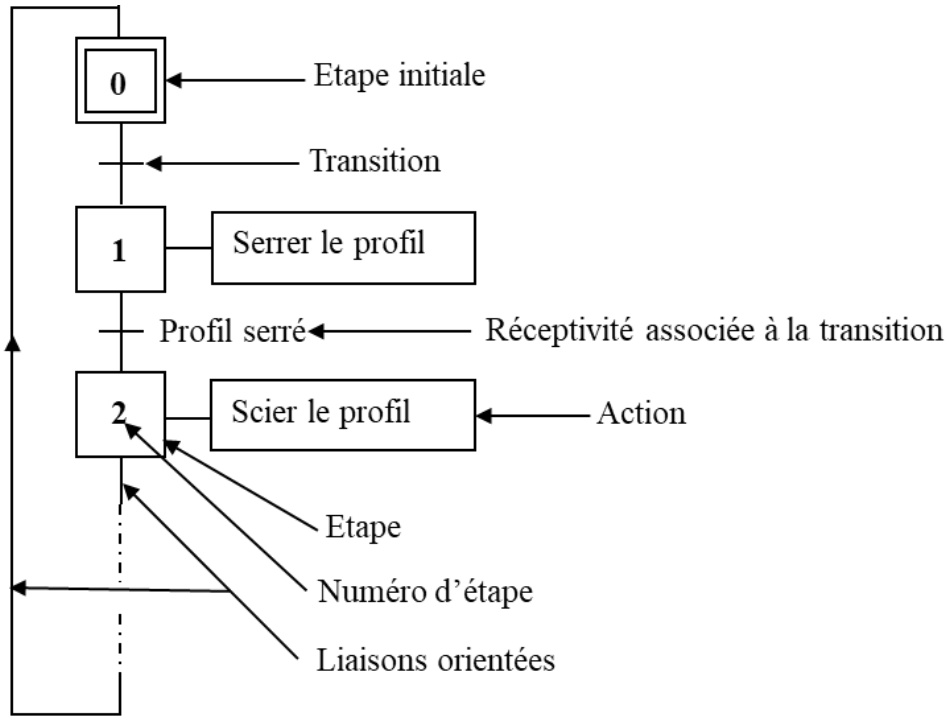
Un Système Automatisé de Production (SAP) comporte un cahier des charges résultant de la concertation entre les différents intervenants. En plus des contraintes techniques, le cahier des charges comporte les instructions impératives reliant la PC à la PO, ainsi que le dialogue avec l'opérateur. Lorsque concepteurs, constructeurs, utilisateurs et agents de maintenance ont une bonne connaissance des outils-méthodes de description des systèmes automatisés de production, ils utilisent l'outil GRAFCET comme langage de communication entre eux (Bleux, Fanchon, (1996), Moreno, Peulot, (2002) et Morin et al., (2011)).

La norme française NF EN 60848 d'Octobre 2013 (AFNOR, 2013) donne les éléments constitutifs du modèle GRAFCET :

- les éléments graphiques de base (étapes, transitions, liaisons orientés) ;

- une interprétation qui traduit le comportement de la partie commande (PC) ;
- les 5 règles d'évolution qui définissent formellement le comportement dynamique de la PC ;
- les postulats sur les durées relatives aux évolutions.

Figure N° 02: Eléments graphiques de base du GRAFCET



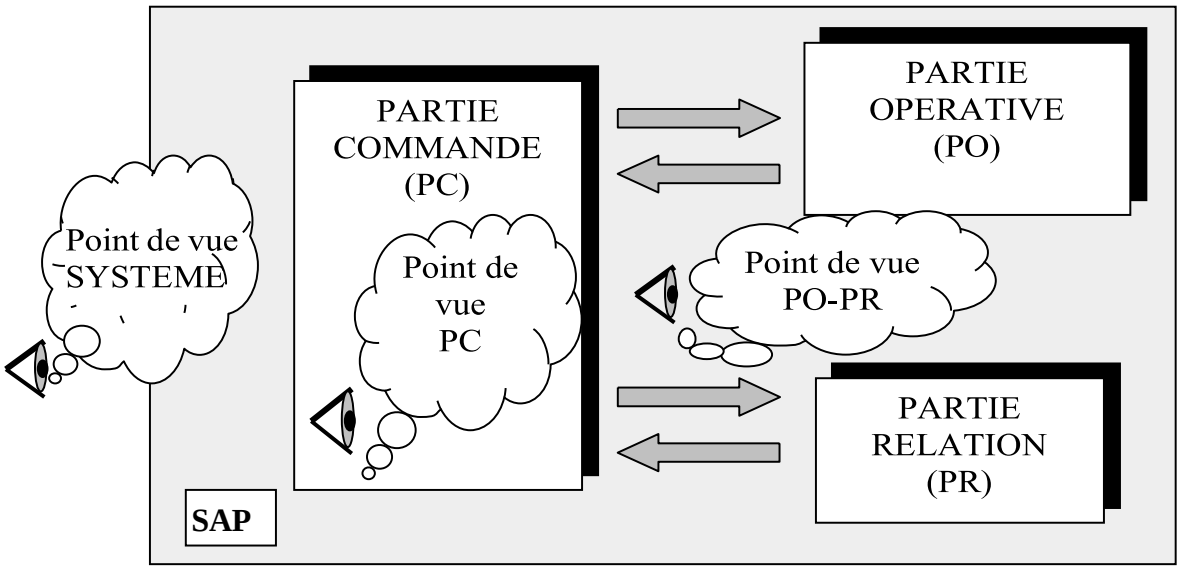
Boyer, Norbert et Philippe (1981a, 1981b), Blanchard (1978), Ahetz-Etcheber, Vasseur (1980) in (Amigues, Ginestié, 1991) ont relevé que le GRAFCET est utilisé dans le secteur industriel en tant qu'outil de programmation de processus du type automates programmables. Pour pallier à l'absence d'une vue de synthèse permettant d'appréhender les principes de fonctionnement dans le dossier d'un automatisme industriel , Tanyi, Nkenlifack, (2010) souligne que le GRAFCET est le langage de spécification du génie automatique indiqué dans cette circonstance.

1.3.4. Notion de point de vue et GRAFCET correspondant

La notion de « point de vue » est utilisée pour décrire un SAP. Elle caractérise la situation de l'observateur décrivant le fonctionnement du Système Automatisé de Production

(Moreno, Peulot, 2002). Le GRAFCET peut prendre aussi plusieurs formes suivant le « point de vue », c'est-à-dire suivant la partie que l'on regarde.

Figure N° 03: Notion de point de vue



a) Point de vue système (procédé et processus)

L'observateur se situe d'un point de vue externe au SAP pour procéder à la description dudit SAP.

Le point de vue système s'intéresse au produit. Il tient compte des spécifications fonctionnelles indépendamment de tout choix technologiques.

L'ensemble des fonctions qui sont successivement exécutées sur un même produit au cours de sa fabrication par le SAP est appelé procédé.

L'organisation du procédé porte le nom de processus. Il est matérialisé par la succession des fonctions qui s'exécutent simultanément sur tous les produits en cours de transformation par le SAP.

A ce niveau, le GRAFCET correspondant est le GRAFCET point de vue système. On regarde la matière d'œuvre sur laquelle agit le système et on suit son évolution, étape par étape. Il est de forme littérale (exemple : pousser le profilé d'aluminium contre la butée. Le profilé d'aluminium est le produit et la poussée exercée correspond au comportement

du système). Le dialogue entre le client et le concepteur est établi par le GRAFCET point de vue système, car il nous renseigne sur la spécification du système automatisé.

b) Point de vue partie opérative

L'observateur se situe d'un point de vue interne au SAP et externe à la PC avant de procéder à sa description. La description ainsi faite tient compte des options technologiques retenues au niveau de la PO du système.
Le point de vue partie opérative décrit les actions produites par les actionneurs à partir des informations acquises par les capteurs.
Pour ce niveau, le GRAFCET associé est le GRAFCET point de vue partie opérative. On regarde les actionneurs : vérins, moteurs, …. et les signaux nécessaires aux réceptivités. Il est de forme littérale (exemple : sortir la tige du vérin du dispositif de poussé du profilé d'aluminium contre la butée) ou codée à l'aide des symboles sous forme de repères disponible dans le dossier technique du Système Automatisé de Production (exemple : 1A+ est le code associé à « sortir la tige du vérin du dispositif de poussé ». Le dialogue entre le concepteur de la partie opérative et le concepteur de la partie commande est réalisé par le GRAFCET point de vue partie opérative.

c) Point de vue partie commande

L'observateur se situe d'un point de vue interne à la partie commande du Système Automatisé de Production avant de procéder à la description du comportement du système.
Le point de vue partie commande décrit les actions produites par les préactionneurs à partir des informations acquises par les capteurs.
A ce niveau le GRAFCET associé est le GRAFCET point de vue commande. On regarde les préactionneurs : distributeurs, contacteurs, … et les capteurs qui réalisent les réceptivités. Il est entièrement codé à l'aide des symboles sous forme de repères disponible dans le dossier technique du SAP (exemple : 1V1+ est le code associé à « commander la sortir la tige du vérin du dispositif de poussé ». Ce GRAFCET prend en compte les choix technologiques et l'ensemble des échanges bidirectionnels entre partie commande et

partie opérative et aussi entre partie commande et Opérateur. Il décrit dans un premier temps la marche normale et peut évoluer en fonction des modes de marches et d'arrêts imposés par le cahier des charges du Système Automatisé de Production. C'est le GRAFCET du point de vue du réalisateur de la partie commande.

1.4. L'APPROCHE PAR COMPETENCES (APC)

1.4.1. La notion de compétence

« *Le terme de compétence est porteur de définitions multiples, qualifié de nébuleuse polymorphe et polysémique* » (Lemaître & Hatano, 2007, p. 15) in Postiaux et al., (2010, p.15). En témoignent les quelques définitions ci-dessous :
Meirieu P. (1989) in (Perrenoud, 1995) définit la compétence comme « *la capacité d'associer une classe de problèmes précisément identifiée avec un programme de traitement déterminé* ». Pour Le Boterf (1994), la compétence est de l'ordre du savoir-mobiliser. Du point de vue de Romainville (1996), une compétence est un « *ensemble intégré et fonctionnel de savoirs, savoir-faire, savoir être et savoir devenir qui permettront, face à une catégorie de situations, de s'adapter, de résoudre des problèmes et de réaliser des projets* ». Tandis que pour Perrenoud P. (1999), une compétence permet « *de faire face à une situation complexe, de construire une réponse adaptée sans la puiser dans un répertoire de réponses préprogrammées* ». D'après Jacques Tardif (2003), une compétence correspond à *« un savoir agir complexe prenant appui sur la mobilisation et l'utilisation efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations »*. Selon Rey *et al.*, « *une compétence est le fait de savoir accomplir efficacement une tâche »* (2003, p. 14), c'est-à-dire une action ayant un but. En date du 26 septembre 2006, le parlement européen a adopté la définition suivante : « *une compétence est une combinaison de connaissances, d'aptitudes (capacités) et d'attitudes appropriées à une situation donnée. Les compétences clés sont celles qui fondent l'épanouissement personnel, l'inclusion sociale, la citoyenneté active et l'emploi* ». Scallon reprenant Bosman, Gérard et Roegiers (2000) définit, quant à lui, la compétence comme *« la possibilité, pour un individu, de mobiliser de manière intériorisée un ensemble intégré de ressources en vue de résoudre une famille de situations-problèmes »* (2007, p. 105).

Il se dégage de ces définitions les points forts ci-dessous, qui caractérisent les compétences :

- la mobilisation des ressources diversifiées internes (connaissances, capacités, habiletés) et externes (documents, outils, personnes).
- l'exercice des compétences se fait dans des situations contextualisées mais diversifiées qui impliquent un processus d'adaptation non mécanisé et de transfert d'une situation à l'autre.
- une compétence est opérationnelle dans un cadre curriculaire précis (structure, horaire, programme, pratiques pédagogiques et didactiques, matériels) ce qui donne toute son importance à la situation d'apprentissage dans chacune des disciplines impliquées.

Lorsqu'on s'intéresse à la formation professionnelle, on n'arrive pas à se défaire du concept de compétence. Pour Montmollin (1986) in Pastré (2011, p.65), *« les compétences sont des ensembles stabilisés de savoirs et de savoir-faire, de conduites types, de procédures standard, de types de raisonnement, que l'on peut mettre en œuvre sans apprentissages nouveaux et qui sédimentent et structurent les acquis de l'histoire professionnelle : elles permettent l'anticipation des phénomènes, l'implicite dans les instructions, la variabilité dans la tâche. »* Pour ce qui est de Samurçay et Rabardel (2004), la compétence est une combinaison de trois plans étroitement liés : le plan des représentations, le plan des organisateurs de l'activité et le plan des instruments, structurés en fonction des caractéristiques des situations singulières.

1.4.2. L'APC : cas de l'Afrique francophone

La notion d'APC est encore relativement récente sur le continent africain puisque c'est en 1994, lors de la réunion des ministres de la Conférence des ministres de l'éducation ayant le français en partage (CONFEMEN), que la notion de compétence est évoquée pour la première fois de façon explicite comme étant au cœur d'un curriculum :

« Une compétence acquise à l'école se reconnaît en ce qu'elle permet à l'enfant, à l'adolescent, de résoudre des situations-problèmes, de vie ou pré-professionnelles, dans une perspective de développement global. Une compétence résulte d'un apprentissage qui

a du sens pour l'apprenant et qui peut donc servir à lui-même, mais aussi à son pays. » (46ème session ministérielle à Yaoundé - CONFEMEN 1995).

(Mahamat, 2011) montre que les enseignants ne pratiquent pas l'APC depuis son introduction dans les curricula des écoles primaires d'application du département du Logone et Chari dans la partie septentrionale du Cameroun. Pour ce faire, l'auteur a pris pour cible quatre écoles primaires publiques d'application de la ville de Kousseri, soit 352 élèves, 39 enseignants et 4 directeurs.

Les résultats dévoilent que la plupart des enseignants ne pratiquent pas l'APC dans leur classe. Pour mieux asseoir la pratique de l'APC, l'auteur suggère que des séminaires de formation continue et mise à jour soient proposés aux enseignants.

Par contre, AGOUZOUM et al., (2009) ont entrepris des enquêtes dans les écoles primaires du Centre d'Animation Pédagogique (CAP) de Kalabancoro au Mali, lesquelles écoles pratiquent l'APC. L'étude avait pour objectif d'analyser la relation entre l'APC et la qualité de l'éducation traduite en performances scolaires. Les participants à cette étude furent : 545 élèves de la quatrième année primaire, 29 enseignants et 6 directeurs d'école. Les données recueillies par questionnaire et sur la base d'un test réalisé auprès des élèves ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS. Les réponses issues des questions ouvertes adressées aux enseignants et aux directeurs d'école ont fait l'objet d'une analyse de contenu. L'indicateur retenu pour mesurer les résultats scolaires a été le score obtenu par les élèves aux tests de français et de calcul organisés à leur intention. Les résultats des tests ont été croisés avec les caractéristiques des enseignants de la quatrième année. Les résultats de l'étude ont montré que la formation des enseignants à l'APC influence positivement les performances scolaires des élèves. De même, ils ont observé, concernant l'organisation du cours, que la pratique de la pédagogie de groupe détermine les performances des élèves. Par contre, les performances scolaires ne sont pas fonction de l'attitude des enseignants vis-à-vis de l'APC.

Pour ce qui est de l'enseignement technique et professionnel, les conclusions de la 49ème session de la CONFEMEN, tenue à Bamako en mai 1998 et le document de réflexion et d'orientation rédigé à Dakar en 1999 développent les principes directeurs d'une « refondation » pour cet ordre d'enseignement/formation, autour de trois grands axes : sa reconnaissance comme secteur spécifique des systèmes de formation, ouvert sur le monde

du travail, articulé avec les réalités socioéconomiques locales, et son optimisation par l'adaptation des structures permettant une souplesse opérationnelle. Secteur spécifique du système de l'éducation et de la formation, la formation professionnelle et technique (FPT) ouverte sur le monde du travail et de l'emploi est au cœur de la problématique du développement économique et social des pays en voie de développement.

Les recommandations du deuxième congrès international sur l'enseignement technique et professionnel, qui s'est tenu à Séoul (26-30 avril 1999) forment la base d'un programme international de l'UNESCO, lancé en novembre 1999 et visant à renforcer l'enseignement technique et professionnel en tant que composante intégrale de l'apprentissage tout au long de la vie, à l'orienter vers le développement durable et à l'assurer pour tous.

1.4.3. L'activité en situation : fondements d'une logique de compétences

En s'arrimant à l'APC, les curricula ont subi de profondes modifications. Or ces changements curriculaires ne modifient pas seulement les contenus des programmes d'étude, mais ils révolutionnent aussi les modalités de mise en œuvre des contenus et perturbent les rapports aux savoirs entretenus à plusieurs niveaux par les acteurs, enseignants, élèves et administration scolaire (Jonnaert, M'Batika, 2004). L'APC privilégie un travail interdisciplinaire sur des situations complexes et des contextes signifiants, au départ desquels les apprenants construisent des connaissances utiles au développement de leurs propres compétences.

Or le paradigme de l'apprentissage en formation technique et professionnel est passé d'une approche centrée sur l'enseignement et les contenus disciplinaires, à une approche focalisée sur l'activité de l'apprenant en situation : *son agir compétent* (Jonnaert et al., 2006). Pour atteindre cette « clôture sémantique » du concept de compétence, Jonnaert et ses associés (2006) se sont appuyés dans leur recherche, d'une part sur les règles énoncées par Van der Maren (1995, p. 24) : *« l'analyse rigoureuse des objets et des méthodes utilisés »* et le respect de la règle dite de « clôture sémantique ». D'autre part, les chercheurs ont procédé à l'identification des auteurs les plus cités dans différents textes représentatifs des champs disciplinaires utilisant fréquemment le concept de compétence. Ensuite, à l'aide d'une grille, ils ont analysé les principales conceptions de la notion de compétence véhiculée par le corpus de texte de chacun de ces champs disciplinaires.

Quatre définitions ont servi de base à l'élaboration de la grille analytique : celle des « compétences essentielles » du gouvernement du Canada, celle du Thésaurus du BIE 2004, celle de Pastré (2004) et celle de Jonnaert et al. (2005). La grille a été utilisée pour traiter 21 approches du concept de compétence recouvrant 3 champs disciplinaires répartis en trois catégories : catégorie A (didactique/pédagogie/curriculum), catégorie B (sociologie/psychologie du travail/psychologie cognitive) et catégorie C (ergonomie/didactique professionnelle). L'analyse des résultats montre que l'activité en situation est un des fondements importants d'une logique de compétences. Donc la compétence dépasse largement le cadre d'une simple description d'une action ou d'un comportement attendu. Les auteurs de la catégorie C traitent la compétence comme une « structure organisatrice de l'activité ». *« Et analyser une compétence, c'est repérer ces organisateurs de l'activité. »* (Samurçay, Pastré, 2004, p.8). Pour accéder aux compétences mises en relief par l'ergonomie et la didactique professionnelle, Samurçay et Rabardel (2004) proposent de partir du point de vue que les compétences sont des ressources que le sujet mobilise pour traiter l'activité réalisée dans des situations particulières.

1.5. SYNTHESE DU CHAPITRE 1

Le présent chapitre a permis de procéder à la revue de la question sur la simulation en liaison avec la formation professionnelle, les travaux pratiques en enseignement technique et professionnel, l'automatisme industriel et l'APC.

L'ensemble de la littérature sur la simulation développée par Vidal Gommel (2001), Pastré (2004), Cook et al. (2011), Dawe et Al. (2014) pour ne citer que ceux-là, a établi que l'apprentissage par simulation conduit généralement à une amélioration des connaissances et des habiletés. Le mérite des études conduites par Caens-Martin (2005) , Guibert (2005), Camusso (2005), Sutherland et al. (2006), Sturm et al. (2008) et entre autres Aggarwal et al. (2008) est d'avoir démontré un effet positif de la simulation sur l'apprentissage plutôt que l'absence d'apprentissage.

L'abondante littérature sur l'apprentissage par les travaux pratiques (TP) ((Nedic et al., 2003), (Feisel, Rosa, 2005), (Ma, 2006), …) permet d'identifier trois types de TP différents : réel, simulé, et à distance. Les travaux pratiques réels consistent en des

manipulations physiquement réelles. Par contre, les TP simulés sont les imitations d'expériences réelles. Toute l'infrastructure nécessaire pour les travaux pratiques n'est pas réelle, mais simulée sur des ordinateurs. Tandis que les TP à distance sont caractérisés par la réalité médiatisée, mais ces types de travaux pratiques sont similaires aux travaux pratiques réels, car ils ont besoin d'espace et de dispositifs. Ma, Nickerson, (2006), Krivickas, Krivickas, (2007) et bien d'autres ont souligné que du point de vue de l'acquisition de compétences, chaque type de travaux pratiques possède ses défenseurs et ses détracteurs.

Un automatisme est un sous-ensemble d'une machine, destinée à remplacer l'action de l'homme. Un système automatisé de production est un système généralement complexe qui doit également répondre à des contraintes économiques et donc à une certaine flexibilité. Un système automatisé de production est constitué d'une partie opérative, d'une partie commande et d'une partie relation qui dialoguent ensemble. L'outil GRAFCET est le langage de communication entre concepteurs, constructeurs, utilisateurs et agents de maintenance.

Pour Montmollin (1986), Meirieu P. (1989), Le Boterf (1994), Romainville (1996), Perrenoud P. (1999), Rey *et al* (2003), Jacques Tardif (2003), Samurçay et Rabardel (2004) et Pastré (2011), les compétences sont caractérisées par la mobilisation des ressources diversifiées internes (connaissances, capacités, habiletés) et externes (documents, outils, personnes). Son exercice se fait dans des situations contextualisées mais diversifiées qui impliquent un processus d'adaptation non mécanisé et de transfert d'une situation à l'autre. Les curricula ont subi de profondes modifications du fait de leur arrimage à l'approche par compétence tel que l'a préconisé la CONFEMEN et l'UNESCO.

CHAPITRE 2 : PROBLEMATISATION ET CADRES THEORIQUES MOBILISES

Le présent chapitre présente dans un premier temps, le contexte de notre étude. Puis il développe dans un second temps la problématisation de notre travail par la mise en relief de la formulation du problème, de l'énoncé des questions des recherches, de la formulation des hypothèses et de la présentation du plan de variable. Et dans un troisième temps ce chapitre s'arrête sur les cadres théoriques mobilisés dans notre étude.

2.1. CONTEXTE DE LA PRESENTE ETUDE

Le terrain de ce travail se situe au secondaire de l'enseignement technique industriel au Cameroun, plus précisément en formation professionnelle initiale scolaire des techniciens en maintenance électromécanique (MEM). La formation technique et professionnelle organisée dans le cadre de l'École articule les concepts et les gestes professionnels afin d'élaborer les savoirs professionnels. Comme nouvelle stratégie d'apprentissage favorisant l'acquisition et le développement de compétences professionnelles du technicien en MEM, l'APC et la simulation informatique sont des innovations majeures.

2.1.1. L'enseignement secondaire technique industriel au Cameroun

Le Cameroun est aujourd'hui confronté à plusieurs défis parmi lesquels l'évolution rapide des techniques. La capacité du pays à relever efficacement ce défi et asseoir un développement durable dépendra de la qualité de la formation donnée aux jeunes Camerounais en général, et plus particulièrement à ceux d'entre eux qui suivent une filière technique et professionnelle. C'est fort de cette conviction que le décret n°2004/320 du 08 décembre 2004 créé le Ministère de l'Emploi et de la Formation Professionnelle (MINEFOP) et le Ministère des Enseignements Secondaires (MINESEC).

L'inadéquation formation/emploi, avec pour corolaire l'accroissement du chômage, notamment chez les jeunes, a conduit l'UNESCO à recommander, en particulier aux pays en voie de développement des sous-régions d'Afrique, d'Asie, et d'Europe de l'Est, la réforme complète de leurs systèmes de formation technique et professionnelle, en les basant sur l'APC. Cette recommandation est issue des résolutions des assises

internationales de Bamako en 1998 et de Séoul en 1999, auxquelles le Cameroun a pris part.

Dans cette optique, le Cameroun a voté la Loi d'Orientation de l'Education de 1998 qui stipule en son article 20 : *« les milieux professionnels sont, en tant que de besoin, associés à l'élaboration et à la mise en œuvre de la politique de formation technique et professionnelle, de la formation par alternance, des contenus et des moyens de la formation ainsi qu'à la validation des résultats de cette formation »*.

C'est ainsi qu'un forum sur l'enseignement technique et professionnel a été organisé en 1999, avec pour objectifs, de faire un état des lieux, et de formuler des recommandations devant permettre la refondation de ce sous-secteur d'enseignement. L'une des principales recommandations lors de ce forum était de professionnaliser davantage les enseignements, afin de mettre à la disposition du secteur de l'emploi, des citoyens performants et compétents.

Il convient de noter également que dans la mise en œuvre de ces recommandations, un vaste chantier de réforme du dispositif de formation au Cameroun a été lancé entre 2005 et 2013. Outre la refonte des programmes d'études, d'autres volets de ce chantier ont concerné les infrastructures et les équipements ainsi que le renforcement des capacités des différents maillons de la chaine pédagogique sur le développement des formations techniques et professionnelles selon l'APC, avec l'appui de divers partenaires : UNESCO, OIF, Commission Scolaire des Grandes Seigneuries du Québec, ainsi que de l' Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail (OFPPT) du Maroc, pour ne citer que ceux-là. L'APC sert désormais de cadre de référence pour la rédaction des référentiels de formation au Ministère des Enseignements Secondaires du Cameroun (MINESEC).

L'enseignement secondaire technique industriel au Cameroun est placé sous l'autorité du Ministère des Enseignements Secondaires. Ce sous-secteur d'enseignement qui comprend des séries et des spécialités est logé plus précisément dans les collèges (de la première année à la quatrième année) pour le premier cycle et dans les lycées d'enseignement technique (de la seconde à la terminale) pour le second cycle. Pour l'instant, le Cameroun ne dispose que d'un seul lycée professionnel à vocation agricole. Les séries qui n'existent qu'au second cycle conduisent à la délivrance d'un Baccalauréat Technique. Les

spécialités disponibles à la fois au premier et second cycle donnent comme diplôme le Certificat d'Aptitude Professionnelle (CAP) en fin de premier cycle et le Brevet de Techniciens (BT) qui est l'équivalent du baccalauréat professionnel pour la fin du second cycle. Pour le secondaire technique industriel au Cameroun, les séries correspondent à l'enseignement technique tandis que les spécialités constituent l'enseignement professionnel.

2.1.2. Le Technicien en Maintenance Electromécanique (MEM) du Cameroun

La spécialité MEM (Maintenance ElectroMécanique) a été créée au Cameroun dans le cadre de la restructuration des filières et le réaménagement des programmes du second cycle de l'Enseignement Secondaire Technique de 1992. Cette création résulte du fait que le tissu industriel du Cameroun jusqu'à ce jour est constitué à 98% des entreprises de transformation de produit. Ces entreprises ont besoin d'une main d'œuvre qualifiée dans le domaine de la maintenance. La spécialité Maintenance électromécanique n'est disponible que dans six lycées d'enseignement technique, de la classe de seconde à la classe de terminale et conduit à l'obtention du brevet de technicien, l'équivalent du baccalauréat professionnel.

Le Technicien en maintenance électromécanique du Cameroun est une personne dont les activités principales consistent à réaliser la maintenance corrective et préventive de biens à caractère électromécanique, participer à l'amélioration et à la modification des équipements sur lesquels il intervient, participer à l'installation et la mise en service de nouveaux équipements et assurer la coordination et le suivi de l'ensemble des travaux exécutés sur les systèmes électromécaniques. En d'autres termes, le technicien MEM est aux équipements industriels ce qu'est un médecin chez les humains.

Une rencontre tripartite (milieux socioprofessionnels, enseignement supérieur et enseignement secondaire du Cameroun) a permis de valider les compétences particulières à développer au cours de cette formation :

- Diagnostiquer les pannes des équipements électromécaniques ;
- Réparer un équipement électromécanique ;
- Exécuter des opérations de surveillance et/ou de contrôle et d'inspection ;

- Exécuter des travaux d'installation des nouveaux biens, d'amélioration ou de modification de bien.

La formation des techniciens en maintenance électromécanique est une formation professionnalisante, car des rapports étroits sont entretenus entre cette formation et le monde industriel. Dans ce contexte, l'apprentissage porte sur une activité, future et anticipée, et non pas sur des savoirs. Pourtant l'organisation de cette activité anticipée s'appuie sur des savoirs (au sens le plus général de ressources à disposition des acteurs), qui sont de deux sortes, des savoirs académiques et des savoirs tirés de la pratique professionnelle. En situation de formation professionnelle, *« c'est l'activité constructive - l'acquisition des connaissances et compétences - qui devient le but et l'activité productive le moyen »* (Pastré, 2007, p.85) in Becerril Ortega (2008). Une compétence est donc toujours contextualisée dans une situation précise et est toujours dépendante de la représentation que la personne se fait de cette situation.

2.1.3. Le point focal de notre étude

Au Cameroun, bien que les laboratoires classiques et les ateliers de travaux pratiques soient très utiles et éducatifs, ils ont beaucoup de limitations en ce qui concerne le nombre, les coûts d'équipements, d'espace, de temps, et de personnel. Pour les établissements qui en disposent, ils sont généralement entièrement occupés ou plus encore les équipements disponibles sont vétustes alors que les enseignants doivent boucler leurs progressions dans le temps alloué aux travaux pratiques. La spécialité MEM au Cameroun souffre des mêmes problèmes, à un degré un peu plus élevé dans le cours d'automatisme où le programme officiel impose aux séances de travaux pratiques un quota horaire hebdomadaire de 02 heures. Depuis 2008, les établissements ont été dotés de matériels informatiques et de centres multimédias équipés d'au moins 30 ordinateurs multimédias, et des enseignants ayant un niveau avancé dans la maitrise de l'outil informatique, etc.

Fort de tout ce qui précède, l'introduction de la simulation informatique dans le curriculum des MEM dès la rentrée scolaire 2016-2017 (arrêté N° 301/16/MINESEC/IGE/IPTI du 28 novembre 2016, portant définition du référentiel de formation de la spécialité maintenance électromécanique au second cycle de l'enseignement secondaire technique et professionnel) a fait partie des contributions à l'élaboration de nouvelles stratégies

d'apprentissage favorisant l'acquisition et le développement de compétences professionnelles. Les structures et personnes concernées par cette situation sont 06 lycées techniques et près de 270 élèves pour 18 enseignants. Ces structures sont équipées de salles multimédia et le public cible a un niveau acceptable dans la maitrise de l'outil informatique.

Notre étude va se focaliser sur un pan de la compétence « Exécuter des travaux d'installation des nouveaux biens, d'amélioration ou de modification de bien », plus précisément sur l'élément de compétence « améliorer ou modifier un bien ». Le « bien » désigne *« tout élément, composant, mécanisme, sous-système, unité fonctionnelle, équipement ou système qui peut être considéré individuellement »* (AFNOR, 2001 p.14). L'élément de compétence nous intéresse à titre principal compte tenu des réalités du milieu industriel du Cameroun, car les biens utilisés par la quasi-totalité des unités de production du Cameroun sont importés à 90 % : soit ils présentent des défaillances pas évidentes à solutionner, soit ils ne répondent pas totalement au cahier de charge de leurs exploitants. Alors, ces derniers sont conduits à apporter des améliorations ou des modifications à ces systèmes pour augmenter leur performance ou les adapter aux réalités de leur milieu. Prenons par exemple l'activité qui correspond à la situation « Une défaillance est identifiée sur un bien et les maintenances préventive et corrective ne constituent pas une solution ». Pour déployer son savoir-faire par rapport à la situation ci-dessus, le technicien MEM peut constater le besoin d'amélioration ou de modification, proposer une idée d'amélioration ou de modification, ou bien réaliser lesdits travaux d'amélioration ou de modification ou encore être en mesure d'exécuter les trois (03) travaux susmentionnés.

Comme nous venons de le relever plus haut, l'élément de compétence « améliorer ou modifier un bien » est opérationnalisé suivant trois axes qui peuvent être exécutés individuellement ou tous ensembles par le technicien MEM, à savoir :

1. Constater un besoin d'amélioration ou de modification ;
2. Proposer une idée d'amélioration ou de modification ;
3. Réaliser des travaux d'amélioration ou de modification.

Notre étude va se focaliser uniquement sur l'axe « proposer une idée d'amélioration ou de modification » de l'élément de compétence « améliorer ou modifier un bien ». Ce choix

est étroitement lié à la disponibilité des outils et équipements didactiques nécessaires à la réalisation des travaux pratiques d'automatisme et à la durée consacrée à notre étude.

2.2. PROBLEMATISATION

L'apprentissage en formation technique et professionnel a adopté une approche focalisée sur l'activité de l'apprenant en situation. Par ailleurs, la formation technique et professionnelle organisée dans le cadre de l'École articule les concepts et les gestes professionnels, afin de permettre aux apprenants de construire des connaissances utiles au développement de leurs propres compétences. Attendu que le concept de compétence occupe une place centrale en matière de formation professionnelle, ce travail s'intéresse plus particulièrement à la compétence « améliorer ou modifier un bien ». Opérationnalisée par « proposer une idée d'amélioration ou de modification », cette compétence est mise œuvre par des techniciens de maintenance électromécanique (MEM) en formation professionnelle initiale scolaire.

2.2.1. Formulation du problème

Notre questionnement se rapporte à l'acquisition de la compétence « améliorer ou modifier un bien » par des novices en maintenance électromécanique. Pastré (2004) par son travail dans un contexte différent du nôtre par une population constituée de professionnels régleurs en plasturgie, montre que lesdits régleurs ont amélioré leurs compétences grâce à la formation avec simulation. De même, Vidal-Gomel (2001) pour une population constituée de professionnels opérateurs chargés de la gestion des risques professionnels dans le domaine de la maintenance des systèmes électriques, montre que le développement des compétences relève de l'intégration de dimensions « schématiques » et représentationnelles. Par contre, le travail de Ndoumatseyi Botongoye (2012) montre que d'une part, les simulateurs pallient dans une certaine mesure les déficits chroniques d'équipement des établissements gabonais. Mais, d'autre part, ces résultats soulignent toute l'ambiguïté que leur usage véhicule, car, cet usage impacte le processus d'enseignement, apprentissage qui se déconnecte des besoins de formation. D'un autre côté, notre étude s'intéresse à l'acquisition des compétences dans la profession

maintenance électromécanique, alors que les résultats de la recherche menée par Cook, A. et Al. (2011) indique que la formation boostée par la simulation dans la formation des professions de la santé présente des bénéfices reproductibles en termes d'acquisition des connaissances, des compétences et des comportements des apprenants. De plus, en ce qui concerne la formation professionnelle en chirurgie à base de simulation, Dawe, S. R et ses collègues (2014), Sturm, L. P et Al. (2008), Aggarwal, R. et Al. (2008) et Sutherland, L. M. et Al. (2006) pour ne citer que ceux-là, soutiennent que les compétences acquises par une formation à base de simulation sont transférables à la pratique professionnelle chirurgicale. Et leurs recherches ont confirmé cette hypothèse. Notre quête se rapporte notamment à la vérification du bénéfice éventuel pour les apprenants de maintenance électromécanique, de réaliser des travaux pratiques avec la simulation. Cependant, les résultats de la recherche d'Engum et al. (2003) d'une part, et celle de Buckley et al. (2004) d'autre part, montrent plutôt que les travaux pratiques réels sont davantage efficaces en termes d'acquisition des compétences que ceux qui sont simulés. Selon ces derniers auteurs, acquérir le savoir pratique revient à apprendre par des manipulations physiquement réelles. Suivant ce raisonnement, on devrait s'attendre à ce qu'il y ait plus d'effets positifs en termes d'acquisition et/ou développement de compétence lorsqu'on est en séquence d'apprentissage réel et moins d'effet en situation d'apprentissage à base de simulation. Est-ce bien le cas pour l'élément de compétence « améliorer ou modifier un bien » ? En particulier, lorsqu'il s'agit de « proposer une idée d'amélioration ou de modification de bien » en travaux pratiques d'automatisme pour l'apprenant de maintenance électromécanique ? Et surtout lorsqu'on part du point de vue que les compétences sont des ressources que le sujet mobilise pour traiter l'activité réalisée dans des situations particulières ?

Des interrogations précédentes découle la question-problème suivante :

Quelles ressources et méthodes sont mobilisées lors de la mise en œuvre de la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » avec la simulation informatique et transférable à la pratique professionnelle ?

2.2.2. Questions de recherches

En d'autres termes, afin que des novices de la maintenance électromécanique puissent proposer une idée d'amélioration ou de modification de bien en travaux pratiques d'automatisme :

- **Q1.** Quelles sont les représentations pour l'action d'automatisation mises en œuvre par les apprenants par rapport à la situation d'automatisation ?
- **Q2.** Quelles sont les actions que l'apprenant va poser et sur quelles ressources ces actions vont reposer pour agir avec compétence grâce à un tel dispositif (milieu simulé) ?
- **Q3.** Quel est l'effet de la position de la simulation comparativement à celui de la formation traditionnelle pour l'acquisition de la compétence « améliorer ou modifier un bien » par les apprenants ?

Les réponses à ces questions pourront permettre de mieux comprendre le phénomène de simulation associé aux travaux pratiques puis contribuer à l'élaboration de nouvelles stratégies d'apprentissage. Et se présenter comme un début de solution durable au déficit criard en termes de réalisation effective des travaux pratiques observé dans les établissements du secondaire technique industriel du Cameroun.

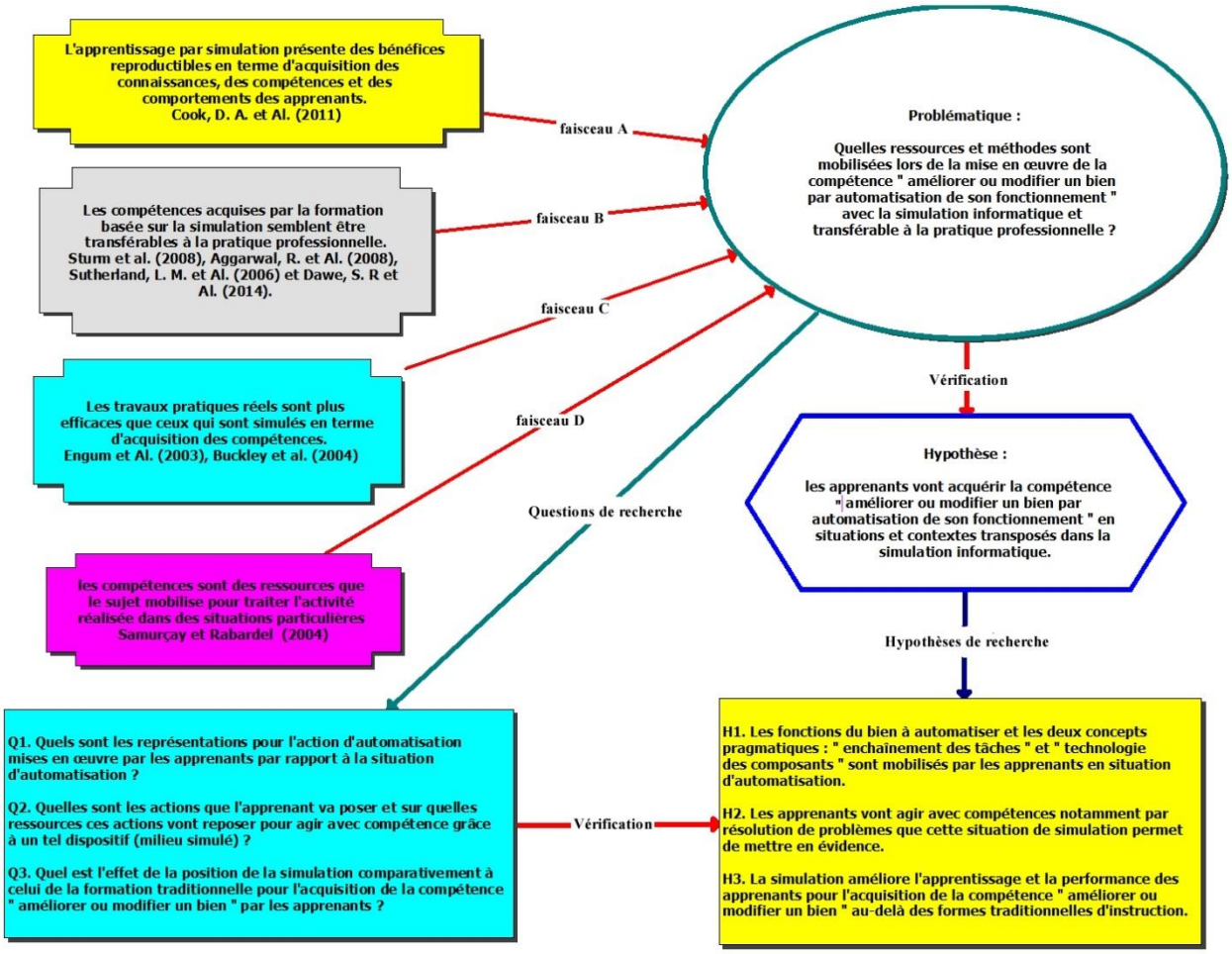
2.2.3. Formulation de l'hypothèse

La présente étude a donc pour but de vérifier l'hypothèse selon laquelle les apprenants vont acquérir la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » en situation et contextes transposés dans la simulation informatique.
Partant du fait que les apprenants vont mobiliser des ressources pour proposer une idée d'amélioration ou de modification de bien lors des travaux pratiques d'automatisme, nous opérationnalisons notre hypothèse principale en l'éclatant en trois hypothèses secondaires :

- **H1.** Les fonctions du bien à automatiser et les deux concepts pragmatiques : « enchaînement des tâches » et « technologie des composants » sont mobilisés par les apprenants en situation d'automatisation.
- **H2.** Les apprenants vont agir avec compétence, notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence.
- **H3.** La simulation améliore l'apprentissage et la performance des apprenants pour l'acquisition de la compétence « améliorer ou modifier un bien » au-delà des formes traditionnelles d'instruction.

La figure ci-dessous synthétise notre problématisation.

Figure N° 04: Problématique de notre recherche



2.2.4. Plan de variables

Le plan de variable est constitué des variables indépendantes et des variables dépendantes en liaison avec les hypothèses formulées plus haut.

« Situation d'automatisation », « fonctions du bien à automatiser », « enchaînement des tâches » et « technologie des composants » sont les variables liées à l'hypothèse « Les fonctions du bien à automatiser et les deux concepts pragmatiques : « enchaînement des tâches » et « la technologie des composants » sont mobilisés par les apprenants en situation d'automatisation ». La variable indépendante est la « situation d'automatisation », car dans une relation de causalité liée à l'automatisation, elle est la « cause », la « variable-stimulus ». Tandis que « les fonctions du bien à automatiser », « enchaînement des tâches » et « la technologie des composants » sont les variables dépendantes, les conséquences de l'utilisation de l'automatisation.

« Les apprenants vont agir avec compétence notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence » est l'hypothèse qui sera soutenue par les variables « situation de simulation » et « l'agir compétent situé des apprenants ». Pour la même raison que celle évoquée plus haut, « Situation de simulation » est la variable indépendante. La variable dépendante pour cette hypothèse est « l'agir compétent situé des apprenants » car elle indique le phénomène que nous cherchons à expliquer dans notre travail.

Nous entendons par « l'agir compétent situé des apprenants » : les organisateurs de l'activité et les instruments effectivement mis en œuvre par les apprenants dans cette situation particulière.

L'hypothèse « la simulation améliore l'apprentissage et la performance des apprenants au- delà des formes traditionnelles d'instruction » a pour variables « situation de simulation » et « situation de formation traditionnelle ». La variable indépendante pour cette hypothèse est « situation de formation traditionnelle », car elle constitue le facteur explicatif de notre travail. « Situation de simulation » est la variable dépendante par rapport aux multiples situations singulières induites qui seront observées et mesurées.

Le tableau ci-dessous récapitule le plan de variables

Tableau 1: Plan de variable

Hypothèses	Variables associées	
	Indépendantes	**Dépendantes**
Les fonctions du bien à automatiser et les deux concepts pragmatiques : « enchaînement des tâches » et « technologie des composants » sont mobilisés par les apprenants en situation d'automatisation.	Situation d'automatisation	- Fonctions du bien à automatiser - « Enchaînement des tâches » - « Technologie des composants »
Les apprenants vont agir avec compétence notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence.	Situation de simulation	L'agir compétent situé des apprenants
La simulation améliore l'apprentissage et la performance des apprenants au-delà des formes traditionnelles d'instruction.	Situation de formation traditionnelle	Situation de simulation

2.3. CADRES THEORIQUES MOBILISES

Nous nous intéressons aux compétences en tant que ressources mobilisées par les sujets lorsqu'ils ont à proposer une idée d'amélioration ou de modification de bien par automatisation de son fonctionnement. Notre objectif est donc de questionner lesdites ressources en situations didactiques, inspirées du contexte professionnel, à l'aide de la simulation. Sous quelles formes se présentent-elles ? De quelle manière les identifier ?

Jonnaert et Al. (2006) ont montré que l'activité en situation est un des fondements importants d'une logique de compétences. Ils stipulent que les cadres théoriques et méthodologiques issus de la didactique professionnelle sont les mieux indiqués, car ces cadres « *parviennent à décoder la compétence en tant que "structure organisatrice de*

l'activité" pour une classe de situations » (Ibid., p.16) et proposent des modèles qui s'appuient sur l'activité en situation afin d'en inférer des dimensions des compétences.

2.3.1. La didactique professionnelle

2.3.1.1. Le socle de la didactique professionnelle

La didactique professionnelle constitue le cadre théorique général de notre étude, car elle a à cœur de produire des outils pour l'organisation, l'analyse, l'évaluation des situations de formation et des situations de travail, en vue de répondre à des préoccupations relatives aux problèmes de « transférabilité » et de reconversion des habiletés professionnelles. Pierre Pastré définit la didactique professionnelle comme étant l'analyse de « *l'activité des hommes au travail pour les aider au développement de leurs compétences* » (Pastré, 2011, p.1).

Le socle de la didactique professionnelle est constitué du cadre théorique de la conceptualisation dans l'action, développé par Piaget et continué par Vergnaud (1996) in (Pastré et al., 2006a), de la psychologie ergonomique, notamment de langue française, initiée par Ombredane et Faverge (1955) in (Ibid.) et continuée par Leplat (1997) in (Ibid.), de la didactique des disciplines, avec une mention particulière pour la didactique des mathématiques, avec des auteurs comme Brousseau (1998) et Vergnaud (1990) in (Ibid.) et enfin de l'ingénierie de formation (analyse de besoins, définition d'objectifs, construction et évaluation de dispositifs).

Rogalski (2004) nous révèle que le projet théorique de la didactique professionnelle articule théorie de l'activité (modèle de double régulation) et concepts de didactique (savoirs de référence, conceptualisation et schèmes, transposition didactique des situations de travail), et propose un modèle intégrateur pour la formation et le développement des compétences professionnelles.

La didactique professionnelle mobilise le cadre théorique de la conceptualisation dans l'action (théorie de l'activité humaine, qui permet de comprendre comment elle est organisée, donc à la fois efficace, reproductible et analysable) et est structurée autour de trois concepts de base : concept pragmatique ; structure conceptuelle d'une situation et

modèle opératif (Pastré, 2011). Pastré donne la signification desdits concepts de base développés dans ce cadre (Ibid.).

Un **concept pragmatique** est « *un concept construit dans l'action et servant à guider l'action, associé à un ou plusieurs indicateurs* » (Ibid., p.172). Un concept pragmatique est un organisateur de l'action, construit dans l'action, transmissible et dont « *tout le monde sait de quoi on parle, mais personne ne prend l'initiative de définir le concept* » (Ibid., p.174). C'est un invariant opératoire que (Vergnaud, 1985) in (Ibid.) désigne par « concept en acte ».

La **structure conceptuelle d'une situation** est « *l'ensemble des concepts pragmatiques ou pragmatisés qui ont pour fonction d'orienter et de guider l'action* » (Ibid., p.176). Quatre (04) éléments composent la structure conceptuelle d'une situation. Le premier élément concerne les concepts organisateurs (partie proprement conceptuelle de la situation), le second est constitué de l'ensemble des indicateurs (naturels ou instrumentés) qui permettent d'évaluer la valeur des concepts dans une situation particulière, le troisième fait référence à l'ensemble des classes de situation qui peuvent être appréhendées à l'aide de chaque concept et enfin le dernier élément est formé des stratégies attendues de la part des acteurs.

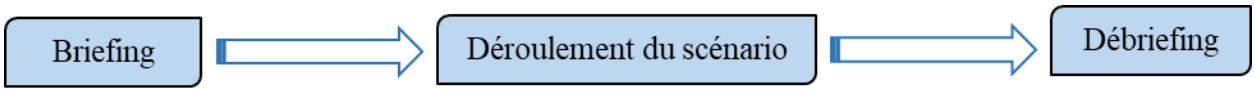
Le **modèle opératif** « d'un acteur (car tout modèle opératif est individuel) représente la manière dont cet acteur s'est approprié plus ou moins complètement, la structure conceptuelle d'une situation » (Ibid., p.179). Un modèle opératif est composé d'une structure conceptuelle, d'un genre professionnel adopté et de l'expérience sédimentée des acteurs (Ibid.).
En somme, la didactique professionnelle s'attaque aux problèmes de compétences liées à l'organisation, à l'utilisation des artefacts et des outils cognitifs opératifs dans des situations de travail.

2.3.1.2. L'apprentissage par simulation en didactique professionnelle

L'apprentissage par simulation se déroule selon un schéma préétabli et comprend trois phases distinctes : briefing (apprentissage « avant »), simulation (déroulement du

scénario) et débriefing (apprentissage « après »). La figure N° 05 ci-dessous schématise l'apprentissage par simulation tel qu'il est déployé en didactique professionnelle.

Figure N° 05: Les étapes d'une séance de simulation



Briefing ou apprentissage « avant »

Chaque séance de simulation débute par un briefing préparé et structuré par le formateur. Lors de cette étape, il est expliqué aux différents acteurs le déroulement de la séance de simulation et les consignes pour l'optimiser (Samurçay, Rogalski, 1998) in Vidal-Gomel, (2001). Cette étape est aussi une *« phase d'appropriation des connaissances opérationnelles* (Rogalski, Samurçay, 1993 ; Rogalski et al., à paraître), *nécessaires pour réaliser la tâche qui leur sera proposée »* (Ibid. p.127). D'une manière générale, cette étape a pour objectif de décrisper l'atmosphère, histoire de créer une ambiance telle que les apprenants pourront mieux s'exprimer.

Simulation (déroulement du scénario)

L'architecture de la séance de simulation est fonction des objectifs visés. L'apprenant est le maître de la séance sous le contrôle du formateur. Le formateur a la possibilité de choisir certaines variantes du scénario. Les règles du jeu sont fixées à l'avance et la distance formateur/apprenant est réadapté en fonction des objectifs visés. Cette phase porte aussi le nom de « trace », car c'est durant cette séance que sont collectés les traces de l'activité qui serviront de support pour la rétroaction en phase de débriefing.

Débriefing ou apprentissage « après »

Le débriefing est conduit par le formateur. Il suit généralement l'ordre chronologique de la séance, car c'est un fil conducteur efficace pour les apprenants et pratique pour le formateur. Au cours de cette séance, le formateur emmène l'apprenant à expliquer son activité en utilisant comme support les traces issues de ladite activité, des traces qui

relatent des actions avérées. Au cours de cette séance, le formateur donne des conseils pour correction des points faibles et conforter les points forts. L'apprentissage « après » permet un travail de fond sur l'analyse des pratiques et de la situation simulée. Le rapport de l'acteur à la situation de simulation vise une production de connaissance.

Cette phase de débriefing est celle sur laquelle la didactique professionnelle met l'accent, car c'est durant le débriefing que les activités réflexives de l'apprenant sont sollicitées afin de faire émerger la conceptualisation (Pastré, 1999 e) in Vidal-Gomel, (2001).

2.3.1.3. Incidence de la didactique professionnelle sur notre étude

Le but de notre étude est de vérifier l'hypothèse selon laquelle les apprenants vont acquérir la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » en situation et contexte transposés dans la simulation informatique.

Or la didactique professionnelle, d'une part, fait l'hypothèse que les acteurs professionnels acquièrent des compétences dans les situations d'activité finalisées vécues ou provoquées et d'autre part, définit les compétences d'un sujet comme un ensemble organisé de représentations (conceptuelles, sociales et organisationnelles) et d'organisateurs d'activité (schèmes, procédures, raisonnement, prise de décision, coordination) disponibles en vue de la réalisation d'un but ou de l'exécution d'une tâche (Pastré et al., 2006b). Alors ce cadre va nous permettre de mettre sur pied des situations d'activités (situations d'automatisation, de simulation et de formation traditionnelle) inspirées du contexte professionnel des techniciens en maintenance électromécanique qui seront proposées à nos apprenants puis de procéder à l'analyse de l'activité en situation.

2.3.2. Le modèle COMPETY « Les entités cognitives et constitutives des compétences et leur organisation »

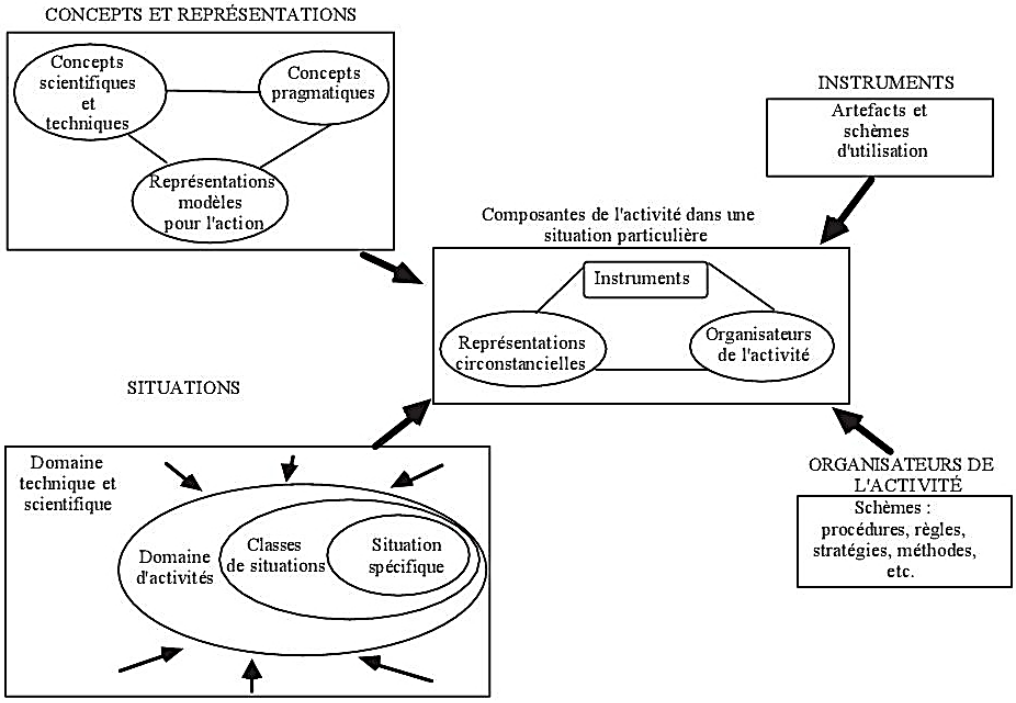
Samurçay et Rabardel (2004) ont développé un cadre-outil d'analyse des compétences nommé COMPETY « Les entités cognitives et constitutives des compétences et leur organisation ». Pour Renan Samurçay et Pierre Rabardel, COMPETY est un cadre d'analyse qui pourrait être décrit comme issu à la fois de la théorie des champs conceptuels (Vergnaud, 1991) in (Samurçay, Rabardel, 2004) et des apports de la psychologie

ergonomique, notamment des travaux sur les représentations pour l'action (Weill-Fassina et al., 1993) in (Ibid.).

Les mêmes auteurs postulent que l'activité observable dans les situations singulières peut se réaliser par la mobilisation simultanée ou successive d'entités relevant de plusieurs niveaux d'organisation des représentations, des schèmes, et des instruments.

Parmi différentes utilisations possibles du modèle, les auteurs précisent qu'à partir de l'analyse de l'activité en situation, COMPETY permet de faire des inférences sur les différentes dimensions des compétences mobilisées (Ibid.).

Figure N° 06 : le cadre d'analyse COMPETY (Vidal-Gomel, 2001, p.46)



COMPETY est organisé en deux (02) plans principaux : Le plan de situations et le plan des entités représentatives, des organisateurs de l'activité et des instruments.

2.3.2.1. Le plan de situations

Ce plan correspond aux situations de travail qui comprennent « *de tâches (buts à atteindre, conditions de réalisation des tâches, contraintes qui pèsent sur leur réalisation), des objets de travail et des outils utilisés pour la réalisation de la tâche* » (Ibid., p.173). Trois niveaux sont relevés par les auteurs dans le plan de situations.

Les situations particulières constituent le premier niveau. Lesdites situations particulières sont décrites dans leur singularité par les spécificités de son contexte, de ses éléments constitutifs, des conditions de déroulement de la tâche et des moyens mis en œuvre.

Le deuxième niveau correspond à des classes de situations construites par le sujet sur la base de l'élaboration ou de l'utilisation des invariants représentationnels ou de l'action. Il s'agit de critères de classification des situations par le sujet qui s'appuient à la fois sur les représentations d'objet et les organisateurs de l'activité.

Le troisième niveau est celui des domaines d'activité qui sont constitués par « *l'ensemble des classes de situations qui font appel à la fois à un ensemble d'activités caractéristiques et éventuellement à des objets, des outils et des tâches. Il peut être décrit à des niveaux variables* » (Ibid., p.175).

Une situation est une occasion d'apprendre, car lorsqu'on agit, on transforme le réel et on se transforme soi-même en transformant le réel, tel est la distinction entre activité productive et activité constructive proposée par Samurçay et Rabardel (2004).

2.3.2.2. Le plan des entités représentatives, des organisateurs de l'activité et des instruments

a) Des entités représentatives

Les entités représentatives sont constituées des concepts et des représentations.

Les représentations pour l'action (ou représentations « modèles » des situations) « *désignent les caractéristiques invariantes (entités, relations, traits, informations, actions) pertinentes pour le traitement d'une classe de situations* » (Ibid., p.177). Elles structurent les représentations des objets et leurs relations afin de les rendre opérationnelles pour l'action.

Les concepts pragmatiques sont étroitement liés aux représentations modèles et ils désignent les invariants conceptuels pertinents pour traiter des classes de situation. La fonction principale des concepts pragmatiques est de pouvoir représenter des phénomènes complexes qui ne sont pas directement observables et mesurables.

b) Des instruments

Les auteurs donnent aux instruments, un statut d'entités mixtes, c'est-à-dire composés des schèmes d'utilisation du sujet et d'un artefact ((Rabardel, 1995) in (Vidal-Gomel, 2001)). L'artefact peut être un objet technique (Galinier, 1997, Duvenci-Langa, 1997, par exemple) ou un objet non matériel, telles les règles de sécurité ((Vidal-Gomel et al., 1998) in (Ibid.)). Les schèmes d'utilisation du sujet sont composés des schèmes d'usage et des schèmes d'action instrumentée.

« *La constitution de ses instruments par le sujet relève d'un processus de genèse instrumentale qui concerne aussi bien l'artefact – instrumentalisation - que le sujet – instrumentation* » (Vidal-Gomel, 2001, p.50).

c) Des organisateurs de l'activité

Les organisateurs de l'activité sont les formes d'organisation invariante de l'action. En d'autres termes, ce sont des schèmes qui peuvent être des organisations intrinsèques du sujet, ou qui peuvent être des organisations externes (règles, procédures, méthodes) au sujet (Samurçay, Rabardel, 2004). Dans les domaines professionnels et techniques, les méthodes, les règles, les procédures et les stratégies qui se situent du côté de l'orientation de l'activité, doivent être intériorisées pour devenir de véritables organisateurs de l'activité. « *Un schème est une organisation invariante de l'activité pour une classe de situations données* » (Vergnaud, 1990).

2.3.2.3. Implication du modèle COMPETY sur notre étude

Pour accéder aux compétences mises en relief par le cadre théorique de la didactique professionnelle, Samurçay, Rabardel, (2004) proposent le modèle COMPETY. Ledit modèle s'appuie sur trois axes étroitement liés (représentations circonstancielles, organisateurs de l'activité et instruments) et organisés en fonction des caractéristiques des classes de situations particulières. En somme, le modèle COMPETY cherche à mieux structurer la notion de compétence en partant du point de vue que les compétences sont des ressources que le sujet mobilise pour traiter l'activité réalisée dans des situations singulières. Ce point de vue va nous guider lors de l'analyse de l'activité dans les situations

relevées plus haut, afin d'identifier la nature des ressources mobilisées par les acteurs. Concrètement, à partir des comportements des acteurs observés dans les classes de situations d'automatisation, de simulation et de formation traditionnelle, nous allons identifier et valider les représentations circonstancielles, les organisateurs de l'activité et les instruments utilisés par les sujets, lors de la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification de bien.

2.3.3. La « double approche »

2.3.3.1. Le cadrage didactique et ergonomique de la « Double approche »

Robert et Rogalski, (2002) et Robert (2004, 2008) proposent la « double approche », un cadrage théorique didactique et ergonomique pour chercher à approcher le travail du professeur dans toute sa complexité : le travail réel de l'enseignant comporte plusieurs moments distincts, se déroulant en plusieurs lieux différents, en amont de la classe et pendant la classe notamment.

L'approche est didactique au sens où elle analyse la pratique de l'enseignant en lien avec les objectifs d'apprentissages qu'il détermine pour ses élèves ainsi que les moyens qu'il utilise dans les préparations et dans la mise en œuvre des séances, pour les atteindre.

L'approche est ergonomique au sens où elle considère l'enseignant comme un professionnel, exerçant un métier avec des compétences et des représentations personnelles, pour atteindre des buts professionnels particuliers en tenant compte des contraintes liées à cette activité professionnelle.

A l'origine, le questionnement de didacticien des mathématiques que sont les auteures, porte sur les relations entre l'enseignement d'un contenu mathématique donné et les apprentissages, dans une classe donnée. Cela les a conduits, pour comprendre l'apprentissage, à caractériser cet enseignement, à la fois en termes de contenu et de déroulement.

Robert & Rogalski (2002) partent de l'hypothèse classique que les apprentissages des élèves sont en partie provoqués par leurs activités en classe. Analyser les activités des élèves que l'enseignant peut provoquer en classe conduit à décrire à la fois les tâches prescrites, au sein d'un scénario complet, et les déroulements proposés effectivement aux

élèves. C'est l'ensemble des tâches et du déroulement, dans sa globalité, qui est à l'origine de ces activités potentielles des élèves que les auteures cherchent à analyser.

Le mot « tâche » est utilisé par Robert & Rogalski pour désigner l'énoncé mathématique présenté aux élèves, avec les utilisations mathématiques qu'il peut induire et réserve le mot « activité(s) » à ce que les élèves pensent, font, disent, et ne font pas. Bien entendu, on n'aura jamais que des traces de cette activité pour nous renseigner.

Enfin, les auteures ont conçu leurs analyses en utilisant les hypothèses didactiques sur les activités des élèves en relation avec leurs apprentissages, et notamment sur les variables qui peuvent avoir une influence sur ces apprentissages. Par exemple, elles ont cherché systématiquement le niveau de mise en fonctionnement des notions à utiliser dans les exercices : elles distinguent ainsi les applications immédiates, simples et isolées, des notions et les autres utilisations, qui demandent des adaptations. En effet les activités induites pour les élèves à partir de ces différentes mises en fonctionnement diffèrent à leurs yeux, y compris en termes d'apprentissage ultérieur. De même les auteures ont caractérisé les formes de travail des élèves, travail individuel, en petits groupes, en cours dialogué, parce qu'elles induisent des conséquences différentes sur les apprentissages.

Les pratiques des enseignants sont analysées non seulement à partir de caractéristiques liées à ce qui est proposé aux élèves, mais aussi à partir de caractéristiques liées au fait qu'enseigner est un métier ; c'est une activité sociale, personnalisée, rémunérée, comportant de nombreuses contraintes, avec des habitudes (Robert (200l), Robert et Rogalski (2002)).

Cette démarche imbrique ainsi deux points de vue : celui des apprentissages par l'intermédiaire des activités provoquées, qui se fait par une description de la séance ; celui du métier par l'intermédiaire des contraintes et marges de manœuvre, qui se fait par des analyses extérieures à la classe. Cela oblige à inscrire la séance dans un ensemble, et nécessite une incursion dans le cadre de l'ergonomie.

Robert & Rogalski admettent qu'assez rapidement, pour un enseignant donné, les pratiques sont stables. Cette stabilité est renforcée par une grande cohérence individuelle des pratiques, basée sur une complexité certaine, qu’elles restitueront par une analyse en composantes devant être imbriquées.

Ainsi les pratiques en classe des enseignants dépendent de contraintes incontournables :

- liées à l'institution, aux programmes scolaires et documents d'accompagnement par exemple,
- liées aux classes et aux élèves,
- liées au métier, aux habitudes, à l'établissement, au collectif des enseignants: il y a des réponses régulières du milieu enseignant à un moment donné.

Mais les pratiques dépendent aussi des individus, de leurs expériences, de leurs connaissances et de leurs représentations.

Les auteures analysent les pratiques des enseignants pendant les séances en classe, à partir de transcriptions et/ou de vidéo. Robert et Rogalski proposent cinq composantes pour analyser l'activité de l'enseignant :

- les composantes sociales et institutionnelles permettent de définir les contraintes liées à la profession ;
- la composante personnelle renseigne sur les propres représentations de l'enseignant sur la tâche qu'il a à accomplir, par exemple, l'enseignement des mathématiques ou les mathématiques en général ;
- la composante médiative concerne l'ensemble des choix de l'enseignant faits avant la séance concernant les contenus, les progressions à adopter, le déroulement à prévoir ;
- la composante cognitive s'intéresse aux choix faits pendant la séance pour orienter le travail des élèves et faire avancer cette séance vers un objectif d'apprentissage.

Pour résumer, la « double approche » retient pour faire ses analyses, cinq composantes qui, recomposées, nous renseignent à la fois sur les activités des élèves et sur certains déterminants des activités des enseignants. En somme c'est un cadre qui sert à analyser les pratiques des acteurs en situation.

2.3.3.2. Opérationnalisation de la « double approche » pour notre étude

La « double approche » de Robert & Rogalski (2002) est la première dimension opérationnalisée pour analyser les situations observées (automatisation, simulation formation traditionnelle) afin d'identifier la nature des ressources mobilisées par les

acteurs. Elle va nous permettre de catégoriser les données observées en fonction du contenu des tâches à réaliser. Pour ce faire, nous allons procéder à une analyse des tâches à réaliser par les apprenants, en deux temps :

- une analyse a priori qui porte sur l'énoncé du problème. Cette analyse permet de lister les tâches que doivent accomplir les apprenants pour résoudre le problème, compte tenu des programmes en vigueur et de l'état d'avancement du cours dans la classe.
- une deuxième analyse complète la première, celle du déroulement des différentes séances de travaux pratiques. Il est procédé à une répartition globale du déroulement en épisodes, associés aux différentes tâches. Les épisodes sont définis à partir des activités supposées des élèves associées aux tâches successives organisées par l'enseignant.

2.3.4. Le Formalisme « prédicat/arguments »

2.3.4.1. Prédicat et arguments associés

A partir d'observables recueillis en situation réelle de travail, sur simulateur ou dans des micro-mondes expérimentaux, Hoc, Amalberti, (1998 et 1999) accèdent aux activités cognitives sous-jacentes, décrites à un certain niveau d'analyse (essentiellement le niveau des activités faisant appel à la représentation symbolique). Cette construction nécessite le plus souvent le recours à des inférences, contrôlées par quatre références : une architecture-cadre de l'activité étudiée, les connaissances expertes dans le domaine du travail considéré, le contexte et, bien entendu, le comportement. L'architecture-cadre définit les activités élémentaires et certaines de leurs relations. Elle est générique par rapport à une classe des modèles spécifiques.

Amalberti et Hoc précisent que l'objectif de l'analyse est de parvenir à définir certaines des caractéristiques d'un modèle spécifique à la situation considérée, soit à un niveau conceptuel, soit à des niveaux plus formalisés, par exemple celui des modèles cognitifs informatisés. Pour les auteurs, l'architecture définit les activités cognitives élémentaires, appartenant à un même niveau de description, dont on s'efforcera d'inférer l'occurrence à partir des observables. Et le modèle (ou ses propriétés) construit à partir de cette chronique pourra

servir à décrire, par comparaison entre situations, à la fois les invariants de l'activité pour la classe des situations considérées ou, au contraire, les différences (éventuellement exploitables dans une perspective d'évaluation, par exemple en confrontant les effets de divers types d'interventions ergonomiques).

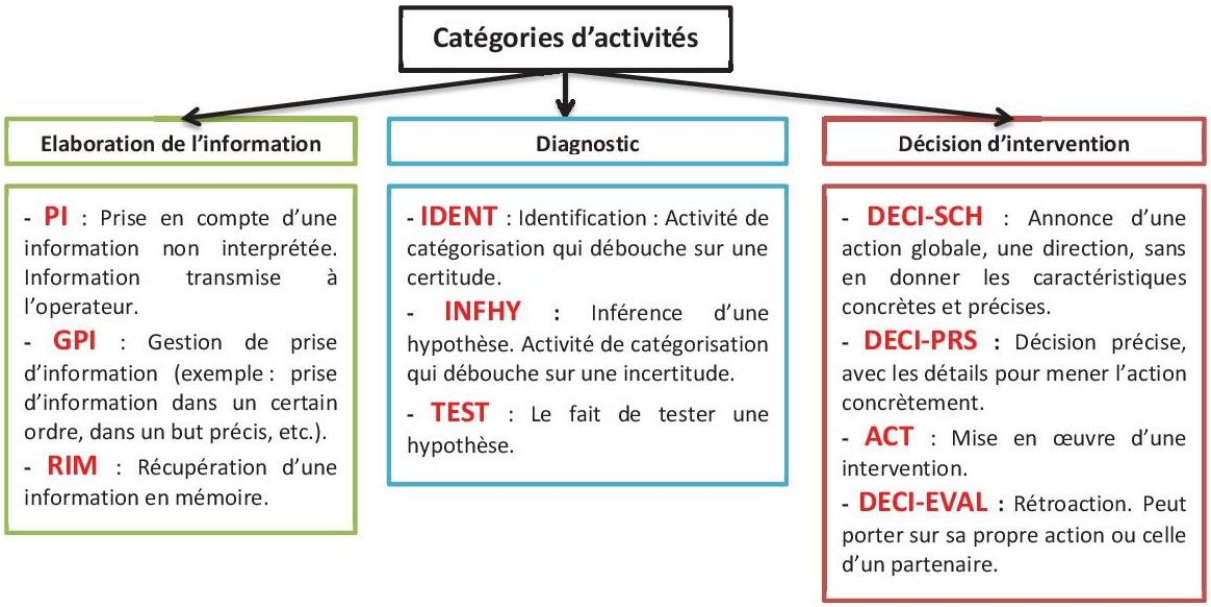
Les auteurs énoncent que les observables sont généralement constitués de plusieurs types de protocoles à synchroniser, notamment : les comportements verbaux (recueillis soit en temps réel, soit dans des situations d'auto-confrontation), les comportements non verbaux, sans oublier l'évolution du processus externe, partiellement contrôlée par l'opérateur. Dans la mesure où l'accès à la représentation symbolique est privilégié dans leur approche, Amalberti et Hoc soulignent que l'analyse des protocoles verbaux prend une grande importance (pourvu que leurs conditions de validité soient éprouvées, quant à leur capacité à donner accès aux activités inobservables gouvernant l'exécution de la tâche). Ainsi, à la différence de certaines méthodes d'origine linguistique, leur méthode ne vise pas uniquement à analyser la structure du comportement verbal, mais à s'appuyer sur cette structure (sans exclure les connaissances préalables en psychologie ou dans le domaine, ainsi que les autres observables) pour accéder aux activités cognitives, en grande partie implicites. Les auteurs proposent que le schème de codage (issu de l'architecture cognitive de départ et des connaissances du domaine) définisse les contenus à coder et dirige le découpage du protocole en unités (activités cognitives élémentaires au niveau d'analyse considéré).

Amalberti & Hoc, (1998 et 1999) ont fait le choix d'un formalisme de codage de type prédicat-argument : en général, un prédicat code une activité, ses arguments les représentations sur lesquelles porte l'activité et certaines des caractéristiques spécifiques de la mise en œuvre, nécessairement particulière, de cette activité.

Métaphoriquement, on peut dire que le schème de codage sur lequel les auteurs s'appuient se présente comme un « squelette » d'utilité relativement générale, que les analystes devront « habiller » de notions propres aux divers domaines d'application considérés pour aboutir à des descriptions intelligibles des activités des opérateurs.

Les prédicats sont au nombre de 10 et chacun code une activité élémentaire distincte. Ces derniers sont répartis en 3 catégories. Le récapitulatif et la définition des prédicats sont présentés dans la figure ci-dessous.

Figure N° 07 : Classe des prédicats (Hoc, Amalberti, 1999)



Chaque argument d'un tel prédicat est une variable dont la valeur spécifie une dimension de l'activité en question. Les arguments apportent des précisions et permettent de caractériser chaque prédicat. Le choix du type et du nombre d'arguments dépend directement des objectifs de l'expérimentateur. En effet, un trop grand nombre d'arguments rend l'application du codage extrêmement lourd, et à l'inverse, un mauvais choix d'arguments ou l'absence d'arguments peut bloquer l'accès à des informations essentielles.

2.3.4.2. Opérationnalisation du formalisme « prédicat/arguments » pour notre étude

Le formalisme « prédicat/arguments » d'Amalberti & Hoc, (1998 et 1999) est la deuxième dimension opérationnalisée pour analyser les situations observées (automatisation, simulation formation traditionnelle) afin d'identifier la nature des ressources mobilisées par les acteurs. Le codage développé par le formalisme « prédicat/arguments » va nous servir à caractériser les activités déployées par les acteurs.

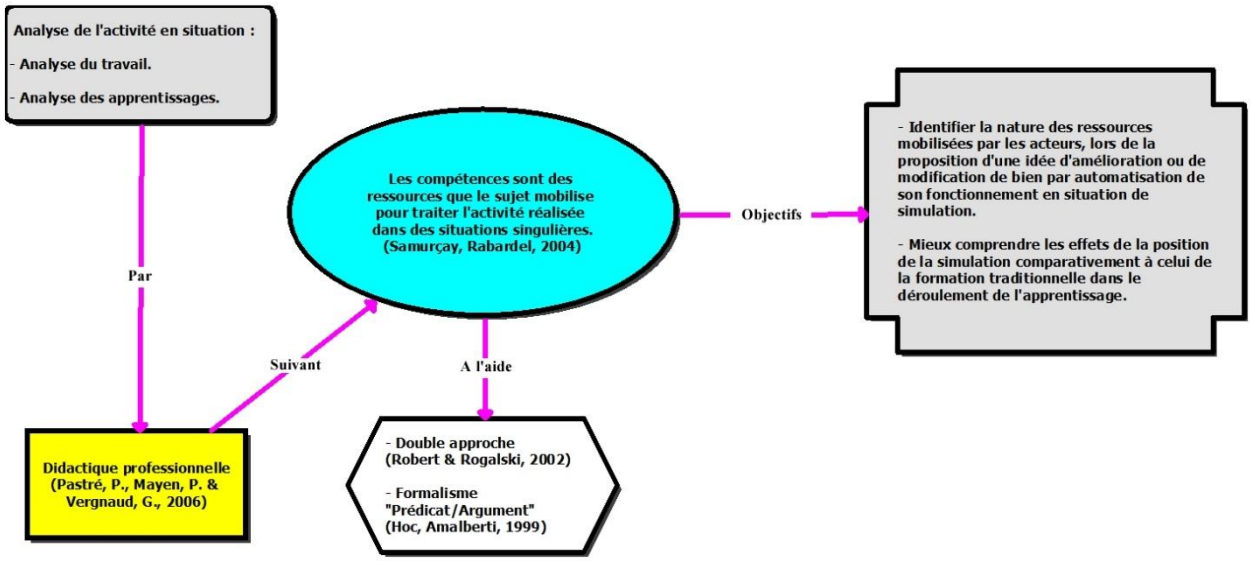
2.4. SYNTHESE DU CHAPITRE 2

Nous avons relevé d'une part, que dans plusieurs domaines professionnels, la formation boostée par la simulation présente des bénéfices reproductibles en termes d'acquisition

des connaissances, des compétences et des comportements des apprenants, que le développement des compétences relève de l'intégration de dimensions « schématiques » et représentationnelles et aussi que les compétences acquises par une formation à base de simulation sont transférables à la pratique professionnelle. D'autre part, nous avons relevé que les travaux pratiques réels sont davantage efficaces en termes d'acquisition des compétences que ceux qui sont simulés, ce qui reviendrait à dire qu'acquérir le savoir pratique c'est apprendre par des manipulations physiquement réelles. Suivant ce dernier raisonnement, on devrait s'attendre à ce qu'il y ait plus d'effets positifs en termes d'acquisition et/ou développement de compétence lorsqu'on est en séquence d'apprentissage réel et moins d'effet en situation d'apprentissage à base de simulation. Nous partons du point de vue que les compétences sont des ressources que le sujet mobilise pour traiter l'activité réalisée dans des situations particulières. D'où notre question-problème qui se rapporte aux ressources et méthodes mobilisés par des novices de la maintenance électromécanique lors de la mise en œuvre de la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » avec la simulation informatique. Nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle les apprenants vont acquérir la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » en situation et contextes transposés dans la simulation informatique. De notre hypothèse a découlé des variables indépendantes (situation d'automatisation, situation de simulation et situation de formation traditionnelle) et des variables dépendantes (fonctions du bien à automatiser, « enchaînement des tâches », « technologie des composants », l'agir compétent situé des apprenants et situation de simulation).

La figure N° 08 ci-dessous synthétise les champs théoriques et méthodologiques mobilisés pour notre recherche.

Figure N° 08 : Champs théoriques et méthodologiques mobilisés pour notre recherche



CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE DE RECHERCHE

La quête de notre travail est double, identifier d'une part, la nature des ressources mobilisées par les acteurs, lors de la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification de bien par automatisation de son fonctionnement et cela en situations d'automatisation et de simulation. Lesdits acteurs sont des techniciens novices de la maintenance électromécanique. Et d'autre part chercher à mieux comprendre l'effet de la position de la simulation par rapport à la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. Dans notre étude, l'identification de la nature des ressources mobilisées par les apprenants renvoie à l'identification des compétences mobilisées par lesdits apprenants confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification par automatisation. Comment doit-on procéder pour concrétiser cette identification ? La didactique professionnelle (Pastré et al., 2006a) ; (Pastré, 2011) et l'ergonomie (Folcher, Rabardel, 2004) ; (Rabardel et al., 2014) nous disent qu'il faut analyser l'activité mise en œuvre pour pouvoir identifier la nature des ressources mobilisées pour réaliser une tâche bien précise. Pour ce faire, nous allons d'abord, exposer la méthodologie préconisée par la didactique professionnelle, cadre théorique principal de notre étude, ensuite suivra la démarche que nous avons déployée, puis l'on va développer la méthode de collecte de données mise en œuvre, pour finir par la présentation du traitement des données qui a été utilisé.

3.1. DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE

En didactique professionnelle, les recherches qui portent sur l'acquisition ou le développement des compétences liées à un domaine professionnel bien précis ont pour démarche méthodologique l'analyse du travail qui permettra de produire la simulation, la conception de la situation simulée et l'analyse des apprentissages par résolution de problème que cette situation simulée permet de mettre en évidence (Pastré, Club CRIN Évolution du travail et mutations technologiques, 2005). Il se dégage trois phases dans la démarche méthodologique proposée par Pierre Pastré et le club CRIN :

- la première est l'analyse du travail qui va permettre de construire la simulation ;

- la deuxième porte sur la situation simulée qui est une transformation de la situation de travail de référence en situation simulée à usage didactique ;
- et la troisième a trait à l'analyse des apprentissages mises en évidence par la situation simulée.

Notre étude se focalise sur la troisième phase, qui est celle de l'analyse des apprentissages. Mais il nous revient de commencer par relever comment nous avons procédé pour l'analyse du travail et la conception de la situation simulée avant de présenter la méthodologie déployée pour le cas d'espèce.

3.1.1. Analyse du travail

L'exploration du référentiel de formation de la spécialité MEM a pour objectif de vérifier la disponibilité des items forts des champs théoriques et méthodologiques de la didactique professionnelle.

L'arrêté N° 301/16/MINESEC/IGE/IPTI du 28 novembre 2016, portant définition du référentiel de formation de la spécialité Maintenance Electromécanique (MEM) au second cycle de l'enseignement secondaire technique et professionnel stipule en son article 2 que ledit référentiel comprend :

- Le but visé par la formation ;
- L'Analyse des Situations de Travail (A.S.T.) ;
- Le référentiel de compétences ;
- Le programme d'études ;
- Le guide d'équipements et le guide médiagraphie.

L'analyse du référentiel de formation de la spécialité MEM montre que la phase de l'analyse du travail est disponible et que les rédacteurs dudit référentiel sont allés plus loin en identifiant puis en caractérisant les différentes situations de travail du technicien en Maintenance Electromécanique (MEM). Car « *en formation professionnelle, ce qui est premier, ce sont les situations parce que ce sont celles-ci dont les professionnels et futurs professionnels ont ou auront à "se débrouiller"* » (Mayen et al. (2010), p.31).

Pour mémoire, parmi les différentes situations de travail disponibles dans ledit référentiel, nous avons retenu pour notre étude celle ayant trait aux travaux d'amélioration ou de

modification d'un bien pour les raisons mentionnées en « contexte de la présente étude ». Nous nous en sommes servis par la suite afin de produire la situation simulée.
Ce premier temps fort, nous permet de faire l'économie de la phase dite d'analyse du travail et de concrétiser la phase dite de conception de la situation simulée.

3.1.2. Conception de la situation problème

Nous travaillons sur l'automatisation du fonctionnement d'un bien, dans l'objectif de proposer une idée d'amélioration ou de modification. La situation problème sera utilisée à la fois en situation de simulation et en situation de formation traditionnelle.

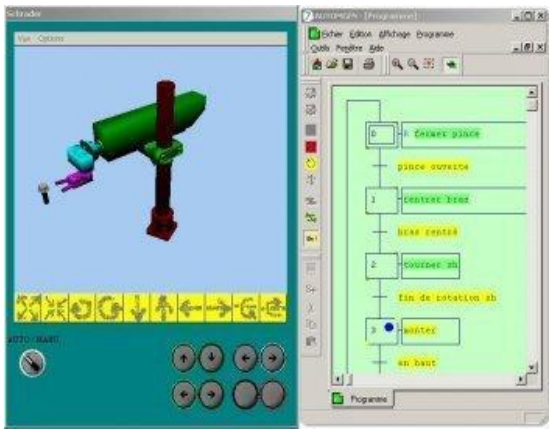
3.1.2.1. Matériels

Les artefacts principaux sont deux logiciels de simulations et quatre bancs de câblage électropneumatiques comportant chacun deux postes de travail avec tous les équipements et accessoires.

a) Logiciels de simulations

Les deux logiciels de simulations sont AUTOMATION STUDIO et AUTOMGEN développés respectivement par les sociétés FAMIC TECHNOLOGIES INC. et IRAI. AUTOMATION STUDIO tout comme AUTOMGEN sont des logiciels d'automatisme qui permettent de faire des simulations de GRAFCET, de parties opératives (PO) et de partie commande (PC). Ils permettent aussi de faire des simulations dans les domaines du pneumatique et de l'hydraulique. Ces deux logiciels sont payants et présentent l'avantage d'offrir des solutions complètes dans le domaine de l'automatisme. Lesdits logiciels de simulation sont ceux qui sont inscrits dans le guide d'équipements et le guide médiagraphie de la spécialité MEM.

Figure N° 09 : Les logiciels de simulation

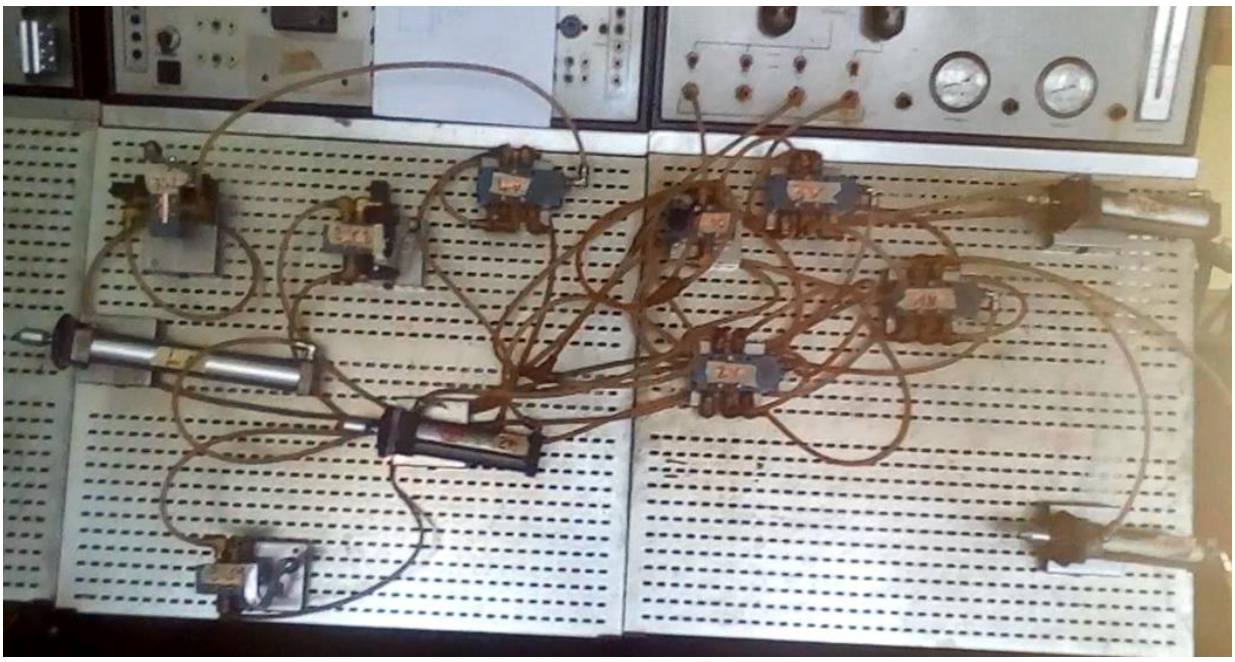


AUTOMATION STUDIO	AUTOMGEN

b) Bancs de câblage électropneumatiques

Les bancs de câblage électropneumatiques comportent chacun deux postes de travail avec les équipements et accessoires. Lesdits bancs de câblage électropneumatiques sont ceux disponibles dans les ateliers d'automatismes des lycées techniques qui abritent la spécialité Maintenance Electromécanique. Ces artefacts sont utilisés pour la réalisation des travaux pratiques en automatisme.

Figure N° 10 : Banc de câblage électropneumatique



3.1.2.2. Situation problème

En tenant compte du matériel et de l'équipement disponible sur le terrain, nous avons choisi comme bien une scie pour profilés en aluminium. La situation problème à résoudre correspond aux travaux pratiques à réaliser. Nous rappelons que le but des travaux pratiques est de conduire les apprenants à s'approprier la démarche et les outils à mettre en œuvre lors des travaux de proposition d'une idée d'amélioration ou de modification d'un bien en liaison avec l'automatisme. Il s'agit ici de la modélisation d'un problème issu du contexte de travail, pour promouvoir l'apprentissage de l'élément de compétence « améliorer ou modifier un bien », considéré comme indispensable à la pratique du métier dans le contexte camerounais.

Problème posé :

La scie de marque PROMEX, modèle SCIOT **N° 582** (figure 11), est l'un des moyens de production utilisé par l'entreprise **ALUMINE SA,** spécialisée dans la fabrication des profilés en aluminium. Cet outil de production a pour rôle de scier des profilés d'aluminium au moyen d'un outil de coupe (lame circulaire). Une baisse des performances de ladite scie a été enregistrée. Une inspection plus approfondie du service maintenance d'ALUMINE S.A. note que les effets enregistrés sont liés au fait que toutes les opérations sont exécutées manuellement (avance, maintien, sciage du profilé et récupération du tronçon scié).

Le service maintenance a constaté le besoin d'amélioration ou de modification. La direction d'ALUMINE S.A. donne son quitus pour que lui soit proposé une idée d'amélioration ou de modification de la scie SCIOT **N° 582.**

Les contraintes imposées par la situation sont les suivantes :

- ne tenir compte que des deux types d'énergie disponibles (électrique et pneumatique) dans l'entreprise.
- mécaniser puis automatiser toutes les opérations manuelles suivantes :
    - poussée du profil contre la butée de mise à longueur et recul du poussoir.
    - serrage et desserrage du profil
    - avance lente et régulière du chariot de sciage et retour rapide du système de sciage.

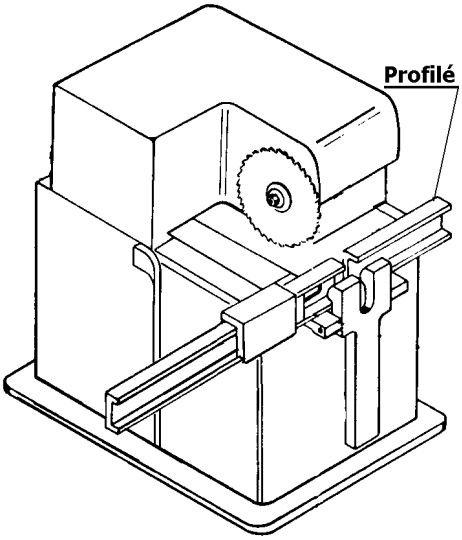
- éjection du tronçon coupé et retour de l'éjecteur.

- utiliser l'outil GRAFCET pour l'analyse et la synthèse de l'automatisme.

Nous entendons par :

- mécaniser, le remplacement d'une opération manuelle par une opération mécanique (emploi d'un actionneur, par exemple un vérin) ;
- automatiser, l'exécution dans le bon ordre de toutes les opérations mécaniques (séquence d'actionneurs).

Figure N° 11: Scie pour profilés en aluminium dans sa configuration d'origine



3.1.4. Opérationnalisation de l'activité liée à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification d'un bien par automatisation

L'activité liée à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification d'un bien comporte les actions suivantes :

- description du système dans son environnement d'un point de vue fonctionnel, temporel et structurel ;
- identification des fonctions opératives.
- identification de la fonction :
  - sécurité,
  - dialogue (homme/machine) et surveillance,
  - alimentation en énergie.

- description du rôle et des caractéristiques des composants réalisant ces fonctions.
- décodage de l'évolution temporelle du bien.

L'activité des apprenants est définie comme une activité constructive par le moyen d'une activité productive (Pastré et al., 2006 ; Pastré 2008) in (Becerril Ortega, 2008). La proposition d'une idée d'amélioration ou de modification constitue l'activité productive qui devient ainsi le support de l'activité constructive

3.2. DEMARCHE DEPLOYEE DANS NOTRE ETUDE

3.2.1. Population de notre étude

La population projetée pour notre étude est constituée des élèves de la classe de première maintenance électromécanique (MEM) des deux zones linguistiques officielles du Cameroun. Il s'agit du lycée technique de Kumba pour la zone anglophone et du lycée technique de Nkolbisson à Yaoundé pour la zone francophone.

3.2.2. Echantillon retenu pour notre étude

Suite à une grève dans la zone anglophone du Cameroun (grève qui a commencé en novembre 2016 et qui perdure jusqu'à date), le terrain a été circonscrit uniquement à la ville de Yaoundé. De ce fait, la population de notre étude c'est trouvé constituée de 36 élèves au lieu de 52 puisque le lycée technique de Kumba en comptait 16 durant l'année scolaire 2016 – 2017. Notre échantillon est constitué des élèves de la classe de première maintenance électromécanique du lycée technique de Nkolbisson à Yaoundé. Nous précisons que cet établissement scolaire est le seul de la ville qui abrite la spécialité maintenance électromécanique.

Afin de situer les effets de la position respective de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage, nous avons constitué deux groupes. Les deux groupes auront à réaliser les mêmes travaux pratiques correspondant à la situation problème à résoudre. Le premier groupe nommé GE est le groupe «simulation-traditionnelle ». Nous y avons rassemblé vingt (20) élèves que nous avons appariés pour avoir dix (10) équipes de deux (02) binômes. Ce groupe GE devra travailler dans une des

salles multimédia de l'établissement ou dans la salle attenante à l'atelier abritant le matériel et l'équipement d'automatisme. Le deuxième groupe qui porte le nom GC est le groupe « traditionnelle-simulation ». Nous avons affecté à ce groupe seize (16) élèves qui ont aussi été appariés pour avoir huit (08) équipes de deux (02) binômes. En fait c'est le maximum qui pouvait être fait au regard de la capacité totale de la classe.
La constitution des binômes est libre. L'orientation donnée lors de la formation des binômes, est qu'un membre devrait posséder un ordinateur, ceci dans le but de permettre aux différentes équipes de pouvoir s'exercer en dehors des heures de cours.

3.2.3. Opérationnalisation de l'apprentissage par simulation

Pour l'opérationnalisation de l'apprentissage par simulation de notre étude, nous avons modifié le schéma proposé par la didactique professionnelle pour l'apprentissage par simulation. Le ***Briefing*** est remplacé par la configuration utilisée dans nos établissements scolaires d'enseignement secondaire technique industrielle, nommée « lancement du TP ». Le ***Déroulement du scénario*** correspond à la manipulation proprement dite (simulation). Tandis que le ***Débriefing*** est échangé par l'auto-confrontation utilisé en clinique de l'activité (Clot et al., 2000) et en ergonomie (Rabardel et al., 2014).

3.2.4. Lancement du TP

Nous entendons par lancement du TP la phase qui consiste, pour l'enseignant, en la présentation des objectifs des manipulations, en la clarification des contraintes imposées par la situation-problème proposée et en la description du déroulement des différentes phases des travaux. Et pour les apprenants, en la réalisation de la préparation du travail à exécuter.

3.2.5. Auto-confrontation

Les auto-confrontations sont des phases d'analyse réflexive après coup, car Pastré (2005) relève « *qu'on apprend davantage en analysant son action qu'en la reproduisant* » (op cit p.33). Durant cette phase, seront discutées et commentées les prestations visualisées qui précèdent ces auto-confrontations, car pour apprendre de ses propres activités il est nécessaire d'avoir des traces (Beckers, Leroy, 2010)) et de commenter les activités au

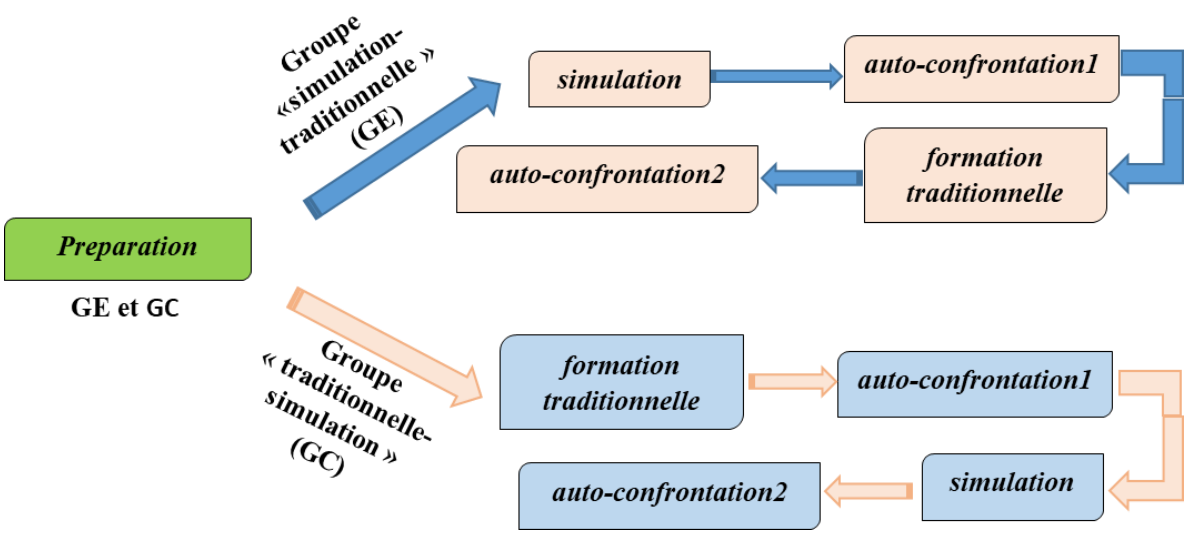
moment précis où se déroule l'action (Theureau, 2004). L'entretien d'auto-confrontation est un dispositif, qui permet au futur professionnel de pouvoir expliquer son activité en s'appuyant sur des traces produites par ladite activité, des traces qui relatent des actions avérées (Beckers, Leroy, 2010).

3.2.6. Procédure expérimentale

Comme nous l'avons annoncé plus haut, notre travail porte entre autres sur l'identification des ressources mobilisées lors du travail avec simulation pour automatiser le fonctionnement d'une machine et aussi sur la compréhension de l'impact de la position respective de la formation à base de simulation et de la formation traditionnelle. Pour ce faire, nous avons adopté la procédure expérimentale suivante : le groupe GE commencera par la simulation, puis passera à la formation traditionnelle, d'où la désignation de groupe «simulation-traditionnelle ». Ce groupe GE va donc utiliser le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la Simulation et clôturée par la Formation Traditionnelle). Tandis que le groupe GC débutera par la formation traditionnelle puis enchainera avec la simulation ; d'où le nom de groupe « traditionnelle-simulation ». Notre groupe GC va plutôt utiliser le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la Formation Traditionnelle et clôturée par la Simulation). Tous les apprenants indépendamment du groupe d'appartenance vont exécuter au même moment la préparation du travail à effectuer disponible dans la phase dite de lancement du TP. Simulation et formation traditionnelle sont séparées par une première auto-confrontation puis clôturées par une seconde auto-confrontation.

La figure N° 12 ci-dessous décrit la représentation schématique de notre procédure expérimentale. Elle est une adaptation de la démarche dite des « TP tournants » utilisée dans nos établissements scolaires à cause des effectifs et de la limitation du nombre des postes de travail. Concrètement, la classe est divisée en groupes, et le TP à réaliser en séquences opérationnelles. Aux différents groupes est affectée une séquence du TP et à la fin de la séquence, une rotation des groupes est lancée. La rotation s'arrête lorsque tous les groupes ont réalisé toutes les séquences du TP.

Figure N° 12 : Représentation schématique de notre procédure expérimentale



3.3. METHODE DE COLLECTE DES DONNEES

La population de notre étude se trouve dans une situation réelle d'apprentissage. L'énoncé du TP qu'ils ont à exécuter est disponible à l'annexe N° 01, page 246. Notre démarche consiste à associer les données issues des résultats finaux à des exercices, des observations en situation réelle d'apprentissage, de l'analyse de protocoles verbaux issus des échanges verbaux entre les élèves, des entretiens et des auto-confrontations sur la prestation effectuée recueillis indépendamment de la réalisation de la tâche. Pour ce faire, deux séquences ont ponctué notre collecte des données.

3.3.1. Première séquence

Nous avons fait l'hypothèse que les représentations pour l'action d'automatisation mises en œuvre par les apprenants par rapport à la situation d'automatisation sont constituées des fonctions du bien à automatiser et de deux concepts pragmatiques : « enchaînement des tâches » et « la technologie des composants ». Pastré (2011) nous dit que les concepts pragmatiques font partie des savoirs de référence en raison de leur pertinence pour réaliser une tâche et ils sont à rapprocher des notions de représentation fonctionnelle (Leplat, 1985) et d'image opérative (Ochanine, 1978). Sur le plan méthodologique, les

représentations pour l'action d'automatisation apparaissent à la fois dans le discours des apprenants et dans leur activité de recherche de la coordination des tâches entre-elles.
C'est pourquoi, le premier temps fort qui correspond au lancement du TP, est conduit à l'aide des fiches à renseigner, d'un guide d'entretien et de deux grilles, l'une pour la compilation des fiches renseignées et l'autre pour l'exploitation du dossier élève.

3.3.1.1. Fiches à renseigner

En phase de lancement de TP, les fiches à renseigner ont permis aux apprenants de rechercher l'exécution dans le bon ordre de toutes les opérations mécaniques. Il s'agit concrètement de réaliser la description du cycle automatique de la scie. La démarche d'analyse descendante est utilisée pour déboucher sur la description du cycle automatique de la machine. L'analyse descendante approche un système de manière progressive en allant du général au particulier. Lorsqu'il s'agit d'un SAP, cette méthode permet d'avancer dans l'analyse dès le début, sans se perdre, dans des détails inutiles. Partant de la fonction globale, l'analyse porte successivement sur :

- la recherche des fonctions (annexe N° 03, page 255),
- l'inventaire des tâches (annexe N° 04, page 256),
- la coordination des tâches entre-elles (annexe N° 05, page 257),
- le choix des options technologiques (annexe N° 06, page 258),
- la description du cycle automatique de la machine (annexe N° 07, page 259),

Pour chaque phase de cette analyse, il est mis à la disposition des élèves tous les éléments nécessaires pour leur réalisation. Ceci indépendamment de leurs prestations dans les étapes précédentes. Cette configuration a pour objectif de ne pas doublement pénaliser les élèves.

3.3.1.2. Guide d'entretien

Nous avons conduit des entretiens semi-dirigés à l'aide du guide d'entretien disponible à l'annexe N° 08, page 260). Pour la conduite desdits entretiens, nous avons déployé deux techniques : la technique du « Pourquoi ? Comment ? » (TPC) et la technique des protocoles verbaux (TPV) (Sebillotte, 1991; Bisseret et al., 1999 ; Boucheix, 2005 ; Papinot et al., 2018). La technique du

« Pourquoi ? Comment ? » (TPC) nous a servie à rassembler les perceptions de l'apprenant sur la description du cycle automatique de la machine. La technique des protocoles verbaux (TPV) nous a permis de collecter des données concernant l'analyse descendante qui a été réalisé afin de déboucher sur la description du cycle automatique de la scie pour profilé en aluminium. Nous avons construit le guide d'entretien autour de cinq points. Le premier point porte sur la définition et les objectifs de l'automatisme ; le second point sur l'analyse descendante d'une machine ; le troisième point sur les contraintes d'antériorités en automatisme ; le quatrième point sur les contraintes liées aux ressources matérielles en automatisme et le cinquième point sur leur satisfaction par rapport à l'activité de préparation.

3.3.1.3. Grille d'exploitation du dossier élève

A l'aide de la grille donnée à l'annexe N° 09, page 262), nous avons exploité le « dossier élève » disponible chez l'enseignant pour recueillir les informations connexes relatives à l'âge, au genre, au statut (redoublant ou pas) dans la classe et à la disponibilité de l'outil informatique personnel et à l'établissement.

3.3.2. Deuxième séquence

Les deux autres hypothèses que nous avons formulées ont trait l'une à « l'agir compétent situé » des élèves en situation de simulation de l'automatisation de la scie et l'autre aux effets de la position de la formation à base de simulation comparativement à celui de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. En référence au modèle COMPETY de Samurçay et Rabardel (2004), « l'agir compétent situé » renvoi aux organisateurs de l'activité et au système d'instruments mobilisés par les apprenants lors de la situation de simulation du fonctionnement de la scie.

Sur le plan méthodologique, nous allons mettre en évidence grâce à l'analyse de l'activité renforcée par l'analyse réflexive des acteurs sur leur propre action aux sorties des situations d'action dans lesquelles ils ont été placés, les organisateurs de l'activité et le système d'instruments. La mise évidence est réalisée à l'aide de la recherche d'organisation invariantes des activités observées, des artefacts utilisés, de leurs

redondances et de leurs fonctions attribuées par les apprenants (Pastré, 1994), (Rabardel, 1995), (Zanarelli, 2003) et (Samurçay et Rabardel, 2004). Une attention particulière sera portée sur l'objet de l'activité (construction du GRAFCET, matérialisation de la partie opérative) affectée par les modifications, car les instruments trouvent leur genèse dans l'objet de l'activité.

Alors cette séquence correspond aux phases de manipulation (simulation et formation traditionnelle), en d'autres termes des activités de réalisation de la proposition d'amélioration ou de modification. Pour ce faire, le cahier de charge a été modifié dans un souci d'harmonisation des manipulations (simulation et formation traditionnelle) et des contraintes liées aux composants et équipements disponibles. Nous avons retenu le cahier de charge harmonisé disponible à l'annexe N° 02, page 251. Et c'est sur la base dudit cahier de charge que la population de notre étude va procéder aux différentes manipulations. Le cahier de charge comprend le schéma de la scie pour profilés en aluminium équipée de ses actionneurs, le GRAFCET du point de vue système de la scie, la matérialisation des actions de la scie et les spécifications technologiques de la scie. Ledit cahier de charge découle de la compilation des éléments de l'analyse descendante conduite par les élèves sur la base de la situation problème proposée et aussi des dispositifs techniques disponibles.

Durant cette séquence, nous avons procédé à des observations directes des différents acteurs en situation de réalisation du GRAFCET du point de vue partie commande et du câblage de la partie opérative de l'unité à l'aide du cahier de charge harmonisé donné. Le groupe «simulation-traditionnelle » (GE) qui commence par la simulation a eu à construire le GRAFCET du point de vue partie commande et à réaliser le schéma du circuit de la partie opérative de la scie. Tandis que le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) qui débute par la formation traditionnelle a commencé par le câblage de la partie opérative sur le banc de câblage électropneumatique.

Pour ce faire nous avons utilisé comme outils de mise en œuvre, des notes prises sur le vif, des enregistrements d'écran des ordinateurs et des films audio/vidéo des activités en situation, des grilles d'évaluations et une grille d'entretien d'auto-confrontation. Car pour reconstruire le processus d'apprentissage, il est impératif de disposer davantage

d'informations contextuelles capturées sur plusieurs supports de natures différentes (Avouris et al., 2007, Larose, Jaillet, 2009).

3.3.2.1. Notes prises sur le vif

Les notes prises sur le vif sont celles que nous prenons au moment même où se produit un comportement significatif, par exemple, l'invitation à l'utilisation d'un outil spécifique lors des échanges entre élèves.

3.3.2.2. Enregistrement d'écran des ordinateurs

Les enregistrements d'écran des ordinateurs des acteurs sont les moyens utilisés pour documenter le comportement, les apprentissages et les créations des personnes qui constituent notre population. Ces dispositifs enregistrent non seulement les manipulations des acteurs, mais également leurs conversations en séance de travail sur simulateur. Cela est rendu possible grâce aux logiciels d'enregistrement d'écran et aux micros connectés aux ordinateurs. Car comme l'a si bien montré Galinier, (1996) pour la conduite des poids lourds, il est possible d'inférer qu'un schème spécifique guide une séquence d'action lorsqu'on se place du point de vue de l'observation.

3.3.2.3. Films audio/vidéo

Les activités en situation de formation traditionnelle sont filmées à l'aide d'un caméscope. Le son est capté grâce au micro intégré au même caméscope. Les films audio/vidéo sont utilisés pour enregistrer les actions, les mouvements et les conversations des différents acteurs lors de la formation traditionnelle. Les films audio/vidéo ont pour objectif de recueillir in-situ les comportements, les relations entre les différents acteurs dans différentes activités et à différents moments.

3.3.2.4. Grilles d'évaluations

L'expérimentation se déroule en situation réelle de classe. Dans ce contexte, tel que le stipule le référentiel de formation de la spécialité maintenance électromécanique concernant les travaux pratiques, toutes les activités proposées aux élèves sont évaluées. La préparation et les manipulations des différents acteurs dans les différentes situations sont évaluées au moyen du barème de notation disponible dans l'annexe N° 01 (pages 02/14 à 04/14) donné à la page 246. Ces documents nous serviront à identifier la position « optimale » de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. Les deux dispositifs de formation (N° 01 = préparation + simulation + formation traditionnelle et N° 02 = préparation + formation traditionnelle + simulation) seront les supports de mise en œuvre.

3.3.2.5. Auto-confrontations

Les auto-confrontation s'effectuent à partir de la rediffusion des films audio/vidéo produites par les enregistrements d'écran d'ordinateur, des films audio/vidéo issus du caméscope et d'un guide d'entretien d'auto-confrontation. Lesdites auto-confrontations sont enregistrés en continue à l'aide des smartphones. Le guide d'entretien disponible à l'annexe N° 11, page 259, nous permet d'une part, de recueillir des avis sur les comportements qui nous ont semblé significatifs lors des prestations des apprenants, des précisions sur certains aspects des manipulations et des conversations contenues dans les enregistrements d'écran et les films audio/vidéo diffusés. D'autre part, de conduire l'analyse des pratiques des acteurs par rapport à la réflexion sur leur propre action au terme des situations d'action dans lesquelles ils ont été placés. L'entretien dans le cas d'espèce est le *« passage d'un agir à une activité langagière »* (Rix et Lièvre, 2005, p.4). Celui-ci *« n'est ni direct, ni facile, ni immédiat, ni spontané »* (Vermersch, 1999, p.13), le novice a besoin d'être accompagné par un tiers pour l'aider à passer de l'acte à sa verbalisation afin de mettre à jour *« des savoirs en acte, pré-réfléchis, n'ayant pas fait l'objet d'une prise de conscience* […] *»* par une description détaillée de l'activité (Vermersch, 1994, p.86). Vermersch parle de conscientiser ses connaissances pré-réfléchies.

Les tableaux N° 02 et N° 03 récapitulent la méthode de collecte des données dans les deux séquences mentionnées ci-dessus.

Tableau 2 : organisation et logistique de prise de données dans la première séquence

Groupe	**Equipe**	**N° d'ordre**	**Code d'identification**	**Préparation**	
				Supports fournis	**Données recueillies à l'aide**
GE	A	1	GEA1	- Enoncé du TP. - Fiches ci-dessous à renseigner : ► Fiche de recherche des fonctions ►Fiche inventaire des tâches ► Fiche de recherche de la coordination des tâches entre-elles ►Fiche du choix des options technologiques ►Fiche de description du cycle automatique de la machine	*- des fiches ci-dessous renseignées :* ► Fiche de recherche des fonctions ►Fiche inventaire des tâches ► Fiche de recherche de la coordination des tâches entre-elles ►Fiche du choix des options technologiques ►Fiche de description du cycle automatique de la machine *- des verbatim des entretiens durant cette phase.* *- de la grille de compilation des fiches renseignées.* *- de la grille d'exploitation du dossier élève.* *- de la grille d'évaluation de la préparation.*
		2	GEA2		
	B	3	GEB3		
		4	GEB4		
	C	5	GEC5		
		6	GEC6		
	D	7	GED7		
		8	GED8		
	E	9	GEE9		
		10	GEE10		
	F	11	GEF11		
		12	GEF12		
	G	13	GEG13		
		14	GEG14		
	H	15	GEH15		
		16	GEH15		
	I	17	GEI17		
		18	GEI18		
	J	19	GEJ19		
		20	GEJ20		
GC	K	21	GCK21		
		22	GCK22		
	L	23	GCL23		
		24	GCL24		
	M	25	GCM25		
		26	GCM26		
	N	27	GCN27		
		28	GCN28		
	O	29	GCO29		
		30	GCO30		
	P	31	GCP31		
		32	GCP32		
	Q	33	GCQ33		
		34	GCQ34		
	R	35	GCR35		
		36	GCR36		

Tableau 3: organisation et logistique de prise de données dans la deuxième séquence

Groupe	Equipe	N° d'ordre	Code d'identification	Manipulations		Autoconfrontations	
				Supports fournie	**Recueil des données**	**Support utilisé**	**Données recueillies à l'aide**
GE	A	1	GEA1	- Enoncé du TP - Cahier de charge harmonisé	**Simulation :** - Notes prises sur le vif. - Prise de son : Echanges verbaux enregistrés par le micro connecté à l'ordinateur sur lequel travail chaque équipe. - Prise de vue : enregistrement de l'écran d'ordinateur - Grille d'évaluation du travail sur ordinateur.	Films audio/vidéo produites par les enregistrements d'écran d'ordinateur	Des verbatim des entretiens d'autoconfron-tations.
		2	GEA2				
	B	3	GEB3				
		4	GEB4				
	C	5	GEC5				
		6	GEC6				
	D	7	GED7				
		8	GED8				
	E	9	GEE9				
		10	GEE10				
	F	11	GEF11				
		12	GEF12				
	G	13	GEG13				
		14	GEG14				
	H	15	GEH15				
		16	GEH15				
	I	17	GEI17				
		18	GEI18				
	J	19	GEJ19				
		20	GEJ20				
GC	K	21	GCK21	- Enoncé du TP - Cahier de charge harmonisé	**Formation traditionnelle :** - Notes prises sur le vif. - Prise de son : Echanges verbaux Enregistrés par le micro-intégré du caméscope. - Prise de vue : caméscope (enregistrement des postes de travail). - Grille d'évaluation du travail sur panneau de câblage.	Films audio/vidéo produites par le caméscope	Des verbatim des entretiens d'autoconfron-tations.
		22	GCK22				
	L	23	GCL23				
		24	GCL24				
	M	25	GCM25				
		26	GCM26				
	N	27	GCN27				
		28	GCN28				
	O	29	GCO29				
		30	GCO30				
	P	31	GCP31				
		32	GCP32				
	Q	33	GCQ33				
		34	GCQ34				
	R	35	GCR35				
		36	GCR36				

3.4. TRAITEMENT DES DONNEES

3.4.1. Protocole d'analyse du corpus des données

L'analyse du corpus des données a pour référence constructive la « double approche » et le formalisme « prédicat/argument ». Pour ce faire, nous avons organisé nos différents protocoles bruts à l'aide des grilles (tableau N° 04) afin de mettre en parallèle les différentes activités élémentaires. Les colonnes sont constituées : du numéro de ligne, du temps (en minute et seconde), de l'identité codifiée du protagoniste, des éléments observés, des verbalisations et du codage prédicat-argument.

Les éléments observés sont constitués des films vidéo transformés en synopsis. Tandis que les verbalisations sont les films audios et les différents verbatim transformés en transcriptions.

Tableau 4: Grille d'organisation des protocoles

N° ligne	Temps (mn:s)	Protagoniste	Episode N°__		Codage Prédicat/argument
			Eléments observés	Verbalisation	

3.4.1.1. Découpage de l'activité

La « double approche », nous a permis de catégoriser les données observées en fonction du contenu des tâches à réaliser, ceci par découpage de l'activité des acteurs en micro-situation didactique appelé épisode et ceci à partir de l'analyse schématique de la tâche à réaliser par les acteurs. Pour mieux cerner cette démarche, faisons un détour sur notre étude. Dans la phase dite de « préparation », les apprenants ont à réaliser l'analyse descendante de l'automatisme à l'aide des fiches à renseigner mises à leur disposition. Lesdites fiches montrent que les acteurs ont en réalité à effectuer cinq activités qui sont liées entre elles : la recherche des fonctions, l'inventaire des tâches, la coordination des

tâches entre-elles, le choix des options technologiques et la description du cycle automatique de la machine. Chaque pan du travail à faire constitue un épisode caractérisé par l'identification et la consignation dans la fiche, des différents éléments rattachés au travail en cours d'exécution.

3.4.1.2. Codage de l'activité

Les activités déployées par nos acteurs sont au nombre de trois à savoir la préparation, la simulation et la formation classique. Nous avons adopté deux types de codage.

Le premier type de codage a concerné toutes les productions issues des fiches renseignées par les élèves, des résultats de l'exploitation du dossier élève et des scores obtenus aux évaluations des travaux de préparation, simulation et formation traditionnelle. Pour ce premier type de codage, chaque réponse attendue a été identifiée par un code. Par exemple, la fonction principale « déplacement du chariot de sciage » a le code **FP3.** Les différents codes utilisés dans le premier type de codage sont disponibles dans les annexes N° 12 à N° 16 des pages 268 à 274.

Le deuxième type de codage a été déployé sur toutes les productions issues des fiches renseignées par les élèves, sur les films vidéo transformés en synopsis et sur les verbalisations (les films audios et les différents verbatim) transformés en transcriptions. Le formalisme « prédicat/argument » a été utilisé pour effectuer ce deuxième type de codage. Chaque prédicat du schème de codage représente une activité élémentaire (identification d'un élément, action de dessiner, etc.), Chaque argument d'un tel prédicat est une variable dont la valeur spécifie une dimension de l'activité en question (un symbole, un carré, un rectangle, ….). En d'autres termes les comportements, les relations entre les différents acteurs dans différentes activités et à différents moments et les différentes transcriptions des verbatim ont été codés sous la forme « prédicat/argument ». Ledit formalisme « prédicat/argument » a été adapté à notre travail. Nous avons adopté la configuration décrite ci-dessous pour écrire nos codes suite aux remarques à nous apporter par nos codeurs.

Nos codes se présentent sous la forme XX_AB ; XY_ABC ; XY-UV_AB et XX-UV_ABC. Les XY sont associés aux prédicats prise d'information, identification et action. Les XY-UV sont utilisés pour le prédicat action auquel est greffée une décision

d'intervention. Les AB et ABC représentent les arguments. En guise d'exemples, le code PI_FS est une prise d'information sur les fonctions secondaires, tandis que le code ID_ SQT est une identification de la séquence des tâches (*description de l'évolution temporelle*) et par contre le code AC-DS_ET est l'action relative au dessin d'une étape. Donc lors de la réalisation d'une paire étape-transition du GRAFCET, le prédicat est l'action mise en œuvre (dessin, numérotation, …) et les arguments les modalités (double carré, carré, trait horizontal, …). L'annexe N° 10, page 263 donne le récapitulatif des codes utilisés dans notre travail.

3.4.2. Protocole de traitement du corpus des données

Nous avons appliqué deux types de traitements au corpus des données obtenues : un traitement qualitatif et un traitement quantitatif.

3.4.2.1. Traitement qualitatif du corpus des données

Le traitement qualitatif concerne l'exploitation à l'aide d'une grille des différentes fiches renseignées par les élèves, des synopsis issus des films vidéo produites par les enregistrements d'écran d'ordinateur et des films vidéo produites par le caméscope, des transcriptions qui ont été réalisées à partir des films audio des enregistrements d'écran d'ordinateur, des films audio produits par le caméscope, des verbatim des entretiens de l'activité de préparation, des verbatim des entretiens d'auto-confrontations et des notes prises sur le vif. Nous avons utilisé une « approche compréhensive » (Dwyer, 1992 et Vidal-Gomel, 2001) pour effectuer les différentes transcriptions. Car nous nous intéressons à la fois aux différents comportements de l'apprenant et aussi à la réinscription desdits comportements dans son activité en fonctions des caractéristiques des situations telles qu'il les a perçues.

Les grilles d'organisation des protocoles (tableau N° 04) et les codes de l'annexe N° 10 (page 263), et des annexes N° 12 à N° 16 (pages 268 à 274) ont été mis à profit pour réaliser ledit traitement qualitatif.

3.4.2.2. Traitement quantitatif du corpus des données

Le traitement quantitatif a concerné les données issues de l'encodage des activités en situation de préparation, en situation de simulation et en situation de formation traditionnelle, des transcriptions des différents verbatim, des scores obtenus aux évaluations des travaux de préparation, simulation et formation traditionnelle. Nous avons effectué deux types de traitements quantitatifs : l'un de statistique descriptive et l'autre de statistique inférentielle.

a) Statistique descriptive

Ce traitement quantitatif est relatif à la détermination des taux de couverture des différentes instances. Nous l'avons utilisé pour calculer les taux de couverture des différents éléments analysés disponibles dans les fiches renseignées par les acteurs, aussi pour déterminer les taux des occurrences des différents épisodes, et chiffrer le taux de réussite aux différentes évaluations.

b) Statistique inférentielle

Cet autre traitement quantitatif a trait aux tests statistiques. Lesdits tests statistiques s'intéressent à l'identification de la position « optimale » dans le déroulement de l'apprentissage de la formation à base de simulation comparativement à celui de la formation traditionnelle et aussi à déterminer l'absence ou la présence d'une relation entre les dispositifs de formation (N° 01 et N° 02) et les données (âge, redoublant, internat, …) issus de l'exploitation du dossier élève. Les fiches renseignées par les acteurs, les travaux à l'aide de la simulation et sur banc de câblage électropneumatique ont été évaluées par l'enseignant pour servir de support d'étude en ce qui concerne les effets de la position respective de la formation à base de simulation comparativement à celui de la formation traditionnelle en relation avec les groupes que nous avons formés. Plus précisément, les tests statistiques de comparaison que nous allons exploiter, vont s'appuyer sur les gains (scores) en nombre de points obtenus aux évaluations des travaux de préparation, simulation et formation traditionnelle. Notre étude statistique doit nous permettre de vérifier les effets de la position respective de la formation à base de simulation et de la

formation traditionnelle. Nous allons aussi chercher à savoir si les données (âge, ancienneté dans la classe, lieu d'habitation, outil informatique) issus du dossier élève influence significativement les gains (scores) obtenus lors de la mise en œuvre des dispositifs de formation (N° 01 et N° 02). Pour ce faire, nous allons utiliser comme tests de significativité, le test de corrélation pour des données purement quantitatives et le test de comparaison pour des données comportant du quantitatif et du qualitatif.

3.5. LE TERRAIN

3.5.1. Test de la méthodologie projetée

Le test de la méthodologie projetée avait pour objectif de conforter la méthodologie, à travers la vérification des critères de fidélité et de validité des outils de collecte de données qui seront utilisés.

Des contraintes institutionnelles ne nous ont pas permis de tester la méthodologie projetée dans un établissement d'enseignement secondaire technique. Cela est dû au fait que les textes portant définition des nouveaux référentiels pour la spécialité maintenance électromécanique (MEM), n'étaient pas encore disponibles durant la période consacrée aux tests des méthodologies (février à septembre 2016).

Comme il fallait à tout prix réaliser le test, nous sommes allés le faire en enseignement supérieur, dans une école d'ingénieur. L'école nationale supérieure polytechnique de Yaoundé a servi de cadre à la réalisation du test de notre méthodologie. Trois (03) descentes ont été effectuées sur ce site. Les réalités de ce terrain (absence d'équipements et de matériels pour la réalisation des manipulations réelles), nous ont emmené à nous limiter au test des méthodes d'analyse et de codage en liaison avec l'hypothèse H2 « les apprenant vont agir avec compétences notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence » et ce en situations de classe lors de l'utilisation d'un logiciel de simulation en automatisme.

La population de ce test était constituée d'un enseignant et de trente-deux étudiants de la classe de 4ème année génie industriel. Et les outils suivants ont été utilisés pour recueillir les données : l'énoncé du TP (Travaux Pratiques) à réaliser, les prises de notes sur le vif, l'enregistrement de l'écran d'ordinateur d'un (01) étudiant grâce au logiciel *Bandicam* et

l'observation filmée de l'activité en classe à l'aide des webcams d'une tablette et de deux ordinateurs portables.

Nous avons procédé à l'extraction d'un morceau de vidéo de 05 minutes. Ledit extrait nous a servi d'une part, à vérifier la consistance et la validité de nos codes, d'autre part à procéder à la mise en œuvre de notre grille d'encodage (tableau N° 05). Le kit d'encodage ainsi constitué a été soumis à deux codeurs.

Tableau 5: Tableau de codage de protocole

N° ligne	Temps (mn:s)	Protagoniste	Episode N°__		Codage prédicat-argument				
			Eléments observées	Verbalisation	Prédicats	Arguments			
						Arg1	Arg2	Arg3	Arg4

L'aperçu des résultats du test montre :

- que le codage « prédicat »/« argument » est promoteur, car il nous a permis de tester et reformuler les éléments constitutifs des indicateurs conceptuels qui avaient été identifiés. Le découpage des protocoles en micro-situation didactique à partir de l'analyse schématique de la tâche (TP) à réaliser est révélateur pour l'analyse de nos données. Et que le modèle COMPETY révèle que l'activité de l'apprenant est organisée, avec un mélange d'invariance (organisateurs de l'activité), d'adaptation aux circonstances (représentations circonstancielles) et de mise en œuvre des instruments dédiés aux caractéristiques de la situation actuelle.
- qu'il faudra utiliser d'autres dispositifs que les webcams des tablettes et ordinateurs portables pour réaliser les films. Que le cadre PAW développé par (Samurçay, Rabardel, 2004) n'a pas donné satisfaction, car les indicateurs pour ce modèle, n'étaient pas évidents à mettre en œuvre. Et que nous aurons un important volume de données à encoder.
- qu'un accord satisfaisant (Kappa de Cohen de 0,72) a été obtenu.

Le test a provoqué les incidences suivantes sur notre plan de recherche :

- l'élimination du cadre PAW au profit du modèle COMPETY,
- l'utilisation du matériel approprié pour filmer (caméscope),
- l'identification et l'utilisation des logiciels pour encoder, analyser et traiter les données.
- le réajustement des codes sur la base des amendements fournis par les deux codeurs.

3.5.2. Le terrain proprement dit

Afin d'assurer une collecte de données efficace, nous avons procédé tel que décrit ci-dessous :

Etape 1

Profitant de notre statut de référent de la pédagogie en ce qui concerne l'automatisme et la maintenance industrielle au Ministère des Enseignements Secondaires de Cameroun, nous avons anticipé sur la signature des textes portant définition du référentiel de formation de la spécialité Maintenance Electromécanique (MEM) au second cycle de l'enseignement secondaire technique et professionnel du Cameroun pour procéder à la vérification de la disponibilité auprès des acteurs des logiciels de simulation. Lesdits logiciels de simulation étant ceux qui sont inscrits dans le guide d'équipements et le guide médiagraphie de la spécialité MEM. Nous avons sensibilisé tous ceux qui sont concernés (responsables administratifs et pédagogiques) sur la nécessité impérative de la mise à disposition des logiciels de simulation.

Etape 2

La population ayant été définitivement identifiée et arrêtée, nous avons procédé à la formation des différents acteurs à l'utilisation des logiciels de simulation lorsque cela était nécessaire. Ladite formation a consisté en la mise à disposition des tutoriels et en des séances de manipulation qui se déroulaient tous les mercredis après-midi des mois de novembre et décembre 2016.

Etape 3

Avant le début de l'expérimentation proprement dite, nous avons procédé à l'installation sur les machines, du logiciel *Bandicam* qui devait nous permettre d'enregistrer l'écran des ordinateurs des acteurs, et avons préparé le caméscope destiné à filmer les séances de formation traditionnelle. Nous avons parallèlement avec notre population, identifié et dénombré le matériel et l'équipement disponible sur chaque poste de travail.

Etape 4

Nous avons programmé l'expérimentation proprement dite. Elle a débuté à la rentrée du deuxième trimestre de l'année scolaire 2016-2017, plus précisément le 11 janvier 2017 et s'est déroulée dans la situation réelle d'apprentissage, comme le préconise le référentiel de formation de la spécialité MEM. Conformément au volume horaire hebdomadaire alloué au cours d'automatisme en classe de première MEM, nous nous retrouvions tous les mercredis de 11h à 12h 40 et ce durant tout le deuxième trimestre, soit 11 séances en tout.

Etape 5

Deux temps fort ont ponctué la séquence lancement du TP.
Le premier est celui lors duquel les acteurs des deux groupes ont écouté l'enseignant qui leur a présenté les objectifs des manipulations, leur a fourni des clarifications sur les contraintes imposées par la situation problème proposée et leur a décrit le déroulement des différentes phases des travaux.
Le deuxième temps fort est celui pendant lequel tous les acteurs ont réalisé au même moment l'analyse descendante de l'automatisme à mettre en œuvre, ce que nous appelons « préparation du travail à exécuter ».

L'analyse descendante de l'automatisme à mettre en œuvre, pour toutes les personnes qui constituent la population de notre étude consiste :

- à la recherche des fonctions,
- à l'inventaire des tâches et la coordination des tâches entre-elles,
- au choix des options technologiques,

- à la description du cycle automatique de la machine.

Cette étape s'est étendue sur 03 séances en y incluant la phase d'entretien

Etape 5

Les phases de manipulations se sont déroulées durant 04 séances.

Etape 6

S'agissant des séquences d'auto-confrontation, les films issus des captures d'écran et de l'enregistrement des séances de formation traditionnelle nous ont servi de support pour réaliser lesdites séances. Les auto-confrontations se sont déroulées juste après les séances qui suivaient les manipulations.
Cette étape s'est étendue sur 04 séances.

3.6. APPROCHE ET OUTILS DE MISE EN ŒUVRE

3.6.1. Approche mise en œuvre

Dans un premier temps, nous avons utilisé une démarche inductive, car comme le préconise Samurçay, Rabardel (2004), nous nous devions d'observer les comportements des acteurs dans les classes de situation d'automatisation, de simulation et de formation traditionnelle. Ces observations vont permettre d'identifier les différents indicateurs conceptuels. Dans un second temps, grâce aux indicateurs conceptuels qui ont été identifiés, l'approche hypothético-déductive a été déployée par l'entremise une fois de plus du modèle COMPETY. Ledit modèle a permis de guider l'analyse de l'activité afin d'inférer les différentes dimensions des ressources mobilisées, donc de vérifier les hypothèses formulées.

3.6.2. Les outils de mise en œuvre

L'acquisition du logiciel NVivo nous a permis d'effectuer le traitement qualitatif de notre corpus des données. NVivo est un logiciel payant qui supporte des méthodes de recherche qualitatives et combinées. Il est conçu pour permettre à son utilisateur d'organiser, analyser et trouver du contenu perspicace parmi tous les types de données.

Par conséquent, la grille d'organisation des protocoles (tableau 4, page 90) a été modifiée, c'est-à-dire que pour travailler dans NVivo, nous n'avons conservé que l'identité codifiée du protagoniste, les éléments observés, les transcriptions des verbatim et le codage des différentes instances. Chaque activité constituant un épisode, dans NVivio un épisode est un fichier. Toutes nos sources de données (fiches renseignées, activités, transcription des verbatim, score aux évaluations et exploitation du dossier élève) ont été ramenées dans le logiciel NVivo afin de lancer des requêtes d'encodage matricielles. Une grande attention a été accordée d'une part aux gestes et aux manipulations disponibles dans les enregistrements d'écran et les films audio/vidéo, et d'autre part aux différents discours des apprenants. La matrice produite par le logiciel NVivo a été exportée vers le logiciel Microsoft Excel pour exploitation.

Le traitement statistique a été effectué à l'aide de XLSTAT imbriqué dans Microsoft Excel. XLSTAT est un logiciel payant, dont on peut bénéficier des avantages qu'offre la version complète pendant 14 jours en s'inscrivant sur le site de l'éditeur. Il s'intègre parfaitement à Microsoft Excel, rendant ainsi l'analyse des données et la personnalisation des résultats très conviviales. XLSTAT offre de très nombreuses fonctionnalités qui font d'Excel un outil performant et facile d'accès pour répondre à la majorité de nos besoins en analyse de données et modélisation. XLSTAT nous a servi à réaliser tous nos tests statistiques (normalité, comparaison, corrélation et influence).

3.7. SYNTHESE DU CHAPITRE 3

La didactique professionnelle et l'ergonomie nous disent qu'il faut analyser l'activité mise en œuvre pour pouvoir identifier la nature des ressources mobilisées pour réaliser une tâche bien précise. Pour ce faire, nous avons adopté comme bien une scie pour profilés en aluminium qui présente une baisse des performances. Ces dernières sont liées au fait que toutes les opérations sont exécutées manuellement (avance, maintien, sciage du profilé et récupération du tronçon scié). Le besoin d'amélioration ou de modification ayant été constaté, le quitus est donné pour que soit proposé une idée d'amélioration ou de modification de la scie. Les contraintes suivantes sont imposées : ne tenir compte que des 02 types d'énergie électrique et pneumatique, remplacer puis exécuter dans le bon ordre toutes les opérations manuelles et utiliser l'outil GRAFCET pour l'analyse et la synthèse

de l'automatisme. Dans ce contexte, l'activité des apprenants est une activité constructive par le moyen d'une activité productive, car ils ont à décrire le système dans son environnement d'un point de vue fonctionnel, temporel et structurel ; identifier toutes les fonctions, décrire le rôle et les caractéristiques des composants réalisant ces fonctions et décoder l'évolution temporelle de la scie.

Nous avons eu un effectif de 36 élèves que nous avons scindé en 02 groupes. Les deux groupes ont réalisé les mêmes travaux pratiques correspondant à la situation problème à résoudre. Nous avons mis 20 élèves dans le premier groupe nommé groupe «simulation-traditionnelle » (GE) et 16 élèves dans le deuxième groupe qui porte le nom de groupe « traditionnelle-simulation » (GC). Nous avons apparié les élèves pour avoir 18 équipes de deux (02) binômes. Nous avons reconfiguré la démarche des « TP tournants » utilisé dans nos établissements scolaires en adoptant la procédure expérimentale suivante : le groupe «simulation-traditionnelle » GE commencera par la simulation, puis passera à la formation traditionnelle. Tandis que le groupe « traditionnelle-simulation » GC débutera par la formation traditionnelle puis enchainera avec la simulation. Cette reconfiguration nous a permis d'avoir deux dispositifs. Le groupe GE va donc utiliser le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la Simulation et clôturée par la formation Traditionnelle) et le groupe GC va plutôt utiliser le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation Traditionnelle et clôturée par la Simulation). Tous les apprenants indépendamment du groupe d'appartenance vont exécuter au même moment la préparation du travail à effectuer disponible dans la phase dite de lancement du TP. Simulation et formation traditionnelle sont séparées par une première auto-confrontation puis clôturées par une seconde auto-confrontation.

Notre étude s'est déroulée dans une situation réelle d'apprentissage. Notre démarche a consisté à associer à des données issues des résultats finaux à des exercices, des observations en situation réelle d'apprentissage, des analyses de protocoles verbaux issus des échanges verbaux entre les élèves, des entretiens et des auto-confrontations sur la prestation effectuée recueillis indépendamment de la réalisation de la tâche. Nous avons organisé nos différents protocoles bruts à l'aide des grilles afin de mettre en parallèle les différentes activités élémentaires. Nous avons appliqué deux types de traitements au corpus des données obtenues : un traitement qualitatif et un traitement quantitatif.

CHAPITRE 4 : PRESENTATION DU CORPUS DES DONNEES

Notre quête est double, identifier d'une part, la nature des ressources mobilisées par des techniciens novices de la maintenance électromécanique, lors de la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification de bien par automatisation de son fonctionnement et cela en situations d'automatisation et de simulation. Et d'autre part chercher à mieux comprendre l'effet de la position de la simulation par rapport à la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage.

Pour mémoire, notre étude s'est déroulée dans une situation réelle d'apprentissage. Le corpus des données obtenu après l'expérimentation est présenté suivant les différentes activités proposées aux élèves et aussi suivant les performances chiffrées des mêmes élèves. Nous avons adopté pour chaque activité une présentation des données par groupe suivie de celle de l'ensemble de notre population. Nous tenons à préciser que pour l'instant dans ce chapitre, nous n'établissons pas de lien de causalité avec nos hypothèses de recherche. Quatre axes de présentation du corpus des données sont développés dans ce chapitre, en référence aux activités réalisées par la population de notre étude. Comme premier axe de présentation nous avons les activités liées à l'analyse du fonctionnement de l'automatisme. Le second axe concerne les activités en situation simulée. Le troisième axe se penche sur les activités en situation de formation traditionnelle. Le dernier axe se rapporte aux résultats des scores obtenus aux différentes travaux.

4.1. ACTIVITES D'ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DE L'AUTOMATISME

Nous nous situons dans la phase dite de « préparation du travail à exécuter », disponible lors du lancement du TP. Tous les apprenants indépendamment du groupe d'appartenance ont exécuter au même moment le travail à faire durant cette phase.

Nous nous intéressons ici de façon plus précise aux activités d'analyse du fonctionnement de la scie pour profilés d'aluminium par les apprenants. Le schéma de la scie et les conditions de son environnement, et le cahier des charges de l'amélioration ou de la modification de la scie servent de situation de début pour ce travail.

Le corpus des données qui résulte de l'analyse descendante de l'automatisme est disponible sous trois groupes.

Le premier groupe est issue de la grille de compilation des cent quarante-quatre fiches renseignées. La figure 13 ci-dessous donne un extrait de ladite grille.

Figure N° 13 : Extrait grille de compilation de toutes les fiches renseignées

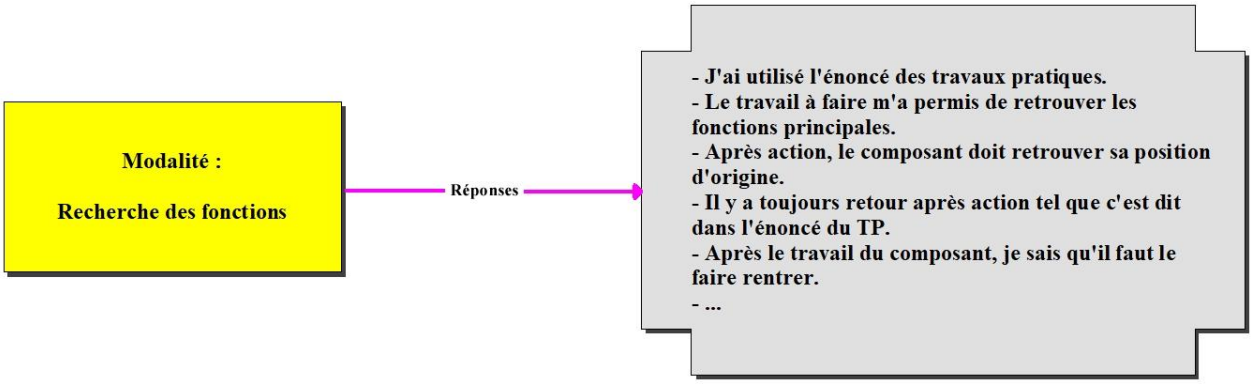
Groupe	Apprenant	Fonctions principales					Contraintes					Fonctions secondaires											
		FP1	FP2	FP3	FP4	FP5	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6	FS7	FS8	FS9	FS10	IT1	IT2
GE	GEA1	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEA2	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEB3	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEB4	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEC5	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEC6	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GED7	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GED8	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEE9	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEE10	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	GEF11	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui

L'extrait de la grille de compilation des fiches renseignées montre que pour chaque apprenant, chaque instance est renseignée par « oui » ou par « non ». Le « oui » signifie que l'élève a donné la bonne réponse et le « non », la mauvaise réponse.

Le deuxième groupe est constitué des verbatim des entretiens et du contenue des notes prise sur le vif.

La figure 14 ci-dessous donne un extrait des verbatim relatif à la préparation.

Figure N° 14 : extrait des verbatim relatif à la préparation



L'extrait des verbatim ci-dessus indique que les réponses fournies par les élèves ont été regroupées par modalité pour faciliter l'encodage.

Le troisième groupe résulte de la matrice produite par le logiciel NVivo et exportée vers le logiciel Microsoft Excel. Il s'agit ici de la compilation encodée des contenus des cent

quarante-quatre fiches renseignées par les élèves, de la transcription encodée des verbatim des entretiens et du contenue des notes prise sur le vif.

Le tableau N° 06 présente les occurrences produites par l'encodage des différentes données liées à l'activité de préparation.

Tableau 6 : Occurrences liées à l'activité de préparation

Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

Lorsqu'on prend par exemple la réponse « *Le travail à faire m'a permis de retrouver les fonctions principales »,* nous sommes en présence d'une prise d'information sur les fonctions principales, la réponse en question est encodée PI_FP, conséquence, cela provoque l'ajout d'une occurrence au code PI_FP. De même, lorsque nous avons un « oui » pour une tâche dans la grille de compilation des fiches renseignées, une occurrence s'ajoute au code ID_TA

4.1.1. La recherche des fonctions

La situation-problème proposée donne des indications sur ce qu'il y a à faire par les apprenants en ce qui concerne la recherche des fonctions. Lesdites fonctions ont trait à la mécanisation et l'automatisation de la scie pour profilés en aluminium. Il s'agit de toutes les opérations qui s'effectuent manuellement en tenant compte des deux types d'énergies disponibles (électrique et pneumatique).

Tableau 7 : Recherche des fonctions

Fonctions principales	Contraintes	Fonctions secondaires
Déplacement du profilé contre une butée	Effort de poussée en fonction de la charge à déplacer, vitesse réglable, course mini-maxi réglable.	- poussée - retour du poussoir
Serrage du profilé	Course de serrage, irréversibilité, effort de serrage en fonction des efforts d'avance et de coupe, vitesse.	- serrage - desserrage

Le tableau N° 07 donne un exemple de réponse attendue des élèves. La version complète est disponible à l'annexe N° 12, page 268. Pour la scie pour profilé d'aluminium, cette annexe N° 12 dresse un inventaire des fonctions, des contraintes et des codes qui leurs sont associés. Les fonctions principales sont soumises à des contraintes. La levée des contraintes concerne la réalisation des mesures et des calculs suivis de choix parmi les solutions techniques possibles. Les fonctions secondaires résultent du découpage des fonctions principales en fonctions plus élémentaires, donc plus faciles à analyser. Certaines contraintes peuvent être levées par une fonction secondaire qui, elle-même, entraîne un certain nombre de nouvelles contraintes non soupçonnées au départ. L'annexe N° 12 (page 268) nous indique qu'il a cinq fonctions principales, cinq contraintes et dix fonctions secondaires à trouver.

Le tableau N° 08 présente les résultats relatifs à la recherche des fonctions disponible dans la grille de compilation des fiches renseignées. Les résultats sont présentés pour chacun des groupes et aussi pour tous les apprenants qui constituent notre population.

Tableau 8 : Résultats de la recherche des fonctions par les apprenants

Population		**Fonctions principales**	**Contraintes**	**Fonctions secondaires**
Groupe	**Effectif**			
GE	20	5/5	3/5	9/10
GC	16	5/5	3/5	9/10
Ensemble	36	5/5	3/5	9/10

Le tableau N° 08 nous indique que, pour l'identification des fonctions principales, les 20 élèves du groupe GE et les 16 du groupe GC ont pu identifier toutes les cinq fonctions principales, par ricochet, les 36 élèves de notre population ont retrouvé toutes les fonctions principales. Nous avons donc un taux de couverture de 05 sur 05 fonctions principales du système à automatiser pour les groupes GE et GC et aussi pour l'ensemble de notre population. Pour ce qui est des contraintes auxquelles sont soumises les fonctions principales, il n'y a que trois contraintes sur les cinq qui ont pu être identifiées par les 20 élèves du groupe GE et les 16 du groupe GC, donc par nos 36 acteurs. Ce qui donne un taux de couverture de 03 sur 05 contraintes liées aux fonctions principales du système à

automatiser pour les groupes GE et GC et aussi pour l'ensemble de notre population. S'agissant des fonctions secondaires, une seule fonction secondaire a échappé aux 20 élèves du groupe GE et aux 16 du groupe GC. Nous avons un taux de couverture de 09 sur 10 fonctions secondaires du système à automatiser pour les groupes GE et GC et aussi pour l'ensemble de notre population.

Comme nous l'avons souligné plus, les occurrences produites par l'encodage des différentes données liées à l'activité de préparation proviennent à la fois de la grille de compilation des fiches renseignées et de la transcription des verbatim des entretiens et du contenue des notes prise sur le vif. De ce fait, les prises d'information sur les fonctions principales et les fonctions secondaires ont chacune un poids de 18,67% sur l'ensemble des données collectées auprès de notre population. Tandis que les prises d'information sur les contraintes n'ont qu'un poids de 3,73% (confère figure N° 15).

Figure 15 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la recherche des fonctions

Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

La recherche des fonctions a un poids de 40,77 % sur l'ensemble des données collectées au cours de la phase dite de « préparation du travail à exécuter ».

4.1.2. L'inventaire des tâches

Nous appelons tâche une action ou une suite d'actions à effectuer par le système. Les tâches à exécuter sont étroitement liées aux fonctions secondaires.

Tableau 9 : Inventaires des tâches

Tâche	Fonction assurée
T1	Poussée du profilé d'aluminium
T2	Retour du poussoir
T3	Serrage du profilé d'aluminium
T4	Desserrage du profilé d'aluminium

Pour ce travail, le tableau N° 09 donne des exemples de réponses attendues des élèves. L'annexe N° 13, page 269 dresse un inventaire de toutes les tâches et de leurs codes pour

la scie. On note qu'aux tâches issues des fonctions secondaires, il faut ajouter d'autres tâches qui n'apparaissent pas dans l'annexe N° 13 mais qui, néanmoins, sont habituelles et nécessaires dans les automatismes. Il s'agit de la préparation du poste de travail, de la mise en référence, de la protection du matériel et de la sécurité de l'opérateur.

La préparation du poste de travail a trait à la mise en condition de la machine par la mise en énergie, le chargement de la matière d'œuvre.

La mise en référence a pour rôle de mettre les actionneurs de la machine en situation initiale de départ et de visualiser cette mise en référence.

La protection de l'appareil concerne l'arrêt de la scie en cas de surcharge ou de blocage de la scie pour profilé d'aluminium.

La sécurité de l'opérateur est assurée par l'arrêt d'urgence de la scie en cas d'accident.

Les données relatives à l'inventaire des tâches sont produites par l'identification des différentes tâches réalisées par les acteurs.

Tableau 10 : Résultats de l'inventaire des tâches par les élèves

Population		**Inventaire des tâches**
Groupe	**Effectif**	
GE	20	11/14
GC	16	11/14
Ensemble	36	11/14

Le tableau N° 10 présente les résultats de l'inventaire des tâches par les élèves issues de la grille de compilation des fiches renseignées. Pour les quatorze tâches à trouver, les 20 élèves du groupe GE, les 16 du groupe GC n'ont pu identifier que onze tâches. Alors nous avons un taux de couverture 11 sur 14 tâches à inventorier pour les groupes GE et GC et aussi pour l'ensemble de notre population. Aucun membre de notre population n'a pris en compte les tâches relatives à la préparation du poste de travail (T11) et à la sécurité des biens et des personnes (T13 et T14), puisqu'elles n'apparaissent pas directement dans la liste des fonctions secondaires.

L'identification liée à l'inventaire des tâches a un poids de 11,20% sur l'ensemble des données collectées en situation de préparation auprès de nos acteurs (confère Figure N° 16).

Figure N° 16 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à l'identification des tâches

Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

4.1.3. La recherche de la coordination des tâches entre-elles

Une description de type algorithmique est utilisée pour procéder à la recherche de la coordination des tâches entre elles. Pour chaque tâche, il faut se poser les questions suivantes :

1. Quelles sont les conditions autorisant le début de la tâche ?
   (**début si** conditions vraies **alors** exécuter tâche)
2. Quelles sont les conditions vérifiant que la tâche est terminée ?
   (**fin si** conditions vraies)
3. Quelle (s) tâche(s) est (sont) autorisée (s) en suivant ?
   (**fin autorise** tâche (s) suivante (s)).

Les ordres associés à l'adverbe « **alors** » sont des verbes à l'infinitif. Ces ordres provoquent le déclenchement des actions associées.
Les conditions nécessaires à l'enchaînement des tâches se présentent sous forme de contrôles (de position, de présence et de résultat) et de consignes (mise en référence, départ de cycle). Lesdites consignes et contrôles sont en fait des signaux (informations) émis par des capteurs.

Exemple d'application de l'algorithme à la tâche T1

Tâche T1 (Poussée du profilé d'aluminium)

début si la scie est en référence (fin tâche T13)

et si le profilé est présent

et si le départ de cycle est autorisé

alors pousser le profilé pour le mettre en butée

fin si le profilé est en butée

fin autorise le début de la tâche T3 (Serrage du profilé d'aluminium)

Les élèves ont appliqué la démarche présentée ci-dessus aux tâches répertoriées dans l'annexe N° 14, page 270.

Les tâches T11, T13 et T14 identifiées lors de l'inventaire des tâches ne figurent pas dans l'annexe N° 14. La tâche T11 est une opération purement manuelle, mais gérée par un dispositif de contrôle. Les tâches T13 et T14 ne sont pas des tâches à proprement parler, mais des fonctions de sécurité et de protection qu'il faut prendre en compte.

Les fiches renseignées par les élèves en s'aidant de l'annexe N° 14 constituent les données relatives à la recherche de la coordination des tâches entre-elles.

Les résultats du dépouillement desdites fiches encodées disponible dans la grille de compilation des fiches renseignées sont donnés dans le tableau N°11.

Tableau 11 : Résultats de la coordination des tâches entre elles par les apprenants

Population		**Coordination des Tâches entre elles**
Groupe	**Effectif**	
GE	20	09/11
GC	16	09/11
Ensemble	36	09/11

La configuration des résultats se présente de la manière suivante : sur les onze tâches, les 20 élèves du groupe GE, les 16 du groupe GC ont correctement renseigné neuf tâches, ce qui donne un taux de couverture de l'inventaire des tâches de 09 sur 11 pour les groupes GE et GC et aussi pour l'ensemble de notre population. Ce résultat est lié au fait qu'aucun apprenant n'a pris en compte la condition « le départ de cycle est autorisé » pour la tâche T1, et la condition « pas de surcharge sur la scie » pour la tâche T5.

La condition « le départ de cycle est autorisé » fait partie de la matérialisation de la tâche T11 (la préparation du poste de travail). La condition « pas de surcharge sur la scie » est liée à la tâche T13 (Protection du matériel), en d'autres termes la sécurité des biens.
L'identification liée à la recherche de la coordination des tâches entre-elles a un poids de 11,20% sur l'ensemble des données collectées en situation de préparation auprès de nos acteurs (confère figure N° 17).

Figure N° 17 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la coordination des tâches entre elles

Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

4.1.4. Le choix des options technologiques

La situation-problème impose la contrainte suivante : « ne tenir compte que des deux types d'énergie disponibles (électrique et pneumatique) dans l'entreprise ». Ladite contrainte est aussi liée au curriculum de la classe de première maintenance électromécanique au Cameroun qui impose ces deux types d'énergie. Parallèlement, l'aspect économique est à privilégier, puisque l'objectif de cette automatisation est essentiellement d'améliorer les performances (cadence) et l'autonomie de la scie pour profilé d'aluminium à un coût minimal. Or la machine est alimentée uniquement en énergie électrique à l'origine. La rotation de la scie est possible grâce à un moteur électrique triphasé, pour les raisons évoquées ci-dessus. Il n'y a pas de raisons valables de remettre ce choix en question. Pour des raisons liées au curriculum de première MEM et de la contrainte relevée dans la situation-problème, le choix porte sur une partie commande (PC) de type câblé, soit une technologie pneumatique pour la commande des préactionneurs. Le tableau N° 12 donne un exemple de réponse attendue des élèves. L'annexe N° 15, page 273 récapitule le choix des options technologiques et leurs différents codes.

Tableau 12 : Choix des options technologiques

Actionneurs		
Tâches	**Symboles**	**Composants**
poussée du profilé contre une butée	1A	vérin pneumatique double effet
serrage du profilé d'aluminium	2A	vérin pneumatique double effet
rotation de la scie	M1	moteur électrique triphasé asynchrone
avance lente et régulière du chariot de sciage	3A	unité oléo-pneumatique
éjection du tronçon coupé	4A	vérin pneumatique simple effet

Les données relatives au choix des options technologiques sont issues de l'identification des composants réalisée par les acteurs.

Le tableau N° 13 présente les résultats issus du récapitulatif du choix des options technologiques par les élèves disponibles dans la grille de compilation des fiches renseignées.

Tableau 13 : Résultats du récapitulatif du choix des options technologiques par les élèves

Population		Choix des options technologiques
Groupe	**Effectif**	
GE	20	22/26
GC	16	22/26
Ensemble	36	22/26

Sur les vingt et six composants disponibles dans l'annexe N° 15, les 20 élèves du groupe GE et les 16 du groupe GC ont trouvé vingt et deux composants, ce qui donne un taux de couverture du choix des options technologiques de 22 sur 26 pour chacun des groupes GE et GC et aussi pour l'ensemble de notre population.

Cependant, 06 élèves ont proposé des composants de détection du mode de marche (cycle par cycle ou automatique) et d'initialisation qui ne font pas partie de la liste mais qui permettent d'avoir une automatisation plus poussée du système.

<u>Le mode de marche</u> : en fin de cycle, tant qu'il y a présence du profilé au poste de poussée, le cycle se répète sans intervention de l'opérateur. Dans le cas contraire, le cycle revient à l'étape initiale.

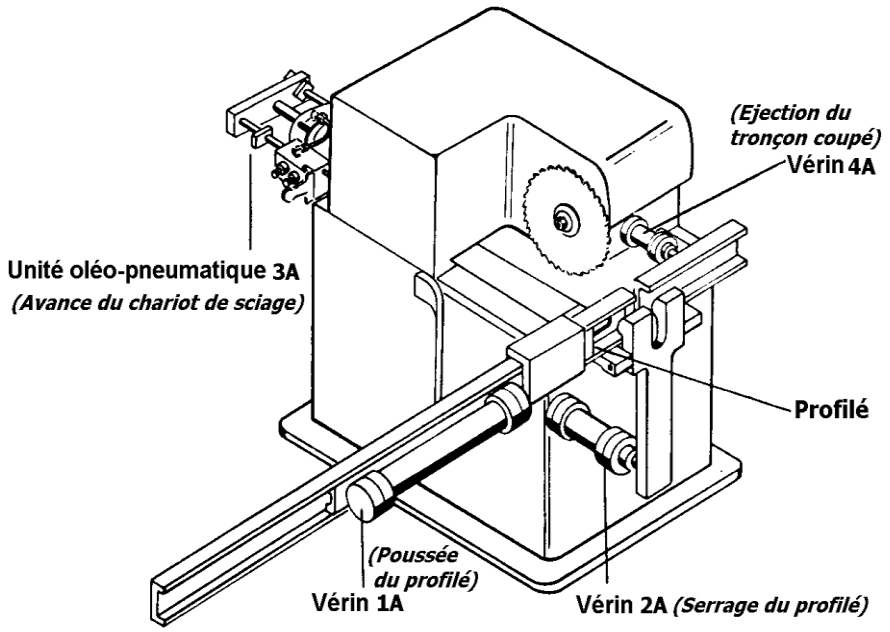
<u>L'initialisation</u> : Après une coupure de pression ou après le démontage de distributeur, les distributeurs sont remis dans la position initiale pour que, dès la remise sous pression, les vérins retrouvent eux aussi leur position initiale.

L'identification liée aux choix des options technologiques a un poids de 7,47% sur l'ensemble des données collectées en situation de préparation auprès de nos acteurs (confère figure N° 18).

Figure 18 : Texte surligné en jaune = occurrences liées aux choix des options

Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

Figure N° 19 : Disposition des vérins sur la scie pour profilé en aluminium



4.1.5. La description du cycle automatique de la machine

Le cycle automatique recherché est obtenu grâce aux algorithmes développés dans la recherche de la coordination des tâches entre-elles et aux options technologiques retenues. A présent on peut situer l'exécution de chaque tâche par rapport aux autres, puisqu'on sait comment elle débute et quelle autorisation elle fournit lorsque sa réalisation est terminée. Les données sont issues des actions de séquencement des tâches réalisés par les élèves avec l'aide des algorithmes pré remplis, des algorithmes développés dans la recherche de la coordination des tâches entre-elles et aux options technologiques retenues.

La description du cycle automatique est rendue possible grâce à la recherche de la coordination des tâches entre-elles. La séquence des tâches correspond à l'ordre chronologique du déroulement des tâches tout en respectant la coordination des tâches entre-elles.

Ci-dessous un exemple appliqué aux tâches T1 (Poussée du profilé d'aluminium), T2 (retour du poussoir) et T3 (serrage du profilé d'aluminium). L'algorithme complet est donné en annexe N° 16, page 274.

Exemple d'application de l'algorithme aux tâches T1 ; T2 et T3

Test autorisations de départ données

Début tâche T1

Exécuter tâche T1 : poussée du profilé d'aluminium

Test poussée du profilé d'aluminium effectué

Début tâche T3

Exécuter tâche T3 : serrage du profilé d'aluminium

Test serrage du profilé d'aluminium effectué

Début tâche T2

Exécuter tâche T2 : retour du poussoir

Le tableau N° 14 illustre les résultats de la description du cycle automatique de la machine par les 20 élèves du groupe GE et les 16 du groupe GC.

Tableau 14 : Résultats de la description du cycle automatique de la scie par les élèves

Population		Description du cycle automatique
Groupe	**Effectif**	
GE	20	10/11
GC	16	10/11
Ensemble	36	10/11

Pour les onze éléments disponibles dans l'annexe N° 16, les 20 élèves du groupe GE et les 16 du groupe GC ont trouvé 10. Les résultats montrent donc un taux de couverture de la description du cycle automatique de la machine de 10 sur 11 pour chacun des groupes GE et GC et aussi pour l'ensemble de notre population.

Les élèves ont établi le séquencement des tâches correspondant au cycle automatique de la scie. Toutefois, dans l'exécution de la tâche T8, ils ont omis de mentionner que la scie devrait être maintenue en rotation.

L'identification de la description du cycle automatique de la machine a un poids de 18,67% sur l'ensemble des données collectées en situation de préparation auprès de nos acteurs (confère figure N° 20).

Figure N° 20 : Texte surligné en jaune : occurrences liées à la description du cycle automatique de la machine

Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

4.1.6. L'exploitation du dossier élève

Nous avons exploité le dossier élève lors des activités d'analyse du fonctionnement de l'automatisme.

Le tableau 15 ci-dessous nous donne la configuration des données issus dudit dossier élève.

Tableau 15 : Résultats de l'exploitation du dossier élève

Groupe	Apprenant	DOSSIER ELEVE						
		AGE	SEXE	RD	INT	ORD	SAL	ATR
GE	GEA1	16	M	non	oui	oui	oui	SG_Internat
	GEA2	17	M	non	non	non	non	NA
	GEB3	17	M	non	oui	oui	oui	SG_Internat
	GEB4	17	M	non	non	non	non	NA
	GEC5	17	M	non	oui	oui	oui	SG_Internat
	GEC6	17	M	non	non	non	non	NA
	GED7	17	M	non	non	oui	non	NA
	GED8	17	M	non	non	non	non	NA
	GEE9	17	M	non	non	oui	non	NA
	GEE10	17	M	non	non	non	non	NA
	GEF11	16	M	non	non	oui	non	NA
	GEF12	16	M	non	non	non	non	NA
	GEG13	16	M	non	non	oui	non	NA
	GEG14	17	M	non	non	non	non	NA
	GEH15	17	M	non	non	oui	non	NA
	GEH16	17	M	non	non	non	non	NA
	GEI17	17	M	non	non	oui	non	NA
	GEI18	17	M	non	non	non	non	NA
	GEJ19	17	M	non	oui	oui	oui	SG_Internat
	GEJ20	17	M	non	non	non	non	NA
GC	GCK21	17	M	non	oui	oui	oui	SG_Internat
	GCK22	17	M	non	non	non	non	NA
	GCL23	19	M	Oui	non	oui	non	NA
	GCL24	19	M	Oui	non	non	non	NA
	GCM25	18	M	Oui	non	oui	non	NA
	GCM26	19	M	Oui	non	non	non	NA
	GCN27	17	M	non	non	oui	non	NA
	GCN28	17	M	non	non	non	non	NA
	GCO29	17	M	non	non	oui	non	NA
	GCO30	17	M	non	non	non	non	NA
	GCP31	18	M	oui	non	oui	non	NA
	GCP32	19	M	oui	non	non	non	NA
	GCQ33	17	M	non	oui	oui	oui	SG_Internat
	GCQ34	17	M	non	non	non	non	NA
	GCR35	18	M	non	non	oui	non	NA
	GCR36	18	M	non	non	non	non	NA

NA : Non Appliqué

a) Age

Les résultats montrent que pour le groupe GE, l'âge varie entre 16 et 17 ans et pour le groupe GC entre 17 et 19 ans. S'agissant de l'ensemble de la population, les élèves ont entre 16 et 19 ans. Nous avons 04 élèves qui ont 16 ans et tous sont dans le groupe GE, ce qui donne un taux de 04 sur 36 de notre population. Nous notons que 24 élèves ont 17 ans avec 16 qui font partie du GE et 08 du GC, soit un taux de 24 sur 36 de notre effectif. Nous avons aussi 04 élèves qui ont 18 ans et ne sont localisé que dans le groupe GC donc un taux de 04 sur 36 de notre population. Enfin, les résultats pointent 04 élèves de 19 ans appartenant uniquement au groupe GC ce qui donne un taux de 04 sur 36 de notre effectif.

b) Genre

Les résultats nous indiquent que notre population est entièrement constituée des élèves de sexe masculin pour les groupes GE et GC, soit un taux de 36 sur 36 de la population de notre étude. Par ricochet, nous n'avons aucune fille dans notre effectif.

c) Redoublant

Nos résultats pointent 06 élèves qui ont le statut de redoublant, soit un taux de 06 sur 36 de notre population. Il se dégage en plus que tous les redoublants se trouvent dans le groupe GC en plus, ils se sont constitués en binôme pour avoir 03 équipes.
Nous soulignons aussi que les redoublants se sont vus rattrapés par le nouveau référentiel de formation de la spécialité MEM. Ce nouveau référentiel de formation a été officiellement signé le 28 novembre 2016, mais il a commencé à être utilisé au courant de l'année scolaire 2015-2016 uniquement en classes de seconde. La classe de première MEM de l'année scolaire 2016-2017 compte 30 élèves qui se sont familiarisés avec le nouveau référentiel depuis la classe de seconde MEM et 06 élèves qui découvrent ce nouveau programme dans la même classe.

d) Elève interne

Nos résultats montrent qu'il y a 06 élèves qui habitent l'internat de leur établissement, ce qui donne un taux de 06 sur 36 de notre effectif. Nous relevons aussi que 04 des 06 élèves internes se retrouvent dans le groupe GE, soit un taux de 04 sur 20 pour la population de ce groupe et les 02 autres sont dans le groupe GC ce qui donne un taux de 02 sur 16 de la population du groupe GC. En plus nous n'avons pas de binôme constitué uniquement d'élève interne.

e) Ordinateur personnel

Nous résultats révèlent que 10 élèves du groupe GE et 08 du groupe GC soit la moitié de notre population (donc 18 élèves) dispose d'un ordinateur personnel. Nous avons un taux de 18 sur 36 de notre effectif. Les mêmes résultats montrent que les binômes se sont

constitués en respectant la consigne qui stipulait qu'au moins un des membres doit avoir un ordinateur personnel.

f) Disponibilité de la salle multimédia du lycée en dehors des heures de cours

Nos résultats montrent qu'il n'y a que 04 élèves du groupe GE et 02 du groupe GC soit 06 élèves qui déclarent que la salle multimédia de leur établissement est disponible en dehors des heures de cours, ce qui donne un taux de 06 sur 36 de notre population. Nous notons que les 06 apprenants en question sont nos élèves qui habitent l'internat de leur établissement. Et qu'aussi la salle multimédia dispose d'une connexion permanente à Internet.

g) Autres

Nous avons approché les 06 élèves qui ont déclaré que la salle multimédia de leur lycée est disponible en dehors des heures de cours. Il ressort de nos entretiens qu'ils ont accès à la salle de 18 heures à 21 heures en semaine (de lundi à vendredi) et de 08 heures à 21 heures les week-ends (samedi et dimanche). Les accès à la salle multimédia s'effectuent sous la supervision du surveillant général d'internant.

4.2. ACTIVITES EN SITUATION SIMULE

Nous abordons pour cet axe, la deuxième partie de la présentation du corpus des données. Les activités qui nous intéressent concernent le déploiement de l'outil GRAFCET, traduction de la partie commande (PC) et la réalisation du schéma du circuit pneumatique, traduction de la partie opérative (PO) de l'automatisme sur la base du cahier de charge harmonisé disponible à l'annexe N° 02, page 241. Ledit cahier de charge harmonisé est constitué du schéma de la scie pour profilés en aluminium équipée de ses actionneurs, du GRAFCET du point de vue système de la scie, de la matérialisation des actions de la scie et des spécifications technologiques de la scie.

Pour ce faire, nous nous intéressons aux stratégies déployées par tous les élèves en phase de simulation. Il s'agit de la compilation des actions des membres du groupe GE, ceux du

groupe GC et de l'ensemble de notre population. Ces actions sont disponibles dans les synopsis (transformation des films vidéo) et les transcriptions (films audios, verbatim et note prise sur le vif) des phases simulations et des auto-confrontations qui leurs sont liées.

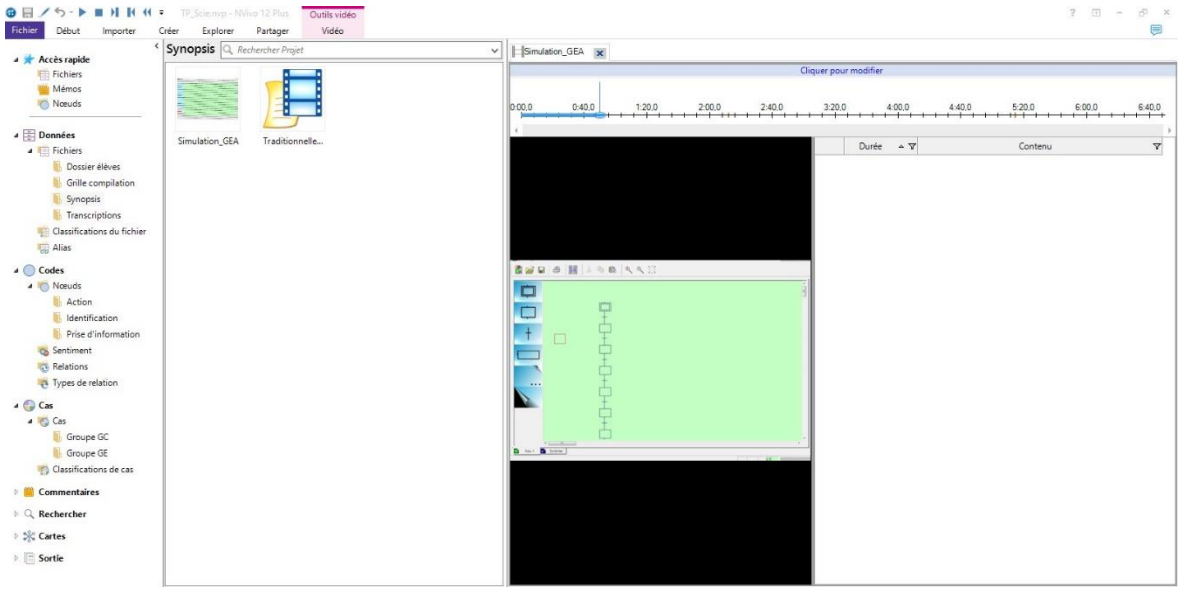
4.2.1. Caractéristiques des situations d'automatisation à l'aide de la simulation

Les apprenants ont à modéliser grâce à la simulation informatique, la proposition d'amélioration ou de modification de la scie qu'ils ont faite. L'exécution de chaque tâche pouvant être située par rapport aux autres puisque qu'on sait dès à présent comment elle débute et quelle autorisation elle fournit lorsque sa réalisation est terminée, l'outil GRAFCET est utilisé aux fins de décrire l'automatisation de la machine.
Les élèves sont dans une configuration où ils doivent produire à l'aide du logiciel de simulation, le GRAFCET point de vue partie commande (PC) et utiliser la symbolisation pour procéder au câblage des composants mis en œuvre dans la partie opérative (PO) et ce sur la base du cahier de charge harmonisé donné.

4.2.2. Configurations des données

Les données sont issues des actions (synopsis et transcriptions) de réalisation par tous les élèves du GRAFCET du point de vue partie commande et de l'utilisation de la symbolisation pour procéder au câblage des composants mis en œuvre dans la partie opérative (PO) avec l'aide d'un logiciel de simulation des automatismes.
Les synopsis (transformation des films vidéo) et les transcriptions (films audios, verbatim des entretiens d'autoconfrontation et note prise sur le vif) de l'ensemble de notre population ont été entièrement traité à l'aide du logiciel NVivo afin de produire le corpus des données relatif à la situation de simulation. Le logiciel NVivo nous a produit la matrice que nous avons exportée vers le logiciel Microsoft Excel. Il s'agit ici de la compilation encodée des actions (synopsis et transcriptions) relatif à la situation de simulation.

Figure N° 21 : Exemple de capture d'écran Nvivo pour situation de simulation



Le tableau N° 16 donne la configuration des données en termes d'occurrences et de taux pour ce qui est du groupe GE.

Tableau 16 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de simulation pour le groupe GE

GE																			
Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-CO_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	901	958	906	85	305	912	265	401	361	145	185	1 281	125	185	701	155	906	389	8 739
Taux	10,30%	10,97%	10,37%	0,97%	3,49%	10,43%	3,03%	4,58%	4,13%	1,66%	2,12%	14,65%	1,43%	2,12%	8,02%	1,77%	10,37%	4,46%	100,00%

Les résultats montrent que pour le groupe GE, 06 éléments sur 17 se démarquent par un taux supérieur à 10%. Il s'agit des actions relatives au dessin d'une étape (10,30%), d'une transition (10,97%), des liaisons orientées (10,37%) et d'un composant (10,43%) ; au lancement d'un test de fonctionnement (14,65 %) et à l'identification d'un composant par son symbole (10,37%).

Le tableau N° 17 présente la configuration des données en termes d'occurrences et de taux pour ce qui est du groupe GC.

Tableau 17 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de simulation pour le groupe GC

GC																			
Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-CO_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	675	722	680	23	199	684	167	275	243	71	103	979	55	103	515	79	680	267	6 947
Taux	9,72%	10,39%	9,79%	0,33%	2,86%	9,85%	2,40%	3,97%	3,50%	1,02%	1,48%	14,10%	0,79%	1,48%	7,42%	1,14%	9,79%	3,84%	100,00%

Les résultats montrent que pour ce groupe GC, il n'y a que 02 éléments sur les 17 qui ont un taux supérieur à 10%. Il s'agit des actions relatives au dessin d'une transition (10,97%) et au lancement d'un test de fonctionnement (14,65 %).

Le tableau N° 18 donne la configuration des données en termes d'occurrences et de taux pour l'ensemble de la population.

Tableau 18 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de simulation pour l'ensemble de la population

ENSEMBLE DE LA POPULATION																			
Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-CO_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	1576	1680	1586	108	504	1596	432	676	604	216	288	2260	180	288	1216	234	1586	656	15686
Taux	10,05%	10,71%	10,11%	0,69%	3,21%	10,17%	2,75%	4,31%	3,85%	1,38%	1,84%	14,41%	1,15%	1,84%	7,75%	1,49%	10,11%	4,18%	100,00%

Les résultats montrent que 06 éléments sur 17 présentent un taux supérieur à 10%. Il s'agit des actions relatives au dessin d'une étape (10,05%), d'une transition (10,71%), des liaisons orientées (10,11%) et d'un composant (10,17%) ; au lancement d'un test de fonctionnement (14,41 %) et à l'identification d'un composant par son symbole (10,11%). Nous notons aussi qu'un de ces 06 éléments à lui seul a un taux de couverture des activités en situation de simulation proche de 15%.

4.3. ACTIVITES EN SITUATION DE FORMATION TRADITIONNELLE

La troisième partie de présentation du corpus des données concerne les activités déployées en situation de formation traditionnelle. Dans le cas d'espèce, nous nous intéressons aux moyens mis en œuvre par tous les élèves en phase de câblage sur banc électropneumatique. Comme pour la situation de simulation, il s'agit de la compilation des actions du groupe GE, ceux du groupe GC et de l'ensemble de notre population. Ces

actions sont disponibles dans les synopsis (transformation des films vidéo) et les transcriptions (films audios, verbatim et note prise sur le vif) des phases formations traditionnelles et des auto-confrontations qui leurs sont liées.

Nous nous intéressons aux activités liées au déploiement de l'outil GRAFCET, traduction de la partie commande (PC) et du câblage des différents composants, traduction de la partie opérative (PO) de l'automatisme sur la base du cahier de charge harmonisé disponible à l'annexe N° 02, page 245. Le cahier de charge comprend le schéma de la scie pour profilés en aluminium équipée de ses actionneurs, le GRAFCET du point de vue système de la scie, la matérialisation des actions de la scie et les spécifications technologiques de la scie.

4.3.1. Caractéristiques des situations d'automatisation à l'aide du câblage sur banc électropneumatique (formation traditionnelle)

Tous les apprenants ont à modéliser grâce au banc de câblage électropneumatique, la proposition d'amélioration ou de modification de la scie qu'ils ont faite. L'outil GRAFCET sert de support pour décrire l'automatisation de la machine, car l'exécution de chaque tâche est située par rapport aux autres puisque qu'on sait dès à présent comment elle débute et quelle autorisation elle fournit lorsque sa réalisation est terminée.

Les élèves sont dans une configuration où ils doivent produire le GRAFCET du point de vue partie commande (PC) sur papier et utiliser les composants physiques disponibles dans les casiers des bancs de câblage pour mettre en œuvre la partie opérative (PO) et ce sur la base du cahier de charge harmonisé donné.

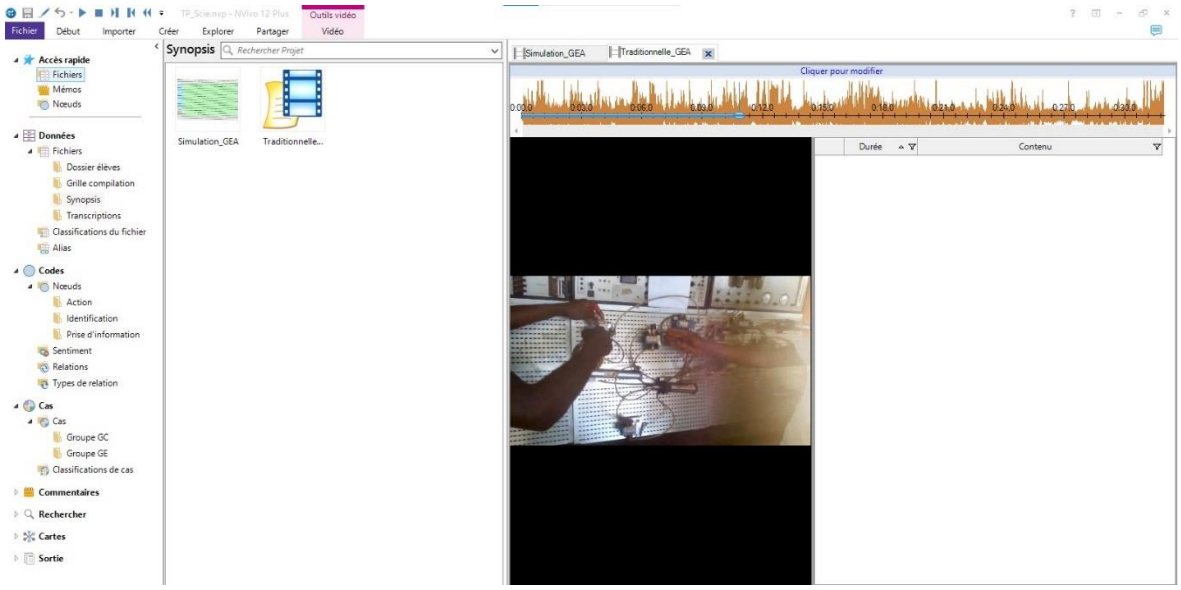
4.3.2. Configurations des données

Les données proviennent de la compilation des actions (synopsis et transcriptions) de réalisation par tous les élèves du GRAFCET du point de vue partie commande sur support papier et du câblage physique des différents composants mis en œuvre dans la partie opérative (PO) avec l'aide d'un banc de câblage électropneumatique.

Comme dans le cas de la situation de simulation, les synopsis (transformation des films vidéo) et les transcriptions (films audios, verbatim des entretiens d'autoconfrontation et

note prise sur le vif) de l'ensemble de notre population ont été entièrement traité à l'aide du logiciel NVivo afin de produire le corpus des données relatif à la situation de formation traditionnelle. Le logiciel NVivo nous a produit la matrice que nous avons exportée vers le logiciel Microsoft Excel. Il s'agit ici de la compilation encodée des actions (synopsis et transcriptions) relatif à la situation de formation traditionnelle.

Figure N° 22 : Exemple de capture d'écran Nvivo pour situation de formation traditionnelle



Le tableau N° 19 décrit la configuration des données en termes d'occurrences et de taux pour ce qui est du groupe GE.

Tableau 19 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de formation traditionnelle pour le groupe GE

GE																	
Code	AC-PO_CO	AC-LO_PJC	AC-RG_CS	AC-PR_PT	AC-RP_EN	AC-CL_EA	AC-SU_CO	AC-DR_PVF	AC-DR_PVT	AC-DR_PVS	AC-N_EA	AC-QU_CN	AC-DI_CO	AC-MO_RSS	ID_CS	ID_CN	Totaux
Occurrences	605	605	95	27	58	134	29	41	129	87	90	52	40	20	657	103	2 025
Taux	29,88%	29,88%	4,69%	1,33%	2,86%	6,62%	1,45%	2,02%	6,37%	4,30%	4,44%	2,57%	1,98%	0,99%	32,44%	5,09%	100,00%

Les résultats montrent que pour ce groupe GE, 03 éléments sur 16 ont un taux à 29%. Il s'agit des actions relatives au positionnement d'un composant (29,88%) et de localisation des points de jonction sur un composant (29,88%) et de l'identification d'un composant par son symbole (32,44%). Nous notons aussi que ces trois éléments à eux seuls ont un

taux de 92,20% de couverture des actions des élèves du groupe GE en situation de formation traditionnelle.

Le tableau N° 20 présente la configuration des données en termes d'occurrences et de taux pour ce qui est du groupe GC.

Tableau 20 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de formation traditionnelle pour le groupe GC

GC																	
Code	AC-PO_CO	AC-LO_PJC	AC-RG_CS	AC-PR_PT	AC-RP_EN	AC-CL_EA	AC-SU_CO	AC-DR_PVF	AC-DR_PVT	AC-DR_PVS	AC-N_EA	AC-QU_CN	AC-DI_CO	AC-MO_RSS	ID_CS	ID_CN	Totaux
Occurrences	151	151	49	9	14	82	24	15	51	29	18	20	32	16	171	41	1 620
Taux	9,32%	9,32%	3,02%	0,56%	0,86%	5,06%	1,45%	0,93%	3,15%	1,79%	1,11%	1,23%	1,98%	0,99%	10,56%	2,53%	100,00%

Les résultats montrent que pour ce groupe GC, un seul élément sur 16 a un taux supérieur à 10%. Il s'agit des actions relatives à l'identification d'un composant par son symbole (10,56%).

Le tableau N° 21 donne la configuration des données en termes d'occurrences et de taux pour ce qui est de l'ensemble de la population.

Tableau 21 : Occurrences et taux relatifs aux activités en situation de formation traditionnelle pour l'ensemble de la population

ENSEMBLE DE LA POPULATION																	
Code	AC-PO_CO	AC-LO_PJC	AC-RG_CS	AC-PR_PT	AC-RP_EN	AC-CL_EA	AC-SU_CO	AC-DR_PVF	AC-DR_PVT	AC-DR_PVS	AC-N_EA	AC-QU_CN	AC-DI_CO	AC-MO_RSS	ID_CS	ID_CN	Totaux
Occurrences	756	756	144	36	72	216	53	56	180	116	108	72	72	36	828	144	3645
Taux	20,74%	20,74%	3,95%	0,99%	1,98%	5,93%	1,45%	1,54%	4,94%	3,18%	2,96%	1,98%	1,98%	0,99%	22,72%	3,95%	100,00%

Les résultats montrent que pour l'ensemble de la population, 03 éléments sur 16 se démarquent par un taux supérieur à 20%. Il s'agit des actions relatives au positionnement d'un composant (20,74%) et de localisation des points de jonction sur un composant (20,74%) et de l'identification d'un composant par son symbole (22,72%). Nous notons aussi que ces trois éléments à eux seuls ont un taux de couverture des activités en situation de formation traditionnelle de 64,20%.

4.4. SCORES OBTENUS AUX EVALUATIONS

Nous avons relevé que pour ce TP relatif à la proposition d'une idée d'amélioration et/ou de modification par automatisation du fonctionnement de la scie, l'enseignant évaluait étape par étape les travaux des élèves. Les dispositifs N° 01 (Préparation suivie de la Simulation et clôturée par la formation Traditionnelle) et N° 02 (Préparation suivie de la formation Traditionnelle et clôturée par la Simulation) ont servi de supports de mise en œuvre. Le groupe GE a utilisé le dispositif N° 01, tandis que le groupe GC a plutôt utilisé le dispositif N° 02.

Les données sont issues des fiches des notes compilés sur 20 par l'enseignant. Les notes compilées sur 20 sont les scores obtenus par les élèves aux évaluations des travaux de préparation, de simulation et de formation traditionnelle récupéré chez l'enseignant.

Le tableau N° 22 donne sur 20 les résultats des scores obtenus aux évaluations des travaux de préparation, simulation et formation traditionnelle par les élèves et par groupe.

Tableau 22 : Résultats des scores sur 20 obtenus aux différentes situations

DISPOSITIF N° 01			
Groupe GE			
Apprenant	Préparation	Simulation	Traditionnelle
GEA1	17	18	19
GEA2	17	18	19
GEB3	17	17	18
GEB4	17	17	18
GEC5	18	18	19
GEC6	18	18	19
GED7	17	18	19
GED8	17	18	19
GEE9	18	18	19
GEE10	18	18	19
GEF11	18	18	19
GEF12	18	18	19
GEG13	17	18	18
GEG14	17	18	18
GEH15	17	17	18
GEH16	17	17	18
GEI17	17	17	18
GEI18	17	17	18
GEJ19	17	18	19
GEJ20	17	18	19

DISPOSITIF N° 02			
Groupe GC			
Apprenant	Préparation	Traditionnelle	Simulation
GCK21	17	17	18
GCK22	17	17	18
GCL23	18	17	17
GCL24	18	17	17
GCM25	18	17	17
GCM26	18	17	17
GCN27	17	16	17
GCN28	17	16	17
GCO29	17	16	17
GCO30	17	16	17
GCP31	18	16	17
GCP32	18	16	17
GCQ33	17	17	18
GCQ34	17	17	18
GCR35	17	17	17
GCR36	17	17	17

A l'aide du logiciel XLSTAT, appliqué au tableau N° 22, nous avons conduit un traitement statistique de type descriptif.

4.4.1. Configuration des différents scores obtenus lors des différents travaux

La statistique descriptive nous a permis de déterminer les différents taux relatifs aux scores obtenus lors des travaux de préparation, simulation et formation traditionnelle dans le groupe « simulation-traditionnelle » (GE) et le groupe « traditionnelle – simulation » (GC).

4.4.1.1. Travaux de préparation

Nous rappelons que les deux groupes ont exécuté les travaux de préparation au même moment.

Les résultats de l'évaluation des travaux de préparation montrent que les notes se situent entre 17/20 et 18/20 pour l'ensemble de notre population, ce qui donne une moyenne générale de 17,333 et un écart type de 0,478. Nous relevons aussi que 11 acteurs dans l'ensemble ont 18/20 ce qui donne un taux de 11 sur 36 contre 25 qui ont 17/20 soit un taux de 25 sur 36.

Pour ce qui est de notre groupe GE, la moyenne est de 17,300 et l'écart-type de 0,470. Dans ce groupe GE, nous avons 06 élèves qui ont 18/20 soit un taux de 06 sur 20 et 14 qui ont 17/20 soit un taux de 14 sur 20.

S'agissant du groupe GC, la moyenne est de 17,375 et l'écart-type de 0,500. Dans ce groupe GC, 06 élèves ont 18/20 soit un taux de 06 sur 16 et 10 ont 17/20 soit un taux de 10 sur 16.

4.4.1.2. Travaux de simulation

Pour rappel, les travaux de simulation ne se sont pas déroulés au même moment pour les deux groupes.

Pour notre groupe GE, la moyenne est de 17,700 et l'écart-type de 0,470. Pour ce groupe GE, nous avons 14 élèves qui ont 18/20 soit un taux de 14 sur 20 et 06 qui ont 17/20 soit un taux de 06 sur 20.
Pour ce qui est du groupe GC, la moyenne est de 17,250 et l'écart-type de 0,447. Dans ce groupe GC, 04 élèves ont 18/20 soit un taux de 04 sur 16 et 12 ont 17/20 soit un taux de 12 sur 16.

4.4.1.3. Travaux de formation traditionnelle

Les travaux de formation traditionnelle n'ont pas été exécutés au même moment par les deux groupes.
Les notes se situe entre 18/20 et 19/20 dans notre groupe GE, la moyenne est de 18,600 et l'écart-type de 0,502. Pour ce groupe GE, nous avons 12 élèves qui ont 19/20 soit un taux de 12 sur 20 et 08 qui ont 18/20 soit un taux de 08 sur 20.
Pour ce qui est du groupe GC, les notes varient de 16/20 à 17/20 pour une moyenne de 16,625 et un écart-type de 0,500. Dans ce groupe GC, 10 élèves ont 17/20 soit un taux de 10 sur 16 et 06 ont 16/20 soit un taux de 06 sur 16.

4.4.2. Evolution des scores selon les dispositifs de mise en œuvre

Nous nous intéressons aux effets de la position de la formation à base de simulation comparativement à celui de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. Les effets dans notre étude sont donc liés aux positions « optimales » de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. Pour l'instant, nous intéressons aux scores obtenus selon les dispositifs de mise en œuvre du TP, sans établir les liens de causalités. Nous rappelons les dispositifs que nous avons déployé dans notre étude :
Le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la Simulation et clôturée par la formation Traditionnelle) a été utilisé par le groupe *« simulation-traditionnelle »* (GE).
Le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation Traditionnelle et clôturée par la Simulation) a plutôt été utilisé par le groupe « traditionnelle-simulation » (GC).

Les deux groupes ont exécutés les travaux de préparation au même moment.

Les tableaux N° 23 et N° 24 présentent l'évolution des scores selon le programme de passation. Ladite évolution des scores est donnée en termes de gain ou perte par rapport aux travaux exécutés dans l'ordre imposé par le dispositif utilisé pour chaque membre de notre population et selon son groupe d'appartenance.

Tableau 23 : Gains ou pertes obtenus aux différents travaux par le groupe GE selon le programme de passation

Groupe GE						
Apprenant	**Scores obtenus**			**Gains/Pertes**		
	Préparation	**Simulation**	**Traditionnelle**	**Préparation à Simulation**	**Simulation à Traditionnelle**	**Somme**
GEA1	17	18	19	1	1	2
GEA2	17	18	19	1	1	2
GEB3	17	17	18	0	1	1
GEB4	17	17	18	0	1	1
GEC5	18	18	19	0	1	1
GEC6	18	18	19	0	1	1
GED7	17	18	19	1	1	2
GED8	17	18	19	1	1	2
GEE9	18	18	19	0	1	1
GEE10	18	18	19	0	1	1
GEF11	18	18	19	0	1	1
GEF12	18	18	19	0	1	1
GEG13	17	18	18	1	0	1
GEG14	17	18	18	1	0	1
GEH15	17	17	18	0	1	1
GEH16	17	17	18	0	1	1
GEI17	17	17	18	0	1	1
GEI18	17	17	18	0	1	1
GEJ19	17	18	19	1	1	2
GEJ20	17	18	19	1	1	2
Bilan	**17 - 18**	**17 - 18**	**18 - 19**	**8**	**18**	**26**

Tableau 24 : Gains ou pertes obtenus aux différents travaux par le groupe GC selon le programme de passation

Groupe GC						
Apprenant	Scores obtenus			Gains/Pertes		
	Préparation	Traditionnelle	Simulation	Préparation à Traditionnelle	Traditionnelle à Simulation	Somme
GCK21	17	17	18	0	1	1
GCK22	17	17	18	0	1	1
GCL23	18	17	17	-1	0	-1
GCL24	18	17	17	-1	0	-1
GCM25	18	17	17	-1	0	-1
GCM26	18	17	17	-1	0	-1
GCN27	17	16	17	-1	1	0
GCN28	17	16	17	-1	1	0
GCO29	17	16	17	-1	1	0
GCO30	17	16	17	-1	1	0
GCP31	18	16	17	-2	1	-1
GCP32	18	16	17	-2	1	-1
GCQ33	17	17	18	0	1	1
GCQ34	17	17	18	0	1	1
GCR35	17	17	17	0	0	0
GCR36	17	17	17	0	0	0
Bilan	**17 - 18**	**16 - 17**	**17 - 18**	**-12**	**10**	**-2**

Les tableaux N° 23 et N° 24 montrent que l'évolution des scores est contrastée dépendamment des groupes et du programme de passation.

Pour le groupe GE, lorsqu'on passe de la préparation à la simulation, 08 apprenants sur 20 ont vu leurs scores augmentés d'un point. Nous avons 12 élèves sur 20 dont les scores sont restés les mêmes en préparation et simulation.

Toujours pour ce groupe GE, le passage de la simulation à la formation traditionnelle a permis que 18 élèves sur 20 voient leurs scores évoluer d'un point. Nous n'avons que 02 apprenants sur 20 dont les scores sont restés inchangés en simulation et formation traditionnelle.

S'agissant du groupe GC, Nous avons 10 élèves sur 16 qui ont des scores en formation traditionnelle inférieures à celle obtenus en préparation. Sur les 10 élèves en question, 08 ont une perte d'un point chacun et 02 ont pratiquement perdu deux points chacun.

Dans ce groupe, nous avons aussi 10 élèves sur 16 qui voient leurs scores évoluer d'un point lorsqu'on passe de la formation traditionnelle à la simulation. Nous avons 06 élèves sur 16 dont les scores sont restés les mêmes en formation traditionnelle et simulation.

Il y a eu une évolution de la performance au score dans le groupe «simulation-traditionnelle » (GE) lorsqu'on part de la préparation pour la formation traditionnelle en passant par la simulation. Cette évolution est matérialisée par 26 points engrangés dans ce groupe GE avec 08 points de la préparation à la simulation et 18 points de la simulation à la formation traditionnelle. Tandis que dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC), il y a eu une dégradation de la performance au score des élèves du passage de la préparation à la formation traditionnelle et une légère évolution lorsqu'on passe de la formation traditionnelle à la simulation. Cela est indiqué par une perte de 02 points dans ce groupe GC avec 12 points perdues lors du passage de la préparation à la formation traditionnelle et 10 points gagnés lors du passage de la formation traditionnelle à la simulation.

Il apparaît une forte amélioration de la performance dans le groupe «simulation-traditionnelle » (GE). L'exploitation du dossier élève (tableau N° 08, page 114) et le tableau N° 24, page 127 nous révèle que la mauvaise performance dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) est le fait des élèves qui reprennent la classe, car ils ont tous des pertes d'un point chacun au niveau des sommes des points engrangés.

4.4.3. Configuration des notes globales du TP selon les dispositifs de mise en œuvre

Nous rappelons que l'expérimentation c'est déroulé en situation réelle. Bien que l'enseignant ait évalué les travaux par situation de formation, à la fin c'est la note globale relative au TP proposé qu'il porte dans le carnet des notes des élèves. Pour le cas d'espèce, la note globale du TP est la moyenne des scores obtenue en préparation, simulation et formation traditionnelle par chaque élève. Pour mémoire, le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la simulation et clôturée par la formation traditionnelle) a été mise en œuvre par le groupe « simulation-traditionnelle » (GE). Tandis que le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation traditionnelle et clôturée par la simulation) a été mise en œuvre par le groupe « traditionnelle - simulation » (GC). Les deux dispositifs ayant servi à réaliser le même TP mais dans des modalités différentes. Le tableau N° 25 donne la configuration des notes globales du TP obtenues par chaque élève.

Tableau 25 : Configuration des notes globales du TP sur 20 pour chaque dispositif et pour chaque élève

Groupe GE				
Apprenant	Préparation_GE	Simulation_GE	Traditionnelle_GE	Dispositif N°01
GEA1	17	18	19	18,00
GEA2	17	18	19	18,00
GEB3	17	17	18	17,33
GEB4	17	17	18	17,33
GEC5	18	18	19	18,33
GEC6	18	18	19	18,33
GED7	17	18	19	18,00
GED8	17	18	19	18,00
GEE9	18	18	19	18,33
GEE10	18	18	19	18,33
GEF11	18	18	19	18,33
GEF12	18	18	19	18,33
GEG13	17	18	18	17,67
GEG14	17	18	18	17,67
GEH15	17	17	18	17,33
GEH16	17	17	18	17,33
GEI17	17	17	18	17,33
GEI18	17	17	18	17,33
GEJ19	17	18	19	18,00
GEJ20	17	18	19	18,00

Groupe GC				
Apprenant	Préparation_GC	Traditionnelle_GC	Simulation_GC	Dispositif N°02
GCK21	17	17	18	17,33
GCK22	17	17	18	17,33
GCL23	18	17	17	17,33
GCL24	18	17	17	17,33
GCM25	18	17	17	17,33
GCM26	18	17	17	17,33
GCN27	17	16	17	16,67
GCN28	17	16	17	16,67
GCO29	17	16	17	16,67
GCO30	17	16	17	16,67
GCP31	18	16	17	17,00
GCP32	18	16	17	17,00
GCQ33	17	17	18	17,33
GCQ34	17	17	18	17,33
GCR35	17	17	17	17,00
GCR36	17	17	17	17,00

Les notes globales du TP se situe entre 17,33/20 et 18,33/20 dans notre groupe GE, la moyenne est de 17,86 et l'écart-type de 0,410. Pour ce groupe GE, nous avons 06 élèves qui ont 18,33/20 soit un taux de 06 sur 20, 06 élèves qui ont 18,00/20 soit un taux de 06/20, 02 élèves qui ont 17,67/20 soit un taux de 02/20 et 06 élèves qui ont 17,33/20 soit un taux de 06 sur 20.

Pour ce qui est du groupe GC, les notes varient de 16,67/20 à 17,33/20 pour une moyenne de 17,08 et un écart-type de 0,285. Dans ce groupe GC, 08 élèves ont 17,33/20 soit un taux de 08 sur 16, 04 élèves ont 17,00/20 soit un taux de 04 sur 16 et 04 ont 16,67/20 soit un taux de 04 sur 16.

4.4.4. Nature de la distribution des différents scores et notes globales du TP

Afin d'apprécier ultérieurement les contrastes identifiés dans la performance selon le groupe et le programme de passation, puis de les étayer à l'aide des synopsis et des transcriptions produites par les observations et les différents discours et aussi de les confronter à notre hypothèse qui porte sur les situations de formation (simulation et

classique), nous avons examiné la configuration et la nature de la distribution des scores de chaque situation de formation et aussi des notes globales du TP selon le groupe et le programme de passation.

4.4.4.1. Conduite de l'examen de la nature des distributions

Les différents scores disponibles montrent que le travail des élèves est au minimum très bien (16/20) et au maximum excellent (19/20). Pour ce qui est des notes globales du TP, nous avons le travail des élèves qui est au minimum très bien (16,67/20) et au maximum excellent (18,33/20).

Les scores se présentent sous une forme semblable aux « zéros et uns » pour chaque type de travaux, c'est-à-dire que lesdits scores ne prennent que deux valeurs qui sont soit 16 et 17, ou bien 17 et 18 ou encore 18 et 19). Nous sommes donc en présence d'une distribution binaire pour nos scores quel que soit la situation de formation. Fort de cela, il n'est pas nécessaire d'effectuer un test de normalité de la distribution des différents scores, car leur configuration montre qu'ils ne suivent pas naturellement une loi Normale.

S'agissant des notes globales du TP, nous avons répertorié 04 types de valeurs à savoir 17,33 ; 17,67 ; 18,00 et 18,33 pour le dispositif N° 01 mise en œuvre par le groupe GE constitué de 20 personnes et 03 types de valeurs : 16,67 ; 17,00 ; 17,33 pour le dispositif N° 02 utilisé par le groupe GC qui compte 16 personnes. Pour les dispositifs N° 01 et N° 02, il n'est aussi pas nécessaire d'effectuer un test de normalité de la distribution des notes globales du TP (malgré le fait que l'on a plus de 02 types de valeurs), à cause de la taille des effectifs (20 pour le dispositif N° 01 et 16 pour le dispositif N° 02)

Pour l'ensemble du dispositif constitué de 36 élèves, nous avons 06 types de valeurs qui sont 16,67 ; 17,00 ; 17,33 ; 17,33 ; 17,67 ; 18,00 et 18,33. L'effectif de l'ensemble du dispositif étant supérieur à 20 et qu'en plus les variables associées comportant 06 types de valeurs, cela nous a emmené à examiner la nature de la distribution des notes globales du TP.

Le tableau 26 donne les résultats du test de normalité appliquées aux notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif avec un niveau de signification alpha = 0,05.

L'annexe N° 18, page 277 donne les résultats complets de la vérification des conditions de validité appliquées aux notes globales du TP obtenus dans l'ensemble du dispositif à l'aide du logiciel XLSAT imbriqué dans Excel.

Tableau 26 : résultats du test de normalité appliquées aux notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif

Variable\Test	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
Ensemble_Dispositif	**0,002**	**0,001**	**<0,0001**	0,430

Le Test de Shapiro-Wilk donne une p-value = 0,002, celui d'Anderson-Darling donne une p-value = 0,001 et celui de Lilliefors donne une p-value < 0,0001. Ces différents tests sont appliqués aux notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif. Étant donné que pour ces trois tests, chacune des p-value calculées est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05 ; on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle les notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif suivent une loi Normale.

Le test de Jarque-Bera appliqué aux mêmes notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif donne p-value = 0,430. Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha = 0,05 ; on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle les notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif suivent une loi Normale.

4.4.4.2. Ce qu'il faut retenir des différents scores et notes globales du TP

Nous avons d'un part, la configuration de la distribution des différents scores, la taille des effectifs (20 pour le dispositif N° 01 et 16 pour le dispositif N° 02) qui montrent que les différentes distributions (scores et notes globales du TP par dispositif) ne suivent pas une loi Normale. D'autre part, trois tests de normalité sur quatre qui montrent que les notes globales du TP pour l'ensemble du dispositif ne suivent pas une loi de Laplace Gauss.

Il en découle que les conditions de validité associées aux tests paramétriques pour nos scores et nos notes globales du TP ne sont pas vérifiées. Pour ces scores et notes globales

du TP, le corolaire dû à ces situations est que les seuls tests statistiques qui peuvent être utilisés sont les tests non-paramétriques.

4.5. SYNTHESE DU CHAPITRE 4

Le présent chapitre nous a permis de présenter notre corpus des données en prenant comme référence les activités réalisées par la population de notre étude et leurs performances chiffrées obtenues lors de l'exécution de ces mêmes activités. Il a s'agit pour l'instant d'une présentation macroscopique sans établir de lien avec les hypothèses que nous avons formulées. Tour à tour, nous avons exposé les données issues des activités liées à l'analyse du fonctionnement de l'automatisme, l'exploitation du dossier élève, les activités en situation simulée, les activités en situation de formation traditionnelle et les scores obtenus aux différentes évaluations. Il est question dans les deux chapitres qui suivent de procéder à une analyse plus fine associée à une interprétation des résultats afin de les confronter aux hypothèses que nous avons formulées.

CHAPITRE 5 : NATURE DES RESSOURCES MOBILISÉES EN SITUATIONS D'AUTOMATISATION ET DE SIMULATION

L'objectif de ce chapitre est de donner tout son sens à une partie du corpus des données présentés au chapitre 4. Il s'agit de proposer des relations plausibles, probables et significatives entre les données et élaborer des hypothèses qu'il s'agira de vérifier lors d'études ultérieures.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au comportement de l'ensemble de notre population indépendamment du groupe d'appartenance. Les données que nous exploitons pour identifier la nature des ressources mobilisées proviennent de l'action (individuelle) et l'activité (collective et sociale) de tous les élèves ayant participé à l'expérimentation. Le corpus des données obtenu après l'expérimentation est analysé finement et interprété selon deux directions en référence aux hypothèses **H1** et **H2** que nous avons formulées. Comme première direction d'interprétation nous avons les représentations pour l'action d'automatisation. La seconde direction concerne la mise en relief des organisateurs de l'activité et du système d'instruments mobilisé en situation de simulation. Il faut comprendre ici que pour l'hypothèse «**H2** Les apprenants vont agir avec compétences notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence », les organisateurs de l'activité et les systèmes d'instruments mobilisés sont en d'autres termes l'agir compétent situé des apprenants.

5.1. LES REPRESENTATIONS POUR L'ACTION D'AUTOMATISATION

Nous avons fait l'hypothèse suivante : **H1.** Les fonctions du bien à automatiser et les deux concepts pragmatiques : « enchaînement des tâches » et « la technologie des composants » sont mobilisés par les apprenants en situation d'automatisation. Pour la situation d'automatisation de la scie, les apprenants disposent - ils d'un système de diagnostic ? Sous quelle forme ils se le représentent ?

Nous nous intéressons ici de façon plus précise aux activités d'analyse du fonctionnement de la scie pour profilés d'aluminium par les apprenants. Le schéma de la scie et les conditions de son environnement, et le cahier des charges de l'amélioration ou de la modification de la scie servent de situation de début pour ce travail.

5.1.1. Représentation modèle de l'automatisation

L'analyse descendante est utilisée pour l'étude de l'automatisation de la scie pour profilé d'aluminium. Ladite analyse descendante réalisée dans le cadre de notre étude montre que les activités d'analyse du fonctionnement de la scie pour profilés d'aluminium sont conduites par la recherche des fonctions, l'inventaire des tâches, la coordination des tâches entre-elles, le choix des options technologiques et la description du cycle automatique de la machine. Il s'agit d'informations sur le fonctionnement de la scie qui permettent de faire des inférences sur son automatisation.

La coordination des tâches entre elles, fait apparaitre l'enchaînement des tâches et les contraintes y afférentes. Les contraintes retenues servent d'orientation dans le choix d'une solution technique appropriée. Le choix des options technologiques et dimensionnelles sont les résultats de la solution technique retenue pour cette automatisation.

Le modèle d'analyse relevé ci-dessus est une représentation modèle de l'automatisation du fonctionnement de la scie. Cette représentation modèle concerne dans l'ordre chronologique, la recherche des fonctions, l'inventaire des tâches, la coordination des tâches entre-elles, le choix des options technologiques et la description du cycle automatique de la machine.

5.1.2. Les fonctions du bien à automatiser

Pour réaliser les activités liées à l'analyse du fonctionnement de l'automatisme, les élèves ont pris les informations fonctionnelles et structurelles, directement dans le cahier des charges de l'amélioration ou de la modification de la scie mis à leur disposition. Les déclarations des apprenants tels que GCL23 : « *j'ai utilisé l'énoncé des travaux pratiques* », GCM26 : « *le travail à faire m'a permis de retrouver les fonctions principales* » montrent que les fonctions principales à retrouver sont étroitement liées aux informations disponibles dans la situation problème, ce qui explique la configuration des résultats, à savoir un taux de couverture de 05 sur 05 des fonctions principales du système à automatiser. La recherche des contraintes fait appel à la fois à des connaissances en construction mécanique, en fabrication mécanique et en automatisme. Construction et fabrication mécanique sont deux matières jugés difficiles par les élèves, d'où ce taux de

couverture de 03 sur 05 des contraintes liées aux fonctions principales du système à automatiser. Comment ont –ils procédés pour retrouver les fonctions secondaires ? Les réponses telles que GCP31 : « *Après action, le composant doit retrouver sa position d'origine* », GEE10 : « *il y a toujours retour après action tel que c'est dit dans l'énoncé du TP* », GEC5 : « *après le travail de l'élément, je sais qu'il faut le faire rentrer* » préfigurent des représentations faites sur les composants mobiles du système à automatiser. De ces représentations sur les éléments mobiles, découlent la configuration des résultats sur la recherche des fonctions secondaires. Nous avons un taux de couverture de 09 sur 10 des fonctions secondaires du système à automatiser. L'approche mise en œuvre par les élèves lors de la recherche des fonctions secondaires se fonde sur la représentation qu'ils se font des mouvements des actionneurs. Les déclarations des apprenants telles que GCP32 : « *je me suis appuyé sur le mouvement des actionneurs* », GEF4 : « *j'ai utilisé les actionneurs* », GCN28 : « *je me suis reporté à l'énoncé du TP* » fournies lors de l'entretien confortent les résultats obtenus.

La figure N° 23 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences liées à la recherche des fonctions par l'ensemble de notre population. Il ressort de cette figure que 41% des actions de tous les élèves dans l'activité de préparation sont relatives à la recherche des fonctions du bien à automatiser.

Figure N° 23 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la recherche des fonctions

Situation	Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Préparation	Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
	Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

Les prises d'information sur les fonctions principales, les contraintes et les fonctions secondaires ont permis à nos acteurs de sélectionner les différentes fonctions à remplir par la scie. Car la mécanisation et l'automatisation de la machine ont pour support constructif, les fonctions à remplir.

5.1.3. Les deux concepts pragmatiques « enchaînement des tâches » et « technologie des composants »

Nous sommes en présence d'une machine unique qu'est la scie pour profilé d'aluminium. L'analyse descendante exécutée par les apprenants débouche sur un modèle

d'ordonnancement des tâches. Les déclarations telles que GCL24 : « *j'utilise les fonctions secondaires pour trouver les tâches* », GCM26 : « *les tâches sont liés aux fonctions secondaire* » et GEF12 : « *les tâches sont la matérialisation des fonctions secondaires* » reflètent le type de représentation que se font les apprenants pour identifier les tâches sur la base des fonctions par eux sélectionnées. Les tâches répertoriées ont une durée d'exécution imposée par deux groupes de contraintes. Le premier groupe de contraintes est celui d'antériorité, à savoir une tâche doit s'exécuter avant une autre, le deuxième groupe de contraintes est celui des ressources matérielles, pour le cas d'espèce les éléments mécaniques à déployer.

Les contraintes d'antériorité font référence à l'ordre et aux temps d'exécution des différentes tâches. Les tâches sont exécutées dans un ordre et une durée bien précise. Chronologiquement, nous avons les opérations d'avance, de maintien, de sciage du profilé et pour terminer de récupération du tronçon scié pour ce qui concerne la scie pour profilé d'aluminium. L'objectif étant de minimiser les pénalités dues aux dépassements qui sont décrétées sur les dates limites d'exécution d'une tâche. Cette famille des contraintes renvoie à l'enchainement. Nous lui avons donné le nom de « enchaînement des tâches ».

Les contraintes liées aux ressources matérielles ont pour indicateurs le choix des options technologiques et dimensionnels retenue pour cette automatisation. Les options technologiques à retenir s'appuient sur les fonctions identifiées par tous les apprenants sur la base du cahier de charge qu'on leur a fourni. Nous avons appelé ce groupe de contraintes « technologie des composants ».

Les entretiens, ont révélé que les élèves utilisent trop souvent la métaphore de l'ordre dans lequel est exécuté les actions pour décrire la succession des tâches GEA1 ; GCK22, … : « *je dois d'abord pousser le profilé contre la butée de mise à longueur avant de procéder à son serrage* ». Certains apprenants utilisent également la métaphore du mouvement des actionneurs pour évoquer la ressource matérielle mise œuvre GEC5, GEI18, GCO30 ; …« *après le travail de l'éjecteur, je dois le faire rentrer* ».

La figure N° 24 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences liées à la description de l'évolution temporelle et aux ressources matérielles. Il ressort de cette figure que 33,60% des actions de tous les apprenants dans l'activité de préparation sont relatives aux

séquences des actions et aux types de ressources matériels qui seront disponibles dans la machine à automatiser.

Figure N° 24 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la description de l'évolution temporelle et aux ressources matérielles

Code	PI_FP	PI_CR	PI_FS	ID_TA	ID_CTE	ID_TC	ID_SQT	ID_CS	ID_RSS	Totaux
Occurrences	180	36	180	108	108	72	180	72	28	964
Taux	18,67%	3,73%	18,67%	11,20%	11,20%	7,47%	18,67%	7,47%	2,90%	100,00%

Dans la littérature sur l'automatisme (Bleux, Fanchon, (1996), Moreno, Peulot, (2002) et Morin et al., (2011)), nous avons pu identifier que la succession des tâches dans une machine unique est du domaine purement séquentiel. Nous avons aussi relevé plus haut que les séquences des actions et les types de ressources matériels ont un poids de 33,60% dans les actions liées à l'activité de préparation. Fort de la disponibilité de ces éléments, nous pouvons inférer que les élèves ont pu imaginer la forme que va revêtir la machine automatisée « *je pousse, après je serre, puis je scie et enfin j'éjecte le tronçon de profilé en aluminium* ». Dans le cas d'espèce, les apprenants ont effectué une conceptualisation de la situation (Pastré, 2011). Nous formulons l'hypothèse selon laquelle les élèves se sont appuyés sur deux concepts pragmatiques « enchaînement des tâches » et « technologie des composants » pour mettre en relation les indicateurs prélevés sur la situation d'automatisation et le mouvement ordonné des actionneurs. En d'autres termes, et en tenant compte principalement des spécifications fonctionnelles, les apprenants se représentent l'exécution dans le bon ordre de toutes les opérations mécaniques en posant un diagnostic sur l'état des actionneurs, comme l'indiquent, par exemple, ces déclarations GEA2, GCL23, GCP32, … : « *le profilé dois d'abord être serré pour pouvoir lancer le sciage* » et GEC6, GEE11, GCQ31, … : « *le tronçon coupé ne peut être éjecté qu'après l'opération de sciage* ». Les concepts pragmatiques de « enchaînement des tâches » et de « technologie des composants » sont les deux outils utilisés par les apprenants pour poser un diagnostic sur la mécanisation, sur l'automatisation de la scie, sur l'état du processus, c'est-à-dire la séquence des actionneurs. La caractérisation des contraintes d'antériorité de la scie est permise par le concept pragmatique de « enchaînement des tâches », par exemple « *serrer le profilé avant de le scier* », tandis que le concept pragmatique

« technologie des composants » permet la caractérisation des options technologiques, comme exemple « *il faut un vérin simple effet pour l'éjection du tronçon coupé* ».

5.1.4. Représentation circonstancielle des apprenants

Les résultats (les différentes actions liées à l'automatisation et les scores en préparation) montrent que les élèves ont généré une représentation circonstancielle à partir de la représentation modèle de l'automatisation. Ladite représentation circonstancielle a été magistralement mis en œuvre dans la situation d'automatisation de la scie pour profilé d'aluminium. L'identification des différentes fonctions et des contraintes retenues par les différents protagonistes sont considérées comme des indicateurs de l'appropriation par les acteurs, des différentes fonctions de la machine. Pour la situation d'automatisation de la scie pour profilé en aluminium, les fonctions constituent une représentation circonstancielle. La succession des tâches suivants des contraintes d'antériorité et les choix technologiques sont les éléments qui indiquent la mise en œuvre des concepts pragmatiques de « enchaînement des tâches » et de « technologie des composants ». *C'est-à-dire le développement de « représentations schématiques et opératives, élaborées par et pour l'action […] » Samurçay et Rogalski (1992, p. 235).* En somme, la représentation circonstancielle générée par le travail des apprenants est constituée des fonctions de la scie à automatiser et de deux concepts pragmatiques : « enchainement des tâches » et « technologie des composants ».

5.2. LES ORGANISATEURS DE L'ACTIVITE ET LE SYSTEME D'INSTRUMENTS EN SITUATION DE SIMULATION

Nous avons formulé l'hypothèse suivante : **H2.** Les apprenants vont agir avec compétences notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence. Nous entendons par « agir compétent situé des apprenants » les organisateurs de l'activité et les instruments effectivement mis en œuvre par tous les apprenants dans cette situation particulière.

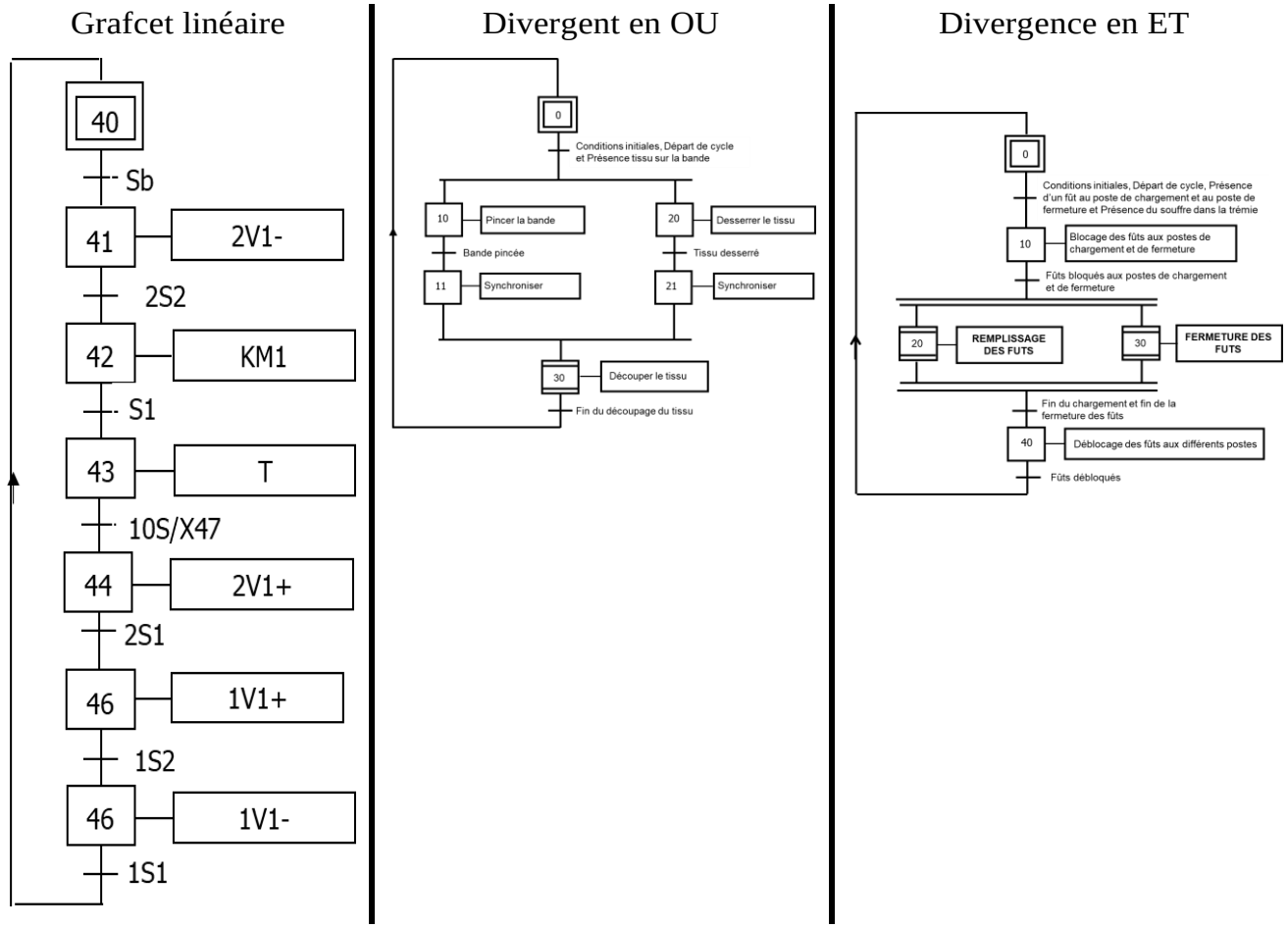
5.2.1. Classes des situations d'automatisation à l'aide de l'outil GRAFCET et de la symbolisation

5.2.1.1. Classes des situations d'automatisation à l'aide de l'outil GRAFCET

Nous avons souligné plus haut que l'outil GRAFCET est le langage de communication entre concepteurs, constructeurs, utilisateurs et agents de maintenance. Il se présente sous la forme d'un organigramme et décrit dans une suite logique et organisée, le cycle et le déroulement des différentes opérations d'un système automatisé de production. Le GRAFCET peut revêtir des structures différentes dépendamment de la complexité du système automatisé de production. La structure de base la plus simple est la séquence linéaire. Un GRAFCET à séquence linéaire est composé d'une suite d'étapes alignées verticalement qui peuvent être activées les unes après les autres. Il existe plusieurs structures complexes. Nous avons la divergence en « OU » qui est une sélection de séquence avec un choix d'évolution entre plusieurs séquences à partir d'une ou plusieurs étapes. Elle se représente graphiquement par autant de transitions validées en même temps qu'il peut y avoir d'évolution possibles. Nous avons la divergence en « ET » qui est constitué de séquences simultanées (séquences parallèles) dont le franchissement d'une transition conduit à activer plusieurs étapes en même temps, ces étapes déclencheront des séquences dont les évolutions seront à la fois simultanées et indépendantes. Nous avons aussi la structuration par GRAFCET de tâches et/ou sous-programme, la structuration par macro-étapes et la structuration par forçage.

Il faut aussi retenir qu'en plus de la structure, la complexité du GRAFCET peut provenir des types de réceptivités présentes (front montant et descendant d'une variable logique, réceptivité dépendante du temps, valeur booléenne d'un prédicat, évolution fugace, …) et de la forme des actions associées (action continue, action avec condition d'assignation (action conditionnelle), action retardée, action limitée dans le temps, action maintenue ou mémorisée).

Figure N° 25 : Exemples de structure d'un GRAFCET



5.2.1.2. Classes des situations d'automatisation à l'aide de la symbolisation

Les concepteurs, fabricants et utilisateurs de biens d'équipement industriel et la grande diversité de culture des opérateurs chargés de leurs maintenances ont souhaité voir se développer le recours à des médiatisations (symboles graphiques, codes et autres signes) pour uniformiser leur langage. La norme est la médiation utilisée dans le domaine des techniques industrielles. L'lSO entendu « the International Organization for Standardization » (Organisation Internationale de Normalisation) est le médiateur par excellence. L'ISO est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). Lorsque l'ISO n'est pas disponible, Les organismes nationaux de normalisation tels que l'AFNOR (Association Française de NORmalisation),

le DIN (sigle de Deutsche Industrie Norm, organisme allemand de normalisation), l'ANOR (acronyme d'Agence des Normes et de la Qualité, organisme de normalisation et de la qualité au Cameroun), etc. prennent le relais pour la suppléer.

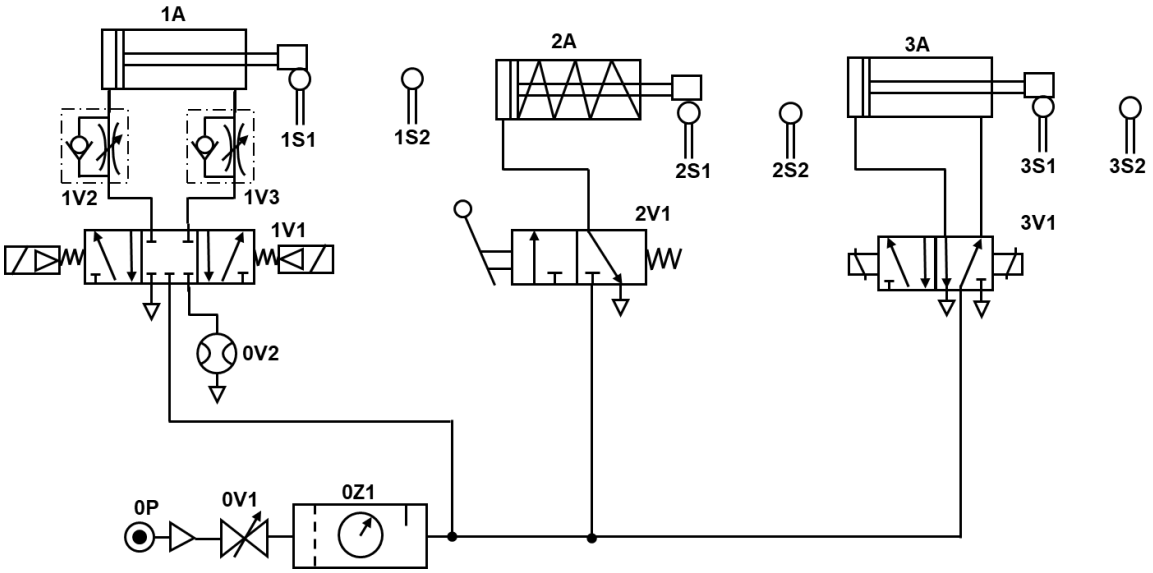
Les symboles graphiques servent à représenter les composants électriques, mécaniques hydrauliques et pneumatiques ainsi que leur fonction. Ils se retrouvent dans les dossiers techniques des machines, sur les schémas de circuit, les plaques signalétiques, les catalogues et les descriptions de produits.

La symbolisation utilisée en automatisme fait référence aux schémas de circuit et au GRAFCET. Les schémas de circuit sont constitués des symboles et des codes d'identification des composants qui constituent le Système Automatisé de Production. Le GRAFCET point de vue partie opérative et le GRAFCET point de vue partie commande sont entièrement codés à l'aide des symboles sous forme de repères disponible dans le dossier technique du SAP. La symbolisation mise en œuvre doit être claire et doit permettre de suivre les mouvements et les commandes des différentes séquences de travail des équipements qui le constituent. Tous les composants qui figurent dans les schémas de circuit sont représentées dans leur intégralité soit par le symbole détaillé, soit par le symbole simplifié. II n'est pas nécessaire de tenir compte dans les schémas de circuit de la disposition réelle des équipements dans l'espace. En fonction de la complexité du système, il peut être nécessaire de procéder à une répartition par groupe selon les fonctions de commande. Sauf indication contraire, les symboles sont représentés dans leur position de départ. Il est recommandé que les symboles des appareils hydrauliques et pneumatiques soient disposés du bas vers le haut et de gauche à droite :

- Sources d'énergie : en bas à gauche.
- Composants de commande classés en ordre séquentiel : vers le haut et de gauche à droite
- Actionneurs : en haut de gauche à droite.

Il convient que les composants soient identifiés par un code, un repère soit près de leur symbole, soit à l'emplacement où ils sont actifs s'ils ne sont pas représentés.

Figure N° 26 : Exemple de symbolisation



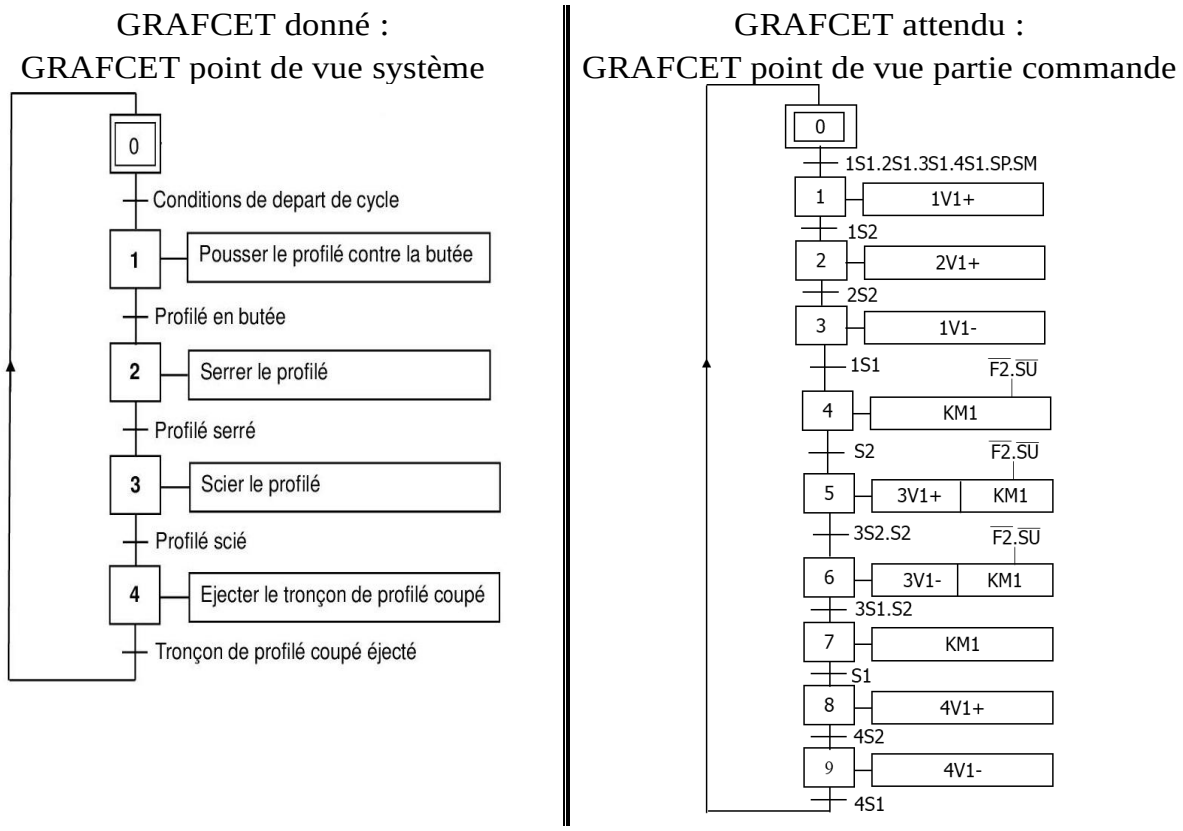
5.2.2. Situation d'automatisation de la scie à l'aide de l'outil GRAFCET et de la symbolisation

5.2.2.1. Situation d'automatisation de la scie à l'aide de l'outil GRAFCET

Le référentiel de formation impose que l'on se limite en classe de première maintenance électromécanique, à l'élaboration d'un GRAFCET linéaire avec ou sans reprise de séquence, avec ou sans saut d'étapes. Comme nous l'avons dit plus haut, un GRAFCET linéaire est une séquence linéaire composée d'une suite d'étapes qui peuvent être activées les unes après les autres. Pour la situation d'automatisation de la scie pour profilé d'aluminium, le cahier de charge harmonisé fourni aux élèves est constitué du GRAFCET point de vue système, de la matérialisation des actions et des spécifications technologiques de la scie pour profilé d'aluminium. Ce GRAFCET point de vue système est un GRAFCET linéaire puisque qu'il est composé d'une suite d'étapes alignées verticalement qui peuvent être activées les unes après les autres. Si l'on ne s'en tenait qu'à cette définition, cela reviendrait à dire que le GRAFCET point de vue partie commande devrait comporter exactement le même nombre d'étape que le GRAFCET point de vue système donné. Or la matérialisation des actions et les spécifications technologiques de la scie pour

profilé d'aluminium comportent des informations qui ne sont pas disponibles dans le GRAFCET point de vue système donné. Les élèves se trouvent face à une situation que nous qualifions de pas « standard », c'est-à-dire une situation où la séquence disponible aux vues des choix technologiques imposés ne correspondra pas à tout point de vue à la séquence à établir. La figure N° 27 présente la séquence disponible et la séquence à produire par les élèves.

Figure N° 27 : GRAFCET donné et GRAFCET attendu



5.2.2.2. Situation d'automatisation de la scie à l'aide de la symbolisation

Comme nous l'avons dit plus haut, le référentiel de formation impose que l'on se limite en classe de première maintenance électromécanique, à l'élaboration d'un GRAFCET linéaire avec ou sans reprise de séquence, avec ou sans saut d'étapes. Et pour ce qui est de la symbolisation, c'est l'ISO 1219, présentée sous le titre général : « *Transmissions hydrauliques et pneumatiques : Symboles graphiques et schémas de circuit* » qui est

utilisée. Pour la situation d'automatisation de la scie pour profilé d'aluminium, le cahier de charge harmonisé fourni aux élèves est constitué du schéma de la scie pour profilés en aluminium équipée de ses actionneurs, du GRAFCET point de vue système de la scie, de la matérialisation des actions de la scie et des spécifications technologiques de la scie. Ce GRAFCET point de vue système ne renseigne pas entièrement sur les mouvements possibles des actionneurs, sur les signaux nécessaires. En plus la matérialisation des actions et les spécifications technologiques de la scie pour profilé d'aluminium comportent des informations qui ne sont pas disponibles dans le GRAFCET point de vue système donné. Les élèves se trouvent face à une situation que nous qualifions de pas « standard », c'est-à-dire une situation où la séquence disponible aux vues des choix technologiques imposés ne correspondra pas à tout point de vue à la symbolisation à réaliser.

Pour la suite, nous développons l'agir compétent déployé par les apprenants pour résoudre le problème soulevé lorsqu'ils sont en situation de simulation.

5.2.3. Les organisateurs de l'activité en situation de simulation

Pour la modélisation par simulation de l'automatisation de la scie, les apprenants disposent - ils d'une organisation invariante ? Sous quelle forme se présente-t-elle ? Est-elle identique à toutes les situations de simulation d'un automatisme ?
Nous nous intéressons aux stratégies déployées par tous les élèves en phase de simulation. Deux temps forts caractérisent les activités des apprenants dans cette situation. Le premier temps fort concerne le déploiement de l'outil GRAFCET qui est en fait une traduction de la partie commande (PC) de l'automatisme. Le deuxième temps fort est celui de la réalisation du câblage des composants, traduction de la partie opérative (PO) de l'automatisme. Il est à noter que ces activités sont exécutées sur la base du cahier de charge harmonisé disponible à l'annexe N° 02, page 251. Ledit cahier de charge comprend le schéma de la scie pour profilés en aluminium équipée de ses actionneurs, le GRAFCET du point de vue système de la scie, la matérialisation des actions de la scie et les spécifications technologiques de la scie. Nous avons relevé plus haut que la succession des tâches et les choix technologiques sont les éléments qui indiquent la mise en œuvre

des concepts pragmatiques de « enchaînement des tâches » et de « technologie des composants ». Nous faisons l'hypothèse que deux schèmes d'action multi-instrumentées, sont articulés auxdits concepts pragmatiques. Il s'agit du schème de séquencement des actions (déploiement de l'outil GRAFCET) et du schème de matérialisation technologique (réalisation du câblage des composants).

5.2.3.1. Comment identifier les schèmes ?

Vidal-Gomel (2001) et Zanarelli (2003) nous révèlent que « *Les schèmes ne sont pas directement observables mais inférés à partir de l'activité du sujet* ». Pour isoler les schèmes lorsqu'on procède à l'analyse des situations réelles, Rabardel (1995) et Zanarelli (2003) recommandent de se référer au statut du schème tel qu'il apparait dans l'activité finalisé de l'actant et non à une propriété de ce schème.
Inhelder et Cellérier (1992), Galinier (1997) in Vidal-Gomel (2001) et Zanarelli (2003) ont identifié les observables qui permettent de faire des inférences sur l'existence des schèmes. Lesdits observables sont :

- L'ordre, la structure des actions, les régularités de séquences d'activité dans une situation,
- Les indicateurs de modification des schèmes sous tendu par l'existence d'un choix entre plusieurs possibilités,
- Les différentes modifications des structures d'action en référence aux niveaux d'anticipation,
- Les effets de l'activité sur la situation, plus précisément la transformation de la situation,
- La performance de l'activité mise en relief par son opérationnalité.

Notre analyse fine des activités de déploiement de l'outil GRAFCET et du câblage de la partie opérative va s'intéresser à la mise en évidence des observables relevés plus haut.

5.2.3.2. Le schème de séquencement des actions

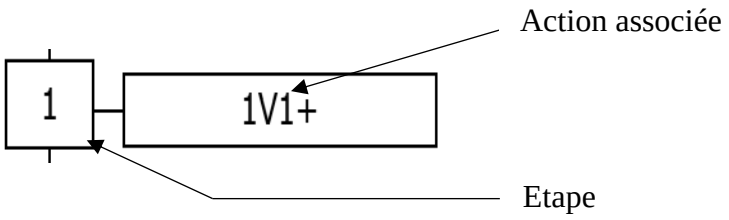
Les apprenants ont à modéliser grâce à la simulation informatique, la proposition d'amélioration ou de modification de la scie qu'ils ont faite. L'exécution de chaque tâche est à présent située par rapport aux autres puisque qu'on sait dès à présent comment elle débute et quelle autorisation elle fournit lorsque sa réalisation est terminée. Les élèves sont dans une configuration où ils doivent produire à l'aide du logiciel de simulation, le GRAFCET point de vue partie commande (PC). Les apprenants disposent du GRAFCET point de vue système, de la matérialisation des actions et des spécifications technologiques de la scie pour profilé d'aluminium (cahier de charge harmonisé donné) pour réaliser ce travail. Or les élèves se trouvent face à une situation que nous qualifions de pas « standard », c'est-à-dire une situation où la séquence disponible aux vues des choix technologiques imposés ne correspondra pas à tout point de vue à la séquence à établir.
Tous les élèves construisent d'abord sur papier le GRAFCET point de vue partie commande. Cette construction consiste en des tracés des étapes avec leurs actions associées, des transitions avec leurs réceptivités associées, des liaisons orientées et de l'écriture symbolique de l'ordre émis par la partie commande sur l'entrée du préactionneur adopté. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle les apprenants font l'inférence que le GRAFCET doit être construit « étape par étape » suivant le déroulement chronologique des tâches. Cette inférence s'appuie sur les supports (cahier de charge harmonisé) mises à leur disposition. Les concepts pragmatiques d'« enchaînement des tâches » et de « technologie des composants » sous-tendent cette hypothèse.

a) Etape et action associée

L'étape correspond à une situation dans laquelle le comportement de la partie commande ne varie pas vis-vis de ses entrées et de ses sorties. Et à chaque étape peuvent être associée une ou plusieurs actions élémentaires ou complexes. Dans un premier niveau de description, les actions correspondent aux tâches à exécuter par l'automatisme. Dans un second niveau de description, le choix technologique des composants de la partie opérative et de la partie relation permet une définition précise des ordres à émettre à partir de la partie commande. Ces ordres sont destinés aux entrées des préactionneurs (bobines

du contacteur KM1, pilotages des distributeurs 1V1, 1V2, 1V3 et 1V4, bobines du relais électromagnétique F2). Comme nous l'avons dit plus haut, l'étape se représente par un carré ou un rectangle repéré numériquement, tandis que l'action se représente par un rectangle dans lequel est inscrite la tâche à exécuter pour le premier niveau ou le code associé au composant pour le second niveau. Le repérage numérique des étapes correspond au déroulement chronologique des tâches.

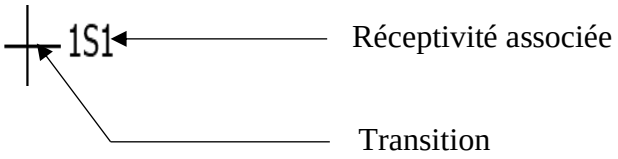
Exemple d'étape et action associée



b) Transition et réceptivité associée

La possibilité d'évolution entre une ou plusieurs étapes est marquée par une transition. Cette évolution se traduit par le franchissement de la transition. Par analogie aux cas des étapes auxquelles sont associées les actions, à chaque transition est associée une proposition logique appelée réceptivité ou condition de transition. La transition entre étapes se représente par un tiret perpendiculaire à la ligne de liaison tandis que la condition de transition peut être représentée soit par une forme littérale dans un premier niveau de description, soit par une forme symbolique (expression logique, code) dans un second niveau de description. La condition de transition est placée à droite du tiret perpendiculaire à la ligne de liaison, c'est-à-dire de la transition. La condition de transition peut être vraie ou fausse c'est-à-dire égale à 1 ou à 0. Parmi toutes les informations disponibles à un instant donné, la condition de transition regroupe uniquement celles qui sont nécessaires au franchissement de la transition c'est-à-dire celles auxquelles la partie commande est réceptive.

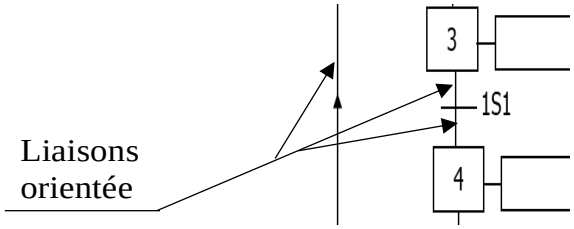
Exemple de transition et réceptivité associée



c) Liaisons orientées

Les liaisons orientées relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Elles indiquent les voies suivant lesquelles se font les évolutions. Elles se représentent par des lignes verticales et horizontales. Par convention, les évolutions s'effectuent toujours dans le sens du haut vers le bas. Des flèches doivent être utilisées pour marquer l'orientation lorsque la convention n'est pas respectée : sens du bas vers le haut.

Exemple de liaison orientée



d) Cas de notre situation de simulation

En simulation, les apprenants déploient différentes stratégies pour construire le GRAFCET point de vue partie commande. Nous avons les équipes GEB, GEH et GEI du groupe expérimental, les équipes GCL, GCM, GCN, GCO, GCP et GCR du groupe contrôle qui dessinent leur GRAFCET « étape par étape » à l'aide du menu contextuel du logiciel. Tandis que l'équipe GEG du groupe expérimental et les équipes GCK et GCQ du groupe contrôle utilisent les palettes proposées par l'application pour le faire. Par contre les équipes GEA, GEC, GED, GEE, GEF et GEJ du groupe expérimental réalisent leur construction en utilisant l'assistant disponible dans le logiciel de simulation qu'ils réadaptent à la configuration de la scie pour profilé d'aluminium. Nous avons cherché à comprendre ce qui est commun aux différentes stratégies utilisées par nos acteurs. Nous avons relevé plus haut que les actions correspondent aux tâches à exécuter par l'automatisme. Et que la symbolisation est utilisée pour décrire les actions lorsqu'on dispose des spécifications technologiques des composants mise en œuvre dans la machine à automatiser. Le terme action présente l'avantage de recouvrir dans le langage courant

ce qui doit être fait (besoin ou effet sur la partie opérative) et comment on le fait (ordre émis par la partie commande). Ce terme peut donc s'appliquer à tous les niveaux de description et assurer ainsi la cohérence du langage propre au GRAFCET. Ceci permet, d'un niveau à un autre d'enchaîner le raisonnement sur les actions associées aux étapes, sans aucune ambiguïté. Il apparait donc que l'enchaînement du raisonnement sur les actions soit une règle invariante mise en œuvre pour construire le GRAFCET. Nous rappelons que la construction du GRAFCET point de vue partie commande consiste en des tracés des étapes avec leurs actions associées, des transitions avec leurs réceptivités associées, des liaisons orientées et de l'écriture symbolique de l'ordre émis par la partie commande sur l'entrée du préactionneur adopté.

La figure N° 28 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences liées à la construction du GRAFCET point de vue partie commande en situation de simulation.

Figure N° 28 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la construction étape-transition-liaisons orientés

Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-DC_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	1576	1586	1680	108	504	1596	432	676	604	216	288	2260	180	288	1216	234	1586	656	15686
Taux	10,05%	10,11%	10,71%	0,69%	3,21%	10,17%	2,75%	4,31%	3,85%	1,38%	1,84%	14,41%	1,15%	1,84%	7,75%	1,49%	10,11%	4,18%	100,00%

Il ressort de cette figure que les 03 éléments étapes-transitions-liaison orientées se démarquent chacun par un taux supérieur à 10%. Il s'agit des actions relatives au dessin d'une étape (10,06%), d'une transition (10,11%) et des liaisons orientées (10,71%). A ces 03 éléments, nous ajoutons l'action de numérotation des étapes (02,75%), car le repérage numérique des étapes correspond au déroulement chronologique des tâches. Nous notons aussi que ces quatre éléments réunis ont un taux de couverture des activités en situation de simulation de 33,62%. Nous retrouvons là une activité organisée de la même façon : étapes ; transitions ; liaisons orientées. Ce qui revient à dire que la majorité des élèves construisent le GRAFCET point de vue partie commande en dessinant étapes ; transitions et liaisons orientés. Or nous avons relevé plus haut que l'enchaînement du raisonnement sur les actions est une règle invariante mise en œuvre pour construire le GRAFCET point de vue partie commande. Les étapes, les transitions et les liaisons orientées semblent être les sous-buts d'un même schème de « séquencement des actions ». Ce schème est composé d'un but général, le séquencement des actions de la scie, et de trois sous-buts :

les étapes, les transitions et les liaisons orientées. Dans la situation de simulation, les apprenants s'appuient sur les trois sous-buts (étapes, transitions et liaisons orientées) indépendamment de la stratégie adoptée pour construire le GRAFCET point de vue partie commande.

Ce schème est également articulé aux deux concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants : par exemple, la mise en œuvre de la règle « étape-transition-liaison orientée » nécessite de se représenter la cascade des ordres pour identifier l'action qui est juste en amont. Il est nécessaire de mobiliser la notion d'enchaînement des tâches : s'il n'y a pas enchaînement des tâches, il n'y a pas exécution de chacune des tâches suivant leur position par rapport aux autres (Le sciage du profilé ne peut être exécuté tant que ledit profil n'est pas serré) et par ricochet il n'y a pas d'effet sur la scie (aucune réponse de l'actionneur sollicité). D'un autre côté, les spécifications technologiques de la scie étant disponible, la notion de technologie des composants est mise en œuvre grâce à l'écriture symbolique des capteurs (1S1, 1S2, …), des préactionneurs (1V1, KM1, ….) et des interfaces pneumo-électriques (F2, S1 et S2).

La figure N° 29 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences liées à l'écriture symbolique des capteurs, des préactionneurs et des interfaces pneumo-électriques de la scie.

Figure N° 29 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à l'écriture symbolique des composants de la scie

Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-DC_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	1576	1680	1586	108	504	1596	432	676	604	216	288	2260	180	288	1216	234	1586	656	15686
Taux	10,05%	10,71%	10,11%	0,69%	3,21%	10,17%	2,75%	4,31%	3,85%	1,38%	1,84%	14,41%	1,15%	1,84%	7,75%	1,49%	10,11%	4,18%	100,00%

Nous notons la nécessité de mobiliser les deux concepts pragmatiques pour décrire l'automatisation de la scie. La mobilisation desdits concepts passe par l'assurance de l'exécution de chaque action suivant sa situation par rapport aux autres puisque qu'on sait dès à présent comment elle débute et quelle autorisation elle fournit lorsque sa réalisation est terminée.

Nous énonçons l'hypothèse selon laquelle nos élèves disposent d'un schème que nous nommons « schème de séquencement des actions ». Ledit schème est articulé aux concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants.

5.2.3.3. Le schème de matérialisation technologique

Comme nous l'avons dit plus haut, la symbolisation s'appuie sur l'ISO 1219, présentée sous le titre général : « *Transmissions hydrauliques et pneumatiques : Symboles graphiques et schémas de circuit* ». La symbolisation utilisée en automatisme fait référence aux schémas de circuit et au GRAFCET. Les schémas de circuit sont constitués des symboles graphiques et des codes d'identification des composants qui constituent le SAP. Le GRAFCET point de vue partie opérative et le GRAFCET point de vue partie commande sont entièrement codés à l'aide des mêmes codes d'identification des composants sous forme de repères disponible dans le dossier technique du SAP.

Pour la situation d'automatisation de la scie pour profilé d'aluminium, le cahier de charge harmonisé fourni aux élèves est constitué du schéma de la scie pour profilés en aluminium équipée de ses actionneurs, du GRAFCET point de vue système de la scie, de la matérialisation des actions de la scie et des spécifications technologiques de la scie. Ce GRAFCET point de vue système ne renseigne pas entièrement sur les mouvements possibles des actionneurs et sur les signaux nécessaires. En plus la matérialisation des actions et les spécifications technologiques de la scie pour profilé d'aluminium comportent des informations qui ne sont pas disponibles dans le GRAFCET point de vue système donné. Les élèves se trouvent face à une situation que nous qualifions de pas « standard », c'est-à-dire une situation où la séquence disponible aux vues des choix technologiques imposés ne correspondra pas à tout point de vue à la symbolisation à réaliser.

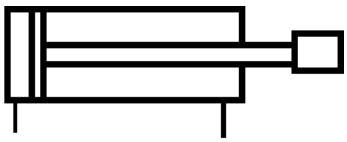
Les élèves sont dans une configuration où ils doivent produire à l'aide du logiciel de simulation, le GRAFCET point de vue partie commande (PC) et le câblage de la partie opérative. Le câblage de la partie opérative est obtenu grâce à la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative.

a) Symboles graphiques

La situation problème impose 02 types d'énergies : l'électrique et le pneumatique. Les symboles graphiques servent à représenter les différents composants électriques et

pneumatiques ainsi que leur fonction. Les symboles graphiques pour les composants sont à créer en utilisant les symboles de base spécifiés dans l'ISO 1219 et en tenant compte des règles données pour leurs créations. Ils ne visent pas à une représentation réelle d'un composant. Les symboles graphiques des composants présentent les composants en position repos. Les symboles graphiques des composants doivent présenter toutes les connexions prévues. Ils doivent comporter toutes les cases libres nécessaires pour indiquer la désignation de l'orifice/raccordement et de variables telles que la pression, le débit, le raccordement électrique etc. ou les réglages des appareils. Le schéma de circuit de la partie opérative de la machine est obtenu grâce à la mise en commun des symboles graphiques de tous les composants qui constituent la partie opérative de la scie.

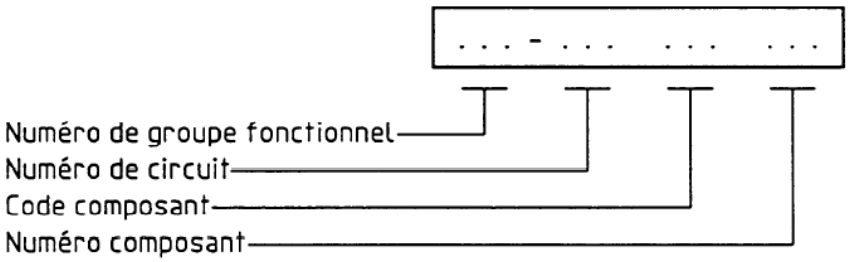
Exemple de symbole graphique



Vérin double effet

b) Codes d'identification des composants

Un code d'identification des composants doit être utilise sur le schéma de circuit à coté de leur symbole graphique respectif. Cette identification doit être utilisée sur tous les documents connexes. Le code d'identification des composants doit comporter les éléments encadrés suivants :



Le « *numéro de groupe fonctionnel* » est un code qui se compose de chiffre commençant par 1. Il est utilisé dès que le circuit comporte plus d'une installation.

Le « *numéro de circuit* » est un code composé de chiffres. Pour chaque circuit, la numérotation s'effectue de manière continue. L'ISO 1219 recommande de commencer

par le chiffre 0 lorsqu'il s'agit de tous les accessoires disponibles sur le groupe générateur ou les sources d'alimentation.

Le « *code composant* » est destiné à identifier clairement chaque composant. Il doit être conforme à la liste suivante :

- Pompes et compresseurs : P
- Actionneurs : A
- Moteurs d'entraînement : M
- Capteurs : S
- Distributeurs : V
- Contacteurs : KM
- Relais thermiques : F
- Autres appareils : Z, ou une autre lettre, sauf celles utilisées ci-dessus.

Le « *numéro composant* » est un code composé de chiffres commençant par 1 en numérotation continue.

a) Cas de notre situation de simulation

Les apprenants déploient différentes stratégies pour réaliser le schéma du circuit de la partie opérative de la scie. Le logiciel de simulation est doté d'une bibliothèque. La bibliothèque dispose de toute une gamme de composants hydrauliques, pneumatiques, d'électricité de commande, etc. Elle est constituée en sous-groupes, familles d'ateliers spécialisés tels que l'hydraulique, le pneumatique, etc. Toutes les équipes utilisent la bibliothèque pour éditer leur schéma. Pour construire un circuit fonctionnel, les apprenants extirpent de chaque sous-groupe et chaque famille d'atelier spécialisé de la bibliothèque, les composants qui y sont associés et nécessaires à la configuration de la scie pour profilé d'aluminium. Nous avons cherché à identifier l'élément sur lequel nos acteurs s'appuient pour piquer dans la vaste bibliothèque disponible dans le logiciel de simulation, le composant qu'il faut pour le travail qu'ils sont en train d'exécuter.

Tous les élèves construisent directement le schéma du circuit de la partie opérative à l'aide du logiciel. Cette construction consiste en des tracés des symboles graphiques avec leurs codes associés. Les apprenants disposent des spécifications technologiques des composants mise en œuvre dans la machine à automatiser et donc la symbolisation est

utilisée pour décrire les actions. Nous avons relevé plus haut que le terme action présente l'avantage de recouvrir dans le langage courant ce qui doit être fait (besoin ou effet sur la partie opérative) et comment on le fait (ordre émis par la partie commande). Ceci permet, d'enchaîner le raisonnement sur les actions sans aucune ambiguïté.

Nous formulons l'hypothèse suivante : d'après les supports (cahier de charge harmonisé) mis à leurs dispositions, les élèves font l'inférence que le schéma du circuit de la partie opérative de la scie doit être construit suivant le déroulement chronologique des actions. Les concepts pragmatiques d'« enchaînement des tâches » et de « technologie des composants » sous-tendent cette hypothèse.

La figure N° 30 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences liées à la construction du schéma du circuit de la partie opérative en situation de simulation.

Figure 30 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à la construction du schéma du circuit de la partie opérative

Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-DC_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	1576	1680	1586	108	504	1596	432	676	604	216	288	2260	180	288	1216	234	1586	656	15686
Taux	10,05%	10,71%	10,11%	0,69%	3,21%	10,17%	2,75%	4,31%	3,85%	1,38%	1,84%	14,41%	1,15%	1,84%	7,75%	1,49%	10,11%	4,18%	100,00%

Il ressort de cette figure que les temps forts de la symbolisation sont marqués par les actions relatives au dessin d'un composant (10,17%), du codage de la représentation symbolique des composants (7,75%), de l'identification d'un composant par son symbole (10,11%) et de la désignation des composants (4,18%). Nous notons aussi que ces quatre éléments à eux seuls ont un taux de couverture des activités en situation de simulation de 32,22%. Nous retrouvons là une activité organisée de la même façon : identification ; dessin ; codage. Ce qui revient à dire que toutes les équipes construisent le schéma du circuit de la partie opérative en identifiant le symbole du composant de la partie opérative nécessaire dans la bibliothèque, ensuite le dessine puis lui attribue un code comme l'indiquent, ces exemples d'échanges entre coéquipiers GEA2 : « *prend celui-ci pour le serrage* », GEA1 : « *si c'est pour le serrage c'est donc un double effet* », GEA2 : « *voilà, dessine alors* », GEA1 : « *c'est 2A non ?*», GEA2 : « *oui, c'est 2A* ». L'identification, le dessin et le codage d'un composant semblent être les sous-buts d'un même schème de « matérialisation technologique ». Ce schème est composé d'un but général, la matérialisation technologique des composants de la scie, et de trois sous-buts :

l'identification, le dessin et le codage du composant. Dans la situation de simulation, les apprenants s'appuient sur les trois sous-buts (identification, dessin et codage du composant) indépendamment de la stratégie adoptée pour construire le schéma du circuit de la partie opérative de la machine.

Ce schème est également articulé aux deux concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants : par exemple, la mise en mouvement des actionneurs nécessite de se représenter la cascade des ordres pour identifier l'action qui est juste en amont. Il est nécessaire de mobiliser la notion d'enchaînement des tâches : s'il n'y a pas enchaînement des tâches, il n'y a pas exécution de chacune des tâches suivant leur position par rapport aux autres (l'éjection du profil coupé ne peut être exécuté tant que le moteur de la scie ne s'est pas immobilisé) et par ricochet il n'y a pas d'effet sur la scie (aucune réponse de l'actionneur sollicité). D'un autre côté, les spécifications technologiques de la scie étant disponible, la notion de technologie des composants est mise en œuvre grâce à la symbolisation (symbole graphique et code associé) des composants.

Il est nécessité de mobiliser les deux concepts pragmatiques pour décrire l'automatisation de la scie. La mobilisation desdits concepts passe par la symbolisation graphique et le codage associé des composants de la scie.

Nous énonçons l'hypothèse selon laquelle nos élèves disposent d'un schème que nous nommons « schème de matérialisation technologique ». Ledit schème est articulé aux concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants.

5.2.3.4. Schème de séquencement des actions et schème de matérialisation technologique : des schèmes d'action multi-instrumentées

Rabardel (1995, 1999) nous révèle que les différents moyens mobilisés par un acteur pour réaliser un travail peuvent être analysés du point de vue des activités avec instruments. Cette approche du point de vue des instruments permet d'examiner l'activité sous l'angle des moyens mis en œuvre, quelle que soit leur nature, pour atteindre un but. En situation de simulation l'élève peut tester son projet. Le lancement du test est rendu possible grâce au bouton poussoir « test » du logiciel de simulation. Pour établir un GRAFCET correct, l'apprenant

doit respecter les règles de syntaxe et les 05 règles d'évolution imposées par la norme NF EN 60848 d'Octobre 2013. Le schéma du circuit de la partie opérative est réalisé en se conformant à la norme ISO 1219.

a) Bouton poussoir « test »

Le logiciel utilisé pour la simulation dispose d'un bouton poussoir « test ». Le bouton poussoir « test » est intégré dans la barre d'outils de l'application. Le lancement du test est rendu possible grâce audit bouton poussoir « test » de la barre d'outils. Ce bouton poussoir active la visualisation dynamique du projet lorsqu'il s'agit du GRAFCET ou retourne en réponse le comportement et l'animation adaptée des symboles lorsqu'on réalise le schéma d'un circuit. Le test permet d'obtenir des informations sur l'état de fonctionnement du projet réalisé.

b) Règles liées au GRAFCET

La norme NF EN 60848 d'Octobre 2013 a imposé des règles essentielles dans la définition du modèle GRAFCET. Nous avons des règles de syntaxe et 05 règles d'évolution. Un GRAFCET est correctement tracé s'il respecte la règle d'alternance étape-transition et transition-étape. En clair, deux étapes ne peuvent être reliées directement et deux transitions ne peuvent pas se suivre. La première règle d'évolution du GRAFCET est relative à la situation initiale de la PC. La situation initiale du GRAFCET caractérise le comportement initial de la PC vis-à-vis de la PO et correspond à l'ensemble des étapes actives autorisant le début du fonctionnement. La deuxième règle est relative au franchissement d'une transition. L'évolution de la situation du GRAFCET est imposée par la *fonction transition*. Lorsque la fonction transition est vraie, elle devient franchissable et est obligatoirement franchie. La troisième règle d'évolution est relative à l'évolution de la situation de la PC. Le franchissement d'une transition entraîne simultanément l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes (évolution synchrone). La quatrième règle est relative aux évolutions simultanées. Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies. La dernière règle est relative

à l'activation et la désactivation simultanée d'une même étape. Si au cours d'une évolution, une même étape se trouve être à la fois activée et désactivée, elle reste activée.

c) Norme ISO 1219

La norme ISO 1219 est utilisée pour la symbolisation des composants. Elle est présentée sous le titre général : « *Transmissions hydrauliques et pneumatiques : Symboles graphiques et schémas de circuit* ». La norme ISO 1219 comporte 02 parties. La première partie (ISO 1219-1) est relative aux symboles graphiques. Elle définit les éléments de base des symboles. Elle établit les règles de formation des symboles des transmissions hydrauliques et pneumatiques à utiliser sur les composants et les schémas de circuit. La deuxième partie (ISO 1219-2) concerne les schémas des circuits. Elle établit les principes pour dessiner des schémas hydrauliques et pneumatiques en utilisant les symboles de I'ISO 1219-l. La représentation normalisée des schémas de circuit facilite la compréhension de l'étude et la description des installations, ce qui permet d'éviter toute confusion et erreur lors du développement, de la production, de l'installation et de la maintenance. Un code d'identification des composants doit être utilise sur le schéma de circuit à coté de leur symbole graphique respectif.

d) Cas de notre situation de simulation

- **Le bouton poussoir « test »**

Le bouton poussoir « test » disponible dans la barre d'outils du logiciel de simulation est un instrument pour l'apprenant. Ce bouton poussoir « test » active la visualisation dynamique du projet lorsqu'il s'agit du GRAFCET ou retourne en réponse le comportement et l'animation adaptée des symboles lorsqu'on réalise le schéma d'un circuit.

La partie artefact dudit instrument est le bouton poussoir. Le schème d'usage dont dispose l'élève est le clic à l'aide de la sourie sur le bouton poussoir. Pour l'apprenant, le test a pour objectif de lui permettre d'observer rapidement le résultat de l'exécution de sa construction en un point précis ; puisqu'il peut le lancer à toutes les phases de construction de son projet. L'élève a attribué de nouvelles fonctions à l'artefact « *bouton poussoir* »,

nous sommes en présence d'une genèse instrumentale Rabardel (1995, 1999) ; Vidal-Gomel (2001) ; Aillerie et al. (2018). Les concepteurs du logiciel ont prévu ce bouton poussoir pour tester le bon fonctionnement d'un projet. L'élève a attribué une nouvelle fonction à ce même bouton poussoir, celle de prendre des informations sur l'état de l'enchainement des ordres pour identifier l'action qui doit être exécutée.

La figure N° 31 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences liées à l'utilisation du bouton poussoir « test » (lancement d'un test de fonctionnement) en situation de simulation.

Figure N° 31 : Texte surligné en jaune= occurrences liées à l'utilisation du bouton poussoir « test »

Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-DC_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	1576	1680	1586	108	504	1596	432	676	604	216	288	2260	180	288	1216	234	1586	656	15686
Taux	10,05%	10,71%	10,11%	0,69%	3,21%	10,17%	2,75%	4,31%	3,85%	1,38%	1,84%	14,41%	1,15%	1,84%	7,75%	1,49%	10,11%	4,18%	100,00%

Nous notons aussi que cet élément à lui seul a un taux de couverture des activités en situation de simulation de près de 15%. Ce qui revient à dire que la majorité des élèves ont attribué de nouvelles fonctions à l'artefact « bouton poussoir », nous sommes en présence d'une genèse instrumentale (Rabardel, 1995 ; Vidal-Gomel, 2001) comme nous l'avons souligné plus haut.

- **Règles liées au GRAFCET et norme ISO 1219**

Deux autres instruments sont constitués à partir de la construction du GRAFCET et de la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative.

Le deuxième artéfact concerne les règles liées au GRAFCET. Leurs mises en valeur passent par l'utilisation de deux outils que sont la syntaxe du GRAFCET et la forme du GRAFCET. Pour certains élèves, la syntaxe du GRAFCET et la forme du GRAFCET sont utilisées pour éviter les erreurs d'analyse et les erreurs d'écriture. L'instrument développé par les élèves serait composé de l'artéfact règles liées au GRAFCET et de deux schèmes d'usage vérification de la syntaxe et vérification de la forme. L'objectif de l'élève est de prendre des informations sur l'enchaînement des actions. Nous sommes de nouveau face au résultat d'une genèse instrumentale.

Le troisième artéfact est la norme ISO 1219. Pour le cas d'espèce, l'instrument produit par l'élève comprend la norme ISO 1219 et le schème d'usage symbolisation. Le schème d'usage symbolisation est utilisé pour obtenir des informations sur l'état de la fonction du composant et de l'enchaînement des actions. Cette utilisation de l'ISO 1219 constitue également la trace d'une genèse instrumentale.

La figure N° 32 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219.

Figure N° 32 : Texte surligné en jaune = occurrences liées aux règles et la norme ISO 1219

Code	AC-DS_ET	AC-DS_TR	AC-DS_LO	AC-DS_ETI	AC-DS_RA	AC-DS_CO	AC-NU_ET	AC-SY_RE	AC-SY_AT	AC-CH_OT	AC-UT_OT	AC-LA_TF	AC-DE_AC	AC-JU_AC	AC-CO_FR	AC-RQ_UOS	ID_CS	ID_TC	Totaux
Occurrences	1576	1586	1680	108	504	1596	432	676	604	216	288	2260	180	288	1216	234	1586	656	15686
Taux	10,05%	10,11%	10,71%	0,69%	3,21%	10,17%	2,75%	4,31%	3,85%	1,38%	1,84%	14,41%	1,15%	1,84%	7,75%	1,49%	10,11%	4,18%	100,00%

Il ressort de cette figure que les instrumentations avec les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219 sont marquées par les actions relatives au choix d'un outil (1,38%), de l'utilisation d'un outil (1,84 %), de la description d'une action (1,19%), de la justification de son action (1,84%) et de la requête d'utilisation d'un outil spécifique (1,49%). Nous notons aussi que ces cinq éléments ont un taux de couverture des activités en situation de simulation de 7,69%.

5.2.3.5. La reproduction des séquences d'activités instrumentées identiques du schème de séquencement des actions et du schème de matérialisation technologique.

Nous avons relevé plus haut qu'en situation de simulation, pour la construction du GRAFCET, nous avons les équipes GEB, GEH et GEI du groupe GE, les équipes GCL, GCM, GCN, GCO, GCP et GCR du groupe GC qui dessinent leur GRAFCET « étape par étape » à l'aide du menu contextuel du logiciel. Tandis que l'équipe GEG du groupe GE et les équipes GCK et GCQ du groupe GC utilisent les palettes proposées par l'application pour le faire. Par contre les équipes GEA, GEC, GED, GEE, GEF et GEJ du groupe GE réalisent leur construction en utilisant l'assistant disponible dans le logiciel de simulation qu'ils réadaptent à la configuration de la scie pour profilé d'aluminium. Pour ce qu'est de la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative, tous les élèves construisent directement le schéma du circuit de la partie opérative à l'aide du logiciel. Cette

construction consiste en des tracés des symboles graphiques avec leurs codes associés. Nous nous intéressons dès à présent aux régularités des séquences d'activité à l'aide des instruments en situation de simulation pour chaque modalité ci-dessus identifiée.

a) Dessin « étape par étape » du GRAFCET

Pour cette configuration, le dessin du GRAFCET est exécuté « étape par étape » à l'aide du menu contextuel du logiciel.

La première séquence d'activité reproduite se présente de la manière suivante :

- Dessin d'une seule étape – d'une seule transition – de deux liaisons orientées ;
- Règles liées au GRAFCET ;
- Bouton poussoir « test ».

Cette première séquence d'activité est mise œuvre par 18 élèves, soit un taux de 18 sur 36 de notre population. Il s'agit des équipes GEB, GEH et GEI du groupe GE, des équipes GCL, GCM, GCN, GCO, GCP et GCR du groupe GC. Dans cette séquence d'activité, nous retrouvons le schème de séquencement des actions (étapes, transitions et liaisons orientées) et les instruments suivants : règles liées au GRAFCET et bouton poussoir « test ». Nous interprétons cette première séquence d'activé comme un schème d'action multi-instrumentée comme le montre ces extraits de verbalisation collectés en situation de simulation : GEG14 : « *Lance le test pour qu'on voit si ça donne* » ; GCQ34 : « *clique sur le test, on regarde si notre GRAFCET donne* »

b) Dessin du GRACET à l'aide des palettes

Dans ce cas, le GRAFCET est construit à l'aide des palettes proposées par le logiciel de simulation. La palette donne un ensemble d'éléments qui peuvent être sélectionnés et déposés sur les espaces de travail. Pour sélectionner un élément, l'utilisateur clique avec le bouton gauche de la souris dans la palette, étire la sélection, relâche le bouton de la souris, clique dans la zone sélectionnée et déplace la zone vers l'espace de travail.

La deuxième séquence d'activité reproduite se présente de la manière suivante :

- Dessin d'une ou plusieurs étapes – d'une ou plusieurs transitions – de plusieurs liaisons orientées ;
- Règles liées au GRAFCET ;
- Norme ISO 1219 ;
- Bouton poussoir « test ».

Cette deuxième séquence d'activité est mise œuvre par 6 élèves, soit un taux de 06 sur 36 de l'effectif de notre population. Il s'agit de l'équipe GEG du groupe expérimental et des équipes GCK et GCQ du groupe contrôle. Pour cette séquence d'activité, nous retrouvons le schème de séquencement des actions (étapes, transitions et liaisons orientées) et les instruments suivants : règles liées au GRAFCET norme ISO 1219 dans sa partie codification et bouton poussoir « test ». Une fois de plus, nous interprétons cette deuxième séquence d'activé comme un schème d'action multi-instrumentée comme l'atteste ces extraits de verbalisation recueillis en situation de simulation : GEG13 : « *clique sur test, ça va confirmer le code (*fait d'avoir proposé la palette pour construire le GRAFCET*)* » ; GCK21 : « *Pour être sûr lançons le test* », le « sûr » renvoie à l'utilisation de la palette pour tracer le GRAFCET.

c) Dessin du GRAFCET à l'aide de l'assistant

Pour cette configuration, le GRAFCET est construit à l'aide de l'assistant disponible dans le logiciel de simulation. En mode assistant, l'utilisateur clique avec le bouton droit de la souris dans l'espace de travail et choisie « *Assistant* » dans le menu. Il se laisse ensuite guider dans les choix. Les choix consistent en des cases à cocher (structure du GRAFCET, étape initiale, rebouclé et rectangle d'action) et à des nombres à préciser (étapes, première et intervalle). Lorsqu'il a fini, l'utilisateur clique sur « OK » et pose le dessin sur l'espace de travail en cliquant avec le bouton gauche de la souris.

La troisième séquence d'activité reproduite se présente de la manière suivante :

- Dessin de plusieurs étapes – de plusieurs transitions – de plusieurs liaisons orientées ;
- Règles liées au GRAFCET ;
- Norme ISO 1219 ;

- Bouton poussoir « test ».

Cette troisième séquence d'activité est mise œuvre par 12 élèves, soit un taux de 12 sur 36 de l'effectif de notre population. Il s'agit des équipes GEA, GEC, GED, GEE, GEF et GEJ du groupe expérimental. Comme pour la deuxième séquence d'activité, nous retrouvons le schème de séquencement des actions (étapes, transitions et liaisons orientées) et les instruments suivants : règles liées au GRAFCET norme ISO 1219 dans sa partie codification et bouton poussoir « test ». Une fois de plus, nous interprétons cette troisième séquence d'activé comme un schème d'action multi-instrumentée comme le montre ces extraits de verbalisation collectés en situation de simulation : GEA2 : « *prend l'assistant, on va vérifier après si c'est bon* » ; GEF11 : « *clique sur assistant, avec ça on va vite dessiner le GRAFCET, après on va regarder si ça donne* ».

d) Réalisation du schéma du circuit de la partie opérative

Le schéma du circuit de la partie est construit à l'aide des outils disponibles dans le logiciel de simulation. Cette construction consiste en des tracés des symboles graphiques avec leurs codes associés.

La quatrième séquence d'activité reproduite se présente de la manière suivante :

- Identification, dessin et codage du composant ;
- Norme ISO 1219 ;
- Bouton poussoir « test ».

Cette quatrième séquence d'activité est mise œuvre par tous les élèves, soit un taux de 36 sur 36 de de notre population. Pour cette séquence d'activité, nous retrouvons le schème de matérialisation technologique (identification, dessin et codage) et les instruments suivants : norme ISO 1219 dans ses deux parties symbolisation graphique et codification et bouton poussoir « test ». Une fois de plus, nous interprétons cette quatrième séquence d'activé comme un schème d'action multi-instrumentée comme le montre ces extraits de verbalisation recueillis en situation de simulation : GED8 : « *Prend ce vérin, tu ne vois pas que c'est un simple effet ? Lorsqu'on va le câbler tu lance le test pour qu'on voit si ça sort* » ; GCR35 : « *clique sur le test, on regarde si notre câblage donne* ».

5.2.3.6. Relation entre les schèmes multi-instrumentées et les concepts pragmatiques

Nous avons relevé plus haut que la succession des tâches et les choix technologiques sont les éléments qui indiquent la mise en œuvre des concepts pragmatiques de « enchaînement des tâches » et de « technologie des composants ». Nous avons identifié deux schèmes d'action multi-instrumentées utilisés par nos élèves pour construire le GRAFCET et pour réaliser le schéma de câblage de la partie opérative. Lesdits instruments sont constitués des règles liées au GRAFCET, de la norme ISO 1219 et du bouton poussoir « test ». Ces instruments sont révélateurs de la mise en œuvre des concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants. Nous présentons pour chacun des instruments considérés, son articulation auxdits concepts pragmatiques.

a) Le bouton poussoir « test »

Le test de fonctionnement est utilisé pour faire des inférences sur le rendu du travail exécuté par les apprenants en situation de simulation. Ledit test de fonctionnement est rendu possible grâce à la disponibilité du bouton poussoir « test » dans le logiciel de simulation.

Lorsque l'apprenant active le bouton poussoir « test » de la barre d'outils en activité de construction du GRAFCET, cela lui indique, s'il ne commet pas d'erreur, dans l'ordre d'exécution des actions ; ce qui lui permet de faire l'inférence qu'il y a enchaînement des tâches ou pas.

Quand l'élève agit sur le bouton poussoir « test » en activité de réalisation du schéma de câblage de la partie opérative, la mesure réalisée lui indique si l'écriture symbolique a été faite dans le bon ordre ; ce qui lui permet de faire l'inférence que la technologie du composant utilisé est conforme ou pas.

Les exemples de verbalisation présentés tableau 27 et tableau 28 attestent de ce type d'inférences.

Tableau 27 : Exemples de verbalisation suite au test de construction du GRAFCET

Protagoniste	Verbalisation en situations	Verbalisation en autoconfrontation
GEA1	- « *Clique sur 'GO' pour qu'on vérifie l'évolution de 1V1.* » - « *ça ne donne pas, ça n'avance pas.* » - « *changeons 1V1+ en 1V1-.* »	« *Le GRAFCET n'évolue pas, nous n'avons pas pris la bonne action du préactionneur 1V1.* »
GEC6	- « *Lance nous le test pour qu'on voit si ça donne* » « *Mais POURQUOI l'étape 5 ne s'active pas ?* » - « *Weeee nous avons oublié quoi ? ça ndem.* »	« *L'étape 4 est OK mais l'étape 5 ne s'active pas. Là nous devons vérifier les réceptivités.* »

Dans les exemples ci-dessus, le GRAFCET n'évolue pas normalement, il bloque à une étape. Ces vérifications rendent compte du type d'inférences des élèves. L'élève GEA1 infère que le GRAFCET n'évolue pas parce qu'ils n'ont pas utilisé la bonne action du préactionneur. L'apprenant GEC6 infère que leur GRAFCET bloque du fait de l'oublie d'une condition de transition. Nous avons en autoconfrontation et implicitement durant la manipulation pour GEA1 : « *Le GRAFCET n'évolue pas, nous n'avons pas pris la bonne action du préactionneur 1V1* », c'est-à-dire nous n'avons pas écrit dans le bon ordre le symbole du préactionneur 1V1 ; pour GEC6 : « « *L'étape 4 est OK mais l'étape 5 ne s'active pas. Là nous devons vérifier les réceptivités.* », ce qui revient à dire que nous avons commis une erreur, dans l'ordre d'exécution des actions.

Tableau 288 : Exemples de verbalisation suite au test de construction du schéma du circuit de la scie

Protagoniste	Verbalisation en situations	Verbalisation en autoconfrontation
GEF12	- « *testons si le vérin 1A sort.* » - « *yes, ça donne, sa tige sort.* » - « *Evoluons.* »	« *La tige du vérin 1A sort, nous l'avons bien câblé. Nous pouvons continuer notre câblage.* »
GEJ19	- « *Essayons pour voir si le moteur tourne.* » « *Gars, nous avons réussie.* » - « *on peut continuer.* »	« *Le moteur tourne, le câblage est bon. Nous pouvons poursuivre avec notre dessin* »

Dans les exemples ci-dessus, les mouvements attendus des actionneurs sont obtenus, les schémas de ces portions de circuit ont été correctement réalisés. Ces vérifications rendent compte du type d'inférences des élèves. L'élève GEF12 infère que le mouvement du vérin est celui espéré. L'apprenant GEJ19 infère que leur schéma est bien tracé parce que le moteur de la scie tourne. Nous avons en autoconfrontation et implicitement durant la manipulation pour GEF12 : « *La tige du vérin 1A sort, nous l'avons bien câblé. Nous pouvons continuer notre câblage* », c'est-à-dire nous avons choisi le bon actionneur 1A et nous l'avons parfaitement câblé ; pour GEJ19 : « *Le moteur tourne, le câblage est bon. Nous pouvons poursuivre avec notre dessin* », ce qui revient à dire que nous n'avons pas commis d'erreur sur la matérialisation de ce composant.

b) Règles liées au GRAFCET et norme ISO 1219

Les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219 sont utilisées pour faire des inférences sur la qualité du travail exécuté par les apprenants en situation de simulation.
Les mises en valeur des règles liées au GRAFCET passent par l'utilisation de deux outils que sont la syntaxe du GRAFCET et la forme du GRAFCET. Pour certains élèves, la syntaxe du GRAFCET et la forme du GRAFCET sont utilisées pour éviter les erreurs d'analyse et les erreurs d'écriture. L'objectif de l'élève est de prendre des informations

sur l'enchaînement des actions ; ce qui lui permet de faire l'inférence qu'il y a enchaînement des tâches ou pas.

Le dernier instrument produit par l'élève comprend la norme ISO 1219 et le schème d'usage symbolisation. La symbolisation est utilisée pour obtenir des informations sur l'état de la fonction du composant et sur l'enchaînement des actions, ce qui lui permet de faire l'inférence que la technologie du composant utilisé est conforme ou pas.

Les exemples de verbalisation présentés tableau 29 et tableau 30 attestent de ce type d'inférences.

Tableau 29 : Exemples de verbalisation suite à la mise en valeur des règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219 lors de la construction du GRAFCET

Protagoniste	Verbalisation en situations	Verbalisation en autoconfrontation
GED7	- « *Hé, là tu as oublié la transition.* » - « *Ça ne va pas donne pas.* » - « *il faut une transition.* »	« *Mon camarade à cet endroit n'a pas respecté la règle étape-transition. Le GRAFCET n'est pas bon.* »
GCO30	« *Ça va ndem, tu n'as pas utilisé le bon code.* » « *C'est le capteur 1S2 et non le distributeur 2V1.* »	« *Il a confondu le code du distributeur avec celui du capteur. Le GRAFCET ne peut pas donner.* »

Dans les exemples ci-dessus, le GRAFCET ne pourra pas évoluer, il va bloquer à une transition. Ces vérifications rendent compte du type d'inférences des élèves. L'élève GED7 infère que le GRAFCET ne pourra pas marcher parce qu'ils n'ont pas respecté la règle de syntaxe qui stipule qu'il faut respecter l'alternance étape-transition et transition-étape. L'apprenant GCO30 infère que leur GRAFCET n'est pas bon du fait de l'utilisation d'un mauvais code. Nous avons en autoconfrontation et implicitement durant la manipulation pour GED7 : « *Mon camarade à cet endroit n'a pas respecté la règle étape-transition. Le GRAFCET n'est pas bon.* », c'est-à-dire nous avons commis des erreurs de syntaxe ; pour GCO30 : « *Il a confondu le code du distributeur avec celui du capteur. Le*

GRAFCET ne peut pas donner. », ce qui revient à dire que nous avons commis une erreur, de codification des composants.

Tableau 30 : Exemples de verbalisation suite à la mise en valeur de la norme ISO 1219 lors de construction du schéma du circuit de la scie

Protagoniste	Verbalisation en situations	Verbalisation en autoconfrontation
GEC5	« *Regarde, tu as un simple effet.* » « *Il nous faut un distributeur 3/2 pour l'alimenter.* »	« *Ce vérin est un vérin simple, dont pour le piloter il faut un distributeur 3 orifice et deux positions.* »
GEE10	« *C'est bon, la sortie 4 de 3V1 est raccordé à l'orifice du fond de 3A.* » « *Là tu raccordes la sortie 2 du même 3V1 à l'orifice de la tige de 3A.* »	« *Le câblage du premier orifice du vérin 3A est bon. Nous pouvons poursuivre avec le câblage du deuxième orifice du vérin 3A.* »

Dans les exemples ci-dessus, les schémas des portions de circuit sont correctement réalisés. Ces vérifications rendent compte du type d'inférences des élèves. L'élève GEC5 infère sur le type de composant à utiliser en s'appuyant sur le symbole graphique. L'apprenant GEE10 infère que leur schéma est bien tracé parce que le vérin est bien raccordé au préactionneur associé. Nous avons en autoconfrontation et implicitement durant la manipulation pour GEC5 : « *Ce vérin est un vérin simple, dont pour le piloter il faut un distributeur 3 orifice et deux positions.* », c'est-à-dire puisque nous sommes en présence d'un actionneur simple effet, il nous faut un distributeur 3 orifices et 2 positions pour le commander ; pour GEE10 : « *Le câblage du premier orifice du vérin 3A est bon. Nous pouvons poursuivre avec le câblage du deuxième orifice du vérin 3A.* », ce qui revient à dire que nous n'avons pas commis d'erreur sur la matérialisation de ces deux composants et le codage du vérin et de son préactionneur associé est conforme.

L'utilisation du bouton poussoir « test », la mise en œuvre des règles liées au GRAFCET et à la norme ISO 1219 rendent compte de la mobilisation des concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants.

5.2.4. Le système d'instruments en situation de simulation

Pour la modélisation par simulation de l'automatisation de la scie, les apprenants disposent - ils d'un système d'instrument ? Sous quelle forme se présente-t-il ?

Nous nous intéressons aux stratégies déployées par les élèves en phase de simulation. Les activités qui nous intéressent concernent le déploiement de l'outil GRAFCET, traduction de la partie commande (PC) et du câblage des composants, traduction de la partie opérative (PO) de l'automatisme sur la base du cahier de charge harmonisé disponible à l'annexe N° 02, page 251. Ledit cahier de charge harmonié est constitué du GRAFCET point de vue système, de la matérialisation des actions et des spécifications technologiques de la scie pour profilé d'aluminium.

Nous avons relevé plus haut que le schème de séquencement des actions et le schème de matérialisation technologique sont des schèmes d'action multi-instrumentées. Les instruments de ces schèmes étant le bouton poussoir « test », les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle le bouton poussoir « test », les règles, les normes peuvent être analysées en termes de système d'instrument des acteurs.

5.2.4.1. Comment reconnaitre un système d'instrument ?

Rabardel (1995, 1999), Minguy (1995) in Zanarelli (2003), Minguy (1997) in Vidal-Gomel (2001), Vidal-Gomel (op. cit.) et Zanarelli (op. cit.) nous révèlent que « *les instruments ne sont pas isolés, ils peuvent former des systèmes* ». L'ensemble des instruments dont dispose l'acteur est défini comme système d'instruments (Vidal-Gomel, 2001).

Rabardel (1999), Vidal-Gomel (2001) et Zanarelli (2003) ont relevé que lorsque les instruments se regroupent en systèmes, ils ont pour caractéristique la complémentarité et la redondance des fonctions.

Notre analyse fine des activités liées à l'élaboration du GRAFCET du point de vue partie commande et à la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative en situation de simulation va s'intéresser à la mise en évidence de la redondance des fonctions et la

complémentarité des instruments que sont le bouton poussoir « test », les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219.

5.2.4.2. Cas de notre situation de simulation

Nous avons mis en évidence plus haut que le schème de séquencement des actions et le schème de matérialisation technologique sont des schèmes d'action multi-instrumentées. Les instruments de ces schèmes étant le bouton poussoir « test », les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219.

Nous nous intéressons aux systèmes d'instruments que les élèves ont constitués pour modéliser l'amélioration ou la modification de la scie pour profilé d'aluminium par automatisation de son fonctionnement. La modélisation est obtenue grâce à la construction du GRAFCET point de vue partie commande et la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative de la scie pour profilé d'aluminium.

Pour ce faire, nous allons mettre en relation les instruments utilisés pour construire le GRAFCET point de vue partie commande et la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative et les fonctions qui leurs sont attribuées par les apprenants.

Pour la construction du GRAFCET point de vue système, nous avons observé une organisation invariante de l'activité (étape – transition – liaisons orientées) ce qui nous a emmené à inférer l'existence d'un schème de séquencement des actions. Ledit schème de séquencement des actions permet de constituer 3 instruments. Ces instruments sont le bouton poussoir « test », les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219 dans sa deuxième partie.

En ce qui concerne la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative, nous avons mis en évidence un invariant de l'activité (identification – dessin – codage) à partir duquel nous avons inféré l'existence d'un schème de matérialisation technologique. Ce schème de matérialisation technologique est constitué de 02 instruments. Lesdits instruments sont le bouton poussoir « test » et la norme ISO 1219 dans ses parties 1 et 2.

A la manière de Vidal- Gomel (2001) repris par Zanarelli (2003), nous présentons dans le tableau N° 31, les fonctions des instruments des élèves.

Tableau 31 : Fonctions des instruments des élèves

Les instruments	Les fonctions
Utilisation du bouton poussoir « test »	• Sélection d'une portion du projet en cours de construction. • Calcul et résolution de la partie sélectionnée. • Identification : – des erreurs dans l'ordre d'exécution des actions (visualisation dynamique du projet). – des erreurs dues à l'écriture symbolique (comportement et animation adaptée des symboles).
Utilisation des règles liées au GRAFCET	• Sélection d'une portion du projet en cours de construction. • Calcul et résolution de la partie sélectionnée. • Identification : – des erreurs dans l'ordre d'exécution des actions (respect de l'alternance étape-transition et transition-étape). – des erreurs dues à l'écriture symbolique (codification des éléments du GRAFCET et des composants).
Utilisation de la norme ISO 1219	• Sélection d'une portion du projet en cours de construction. • Calcul et résolution de la partie sélectionnée. • Identification : – des erreurs dans l'ordre d'exécution des actions (matérialisation des composants). – des erreurs dues à l'écriture symbolique (codification des composants).

Le tableau 30 nous renseigne sur la redondance et la complémentarité des fonctions des instruments utilisés par les élèves pour construire le GRAFCET point de vue partie opérative et pour réaliser le schéma du circuit de la partie opérative de la scie pour profilé d'aluminium.

La construction du GRAFCET peut être réalisée avec tous les instruments, nous interprétons cet emploi en termes de **redondance** des fonctions entre les instruments.

La réalisation du schéma du circuit de la partie opérative ne peut être exécuté que par 02 instruments (bouton poussoir « test » et norme ISO 1219). Mais il convient de relever que le logiciel de simulation permet de faire le lien entre le GRAFCET du point de vue partie commande et le schéma du circuit de la partie opérative. La simulation permet d'associer à la visualisation dynamique du projet (GRAFCET) le comportement et animation adaptée des symboles (schéma du circuit de la partie opérative). Les élèves utilisent indifféremment ces instruments pour identifier des erreurs dans l'ordre d'exécution des actions et des erreurs dues à l'écriture symbolique toute la durée de leur construction. Cette indifférence dans l'utilisation des instruments traduit la **complémentarité** des fonctions des instruments des apprenants.

Redondance et complémentarité des fonctions sont les caractéristiques des systèmes d'instruments Rabardel (1999), Vidal-Gomel (2001) et Zanarelli (2003), nous pouvons affirmer que les élèves disposent d'un système d'instruments pour construire le GRAFCET point de vue partie opérative et pour réaliser le schéma du circuit de la partie opérative de la scie pour profilé d'aluminium. Ce système d'instruments est articulé aux concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants.

5.3. SYNTHESE DU CHAPITRE 5

Le présent chapitre nous a permis d'analyser finement et interprété le corpus des données obtenu après l'expérimentation selon deux directions en référence aux hypothèses **H1** et **H2** que nous avons formulées. Il a s'agit des représentations pour l'action d'automatisation en ce qui concerne la première direction d'interprétation. La seconde direction a concerné la mise en relief des organisateurs de l'activité et du système d'instruments mobilisé en situation de simulation.

Pour la première direction, l'interprétation des résultats montre que les apprenants disposent d'un système de diagnostic pour la situation d'automatisation de la scie. Les prises d'information sur les fonctions principales, les contraintes et les fonctions secondaires ont permis à nos acteurs de sélectionner les différentes fonctions à remplir par la scie. Car la mécanisation et l'automatisation de la machine ont pour support constructif, les fonctions à remplir. En tenant compte principalement des spécifications fonctionnelles,

les apprenants se représentent l'exécution dans le bon ordre de toutes les opérations mécaniques en posant un diagnostic sur l'état des actionneurs. Les concepts pragmatiques de « enchaînement des tâches » et de « technologie des composants » sont les deux outils utilisés par les apprenants pour poser un diagnostic sur la mécanisation, sur l'automatisation de la scie, sur l'état du processus, c'est-à-dire la séquence des actionneurs. La caractérisation des contraintes d'antériorité de la scie est permise par le concept pragmatique de « enchaînement des tâches », tandis que le concept pragmatique « technologie des composants » permet la caractérisation des options technologiques.

L'interprétation des résultats montrent que pour la seconde direction, les apprenants disposent d'une organisation invariante et d'un système d'instrument. Nous avons identifié deux schèmes d'action multi-instrumentées utilisés par nos élèves pour construire le GRAFCET et pour réaliser le schéma de câblage de la partie opérative. Les schèmes comprennent le schème de séquencement des actions et le schème de matérialisation technologique. Les instruments sont constitués des règles liées au GRAFCET, de la norme ISO 1219 et du bouton poussoir « test ». Ces instruments sont révélateurs de la mise en œuvre des concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants. Redondance et complémentarité des fonctions sont les caractéristiques des systèmes d'instruments. Nous pouvons affirmer que les élèves disposent d'un système d'instruments pour construire le GRAFCET point de vue partie opérative et pour réaliser le schéma du circuit de la partie opérative de la scie pour profilé d'aluminium. Ce système d'instruments est articulé aux concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants.

CHAPITRE 6 : EFFETS DE LA POSITION RESPECTIVE DE LA SIMULATION ET DE LA FORMATION TRADITIONNELLE

Dans ce chapitre, nous poursuivons avec l'objectif annoncé au début du chapitre 5. Pour mémoire, il est question de donner tout son sens aux corpus des données présentés au chapitre 4. Cela se traduit concrètement par la proposition des relations plausibles, probables et significatives entre les données afin d'élaborer des hypothèses qu'il s'agira de vérifier lors d'études ultérieures.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons au comportement et au performance de notre population dépendamment du groupe d'appartenance. Les données que nous exploitons pour mieux comprendre l'effet de la simulation par rapport à la formation traditionnelle en termes de position « optimale » dans le déroulement de l'apprentissage proviennent de l'action (individuelle), de l'activité (collective et sociale) et des scores des élèves selon leur groupe lors de l'expérimentation. Le corpus des données obtenu après l'expérimentation est analysé finement et interprété en référence à l'hypothèses **H3** que nous avons formulée. Nous avons énoncé l'hypothèse suivante : **« H3.** La simulation améliore l'apprentissage et la performance des apprenants pour l'acquisition de la compétence « améliorer ou modifier un bien » au-delà des formes traditionnelles d'instruction ».

6.1. RAPPELS DE LA CONFIGURATIONS DES SCORES ET DU DOSSIER ELEVE

6.1.1. Evolution des scores selon les dispositifs de mise en œuvre

Le tableau N° 32 montre que les gains/pertes (en nombre de points obtenus) sont contrastés lors du passage d'une situation de formation à une autre, dépendamment des groupes et du programme de passation (préparation à simulation et simulation à formation traditionnelle pour le groupe GE ; préparation à formation traditionnelle et formation traditionnelle à simulation pour le groupe GC). Il y a eu une évolution de la performance au score dans le groupe GE lorsqu'on part de la préparation pour la formation traditionnelle en passant par la simulation, tandis que dans le groupe GC, il y a eu une

dégradation de la performance au score des élèves du passage de la préparation à la formation traditionnelle et une légère évolution lorsqu'on passe de la formation traditionnelle à la simulation. Il apparaît donc une forte amélioration de la performance dans le groupe GE.

Tableau 32 : Gains ou pertes obtenus aux différents travaux par groupe et selon le programme de passation

GROUPE « SIMULATION-TRADITIONNELLE » (GE)											
Effectif = 20											
Configuration des scores						**Gains ou pertes**					
Préparation		**Simulation**		**Formation Traditionnelle**		**Préparation à Simulation**		**Simulation à Traditionnelle**		**Préparation à Traditionnelle**	
Score/20	Nombres d'élèves	Score/20	Nombres d'élèves	Score/20	Nombres d'élèves	Valeurs	Nombres d'élève	Valeurs	Nombres d'élève	Valeurs	Nombres d'élève
17	14	17	06	18	08	00	12	00	02	01	14
18	06	18	14	19	12	01	08	01	18	02	06

GROUPE « TRADITIONNELLE - SIMULATION » (GC)											
Effectif = 16											
Configuration des scores						**Gains ou pertes**					
Préparation		**Formation Traditionnelle**		**Simulation**		**Préparation à Traditionnelle**		**Traditionnelle à Simulation**		**Préparation à Simulation**	
Score/20	Nombres d'élèves	Score/20	Nombres d'élèves	Score/20	Nombres d'élèves	Valeurs	Nombres d'élève	Valeurs	Nombres d'élève	Valeurs	Nombres d'élève
17	10	16	06	17	12	0	06	00	06	-01	06
18	06	17	10	18	04	-01	08	01	10	00	06
						-02	02			01	04

6.1.2. Configuration des notes globales du TP selon les dispositifs de mise en œuvre

Pour mémoire, le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la simulation et clôturée par la formation traditionnelle) a été mise en œuvre par le groupe « simulation-traditionnelle » (GE). Tandis que le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation traditionnelle et clôturée par la simulation) a été mise en œuvre par le groupe « traditionnelle - simulation » (GC). Or les deux dispositifs ont servi à réaliser le même TP mais dans des modalités différentes. Nous rappelons que l'expérimentation c'est déroulé en situation réelle. Bien

que l'enseignant ait évalué les travaux par situation de formation, à la fin c'est la note globale relative au TP proposé qu'il porte dans le carnet des notes des élèves. Pour le cas d'espèce, la note globale du TP est la moyenne des scores obtenue en préparation, simulation et formation traditionnelle. Le tableau N° 33 récapitule les notes globales du TP sur 20 obtenues par chaque élève et pour chaque dispositif.

Tableau 33 : Récapitulatif des notes globales du TP sur 20 pour chaque dispositif

Groupe GE				
Apprenant	Préparation_GE	Simulation_GE	Traditionnelle_GE	Dispositif N°01
GEA1	17	18	19	18,00
GEA2	17	18	19	18,00
GEB3	17	17	18	17,33
GEB4	17	17	18	17,33
GEC5	18	18	19	18,33
GEC6	18	18	19	18,33
GED7	17	18	19	18,00
GED8	17	18	19	18,00
GEE9	18	18	19	18,33
GEE10	18	18	19	18,33
GEF11	18	18	19	18,33
GEF12	18	18	19	18,33
GEG13	17	18	18	17,67
GEG14	17	18	18	17,67
GEH15	17	17	18	17,33
GEH16	17	17	18	17,33
GEI17	17	17	18	17,33
GEI18	17	17	18	17,33
GEJ19	17	18	19	18,00
GEJ20	17	18	19	18,00

Groupe GC				
Apprenant	Préparation_GC	Traditionnelle_GC	Simulation_GC	Dispositif N°02
GCK21	17	17	18	17,33
GCK22	17	17	18	17,33
GCL23	18	17	17	17,33
GCL24	18	17	17	17,33
GCM25	18	17	17	17,33
GCM26	18	17	17	17,33
GCN27	17	16	17	16,67
GCN28	17	16	17	16,67
GCO29	17	16	17	16,67
GCO30	17	16	17	16,67
GCP31	18	16	17	17,00
GCP32	18	16	17	17,00
GCQ33	17	17	18	17,33
GCQ34	17	17	18	17,33
GCR35	17	17	17	17,00
GCR36	17	17	17	17,00

6.1.3. Configuration des données issus du dossier élève.

Les résultats de l'exploitation du dossier élève ont montré que le seul genre en présence dans notre population est le sexe masculin.

La rubrique « autres » nous a servi à approcher nos 06 élèves internes qui ont déclaré que la salle multimédia de leur lycée est disponible en dehors des heures de cours.

Les rubriques du dossier élèvent qui reste sont l'âge, l'ancienneté dans la classe (redoublant ou non), l'internat, l'outil informatique personnel et de l'établissement. Ces

rubriques se présentent sous la forme des chiffres pour l'âge et des « oui » et « non » pour le reste des items du dossier élève.

Le tableau 34 résume les données sur lesquels seront appliquées les tests de significativité.

Tableau 34 : Données pour test de significativité

Groupe GE						
Apprenant	Dispositif N° 01	âge	Redoublant	Interne	Ordinateur_P	Salle _MM
GEA1	18,00	16	non	oui	oui	oui
GEA2	18,00	17	non	non	non	non
GEB3	17,33	17	non	oui	oui	oui
GEB4	17,33	17	non	non	non	non
GEC5	18,33	17	non	oui	oui	oui
GEC6	18,33	17	non	non	non	non
GED7	18,00	17	non	non	oui	non
GED8	18,00	17	non	non	non	non
GEE9	18,33	17	non	non	oui	non
GEE10	18,33	17	non	non	non	non
GEF11	18,33	16	non	non	oui	non
GEF12	18,33	16	non	non	non	non
GEG13	17,67	16	non	non	oui	non
GEG14	17,67	17	non	non	non	non
GEH15	17,33	17	non	non	oui	non
GEH16	17,33	17	non	non	non	non
GEI17	17,33	17	non	non	oui	non
GEI18	17,33	17	non	non	non	non
GEJ19	18,00	17	non	oui	oui	oui
GEJ20	18,00	17	non	non	non	non

Groupe GC						
Apprenant	Dispositif N° 02	âge	Redoublant	Interne	Ordinateur_P	Salle _MM
GCK21	17,33	17	non	oui	oui	oui
GCK22	17,33	17	non	non	non	non
GCL23	17,33	19	Oui	non	oui	non
GCL24	17,33	19	Oui	non	non	non
GCM25	17,33	18	Oui	non	oui	non
GCM26	17,33	19	Oui	non	non	non
GCN27	16,67	17	non	non	oui	non
GCN28	16,67	17	non	non	non	non
GCO29	16,67	17	non	non	oui	non
GCO30	16,67	17	non	non	non	non
GCP31	17,00	18	oui	non	oui	non
GCP32	17,00	19	oui	non	non	non
GCQ33	17,33	17	non	oui	oui	oui
GCQ34	17,33	17	non	non	non	non
GCR35	17,00	18	non	non	oui	non
GCR36	17,00	18	non	non	non	non

6.2. CONDUITE DES TRAITEMENTS STATISTIQUES DEPENDAMMENT DES DISPOSITIFS

En fin de chapitre 4 (page 131), il a été relevé que les scores de chaque situation de formation selon le groupe et le programme de passation ne suivent pas une loi de Laplace Gauss. Il en découle que les conditions de validité associées aux tests paramétriques pour nos scores ne sont pas vérifiées. Pour ces scores, le corolaire dû aux résultats des tests de normalité est que les seuls tests statistiques qui peuvent être utilisés sont les tests non-paramétriques. Les différents tests statistiques sont réalisés dans Excel avec XLSTAT.

6.2.1. Dispositif N° 01 : préparation puis simulation enfin formation traditionnelle

Le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la simulation et clôturée par la formation traditionnelle) a été mise en œuvre par le groupe « simulation-traditionnelle » (GE). Or le tableau N° 32 nous indique que pour ce groupe GE, il y a eu évolution de la performance. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques quelle que soit la situation de formation à l'intérieur du dispositif.

Nous sommes en présence de deux séries de mesures quantitatives effectuées sur deux échantillons appariés c'est-à-dire composés des mêmes élèves du même groupe GE. Or lesdites séries de mesures quantitatives ne suivent pas une loi de Laplace Gauss, les tests statiques utilisés sont donc ceux de Wilcoxon signé (test non paramétrique de t Student pour échantillons dépendants).

Le tableau N° 35 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires de situation de formation du dispositif N° 01.

Nous soulignons aussi que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

Tableau 35 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires des situation de formation du dispositif N° 01

DISPOSITIF N° 01			
Modalité	Préparation à Simulation	Simulation à Traditionnelle	Préparation à Traditionnelle
V	0	0	0
V (normalisé)	-2,828	-4,243	-4,099
Espérance	18,000	85,500	105,000
Variance (V)	40,500	406,125	656,250
p-value (bilatérale)	0,005	< 0,0001	< 0,0001
alpha	0,05	0,05	0,05

L’annexe N° 21, page 283 donne les résultats des test appliquées à l’évolution des scores obtenus pour le groupe GE dépendamment des paires de situation de formation.

6.2.1.1. Préparation à simulation du groupe GE

Le tableau N° 32 montre que 12 élèves n’ont pas changé de note, et 08 élèves ont vu leur score augmenté d’un point.

Le test de Wilcoxon des rangs signés appliqué à la modalité « préparation à simulation » donne $p = 0,006$ avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,006) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l’hypothèse selon laquelle les scores sont identiques en préparation et en simulation pour le groupe GE, et retenir l'hypothèse alternative, c’est-à-dire qu’il y a une augmentation des scores de la préparation à la simulation pour le groupe GE. Le test statistique confirme le fait que les scores ont évolué positivement de la préparation à la simulation dans le groupe GE.

6.2.1.2. Simulation à formation traditionnelle du groupe GE

Le tableau N° 32 montre que 02 élèves n’ont pas changé de note et 18 élèves ont vu leur score augmenté d’un point.

Le test de Wilcoxon des rangs signés appliqué à la modalité « simulation à formation traditionnelle » donne $p < 0,0001$ avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (< 0,0001) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l’hypothèse selon laquelle les scores sont identiques en simulation et en formation traditionnelle pour le groupe GE, et retenir l'hypothèse alternative, c’est-à-dire qu’il y a un accroissement des scores de la simulation à la formation traditionnelle pour le groupe GE. Le test statistique confirme que nous avons une évolution positive des scores de la simulation à la formation traditionnelle dans le groupe GE.

6.2.1.3. Préparation à formation traditionnelle du groupe GE

Le tableau N° 32 montre que 14 élèves ont vu leur score augmenté d'un point et 06 élèves de deux points.

Le test de Wilcoxon des rangs signés appliqué à la modalité « préparation à formation traditionnelle » donne $p < 0,0001$ avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (< 0,0001) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques en préparation et en formation traditionnelle pour le groupe GE, et retenir l'hypothèse alternative, c'est-à-dire que les scores ont augmentés de la préparation à la formation traditionnelle pour le groupe GE. Nous avons un accroissement d'au moins un point des scores de la préparation à la formation traditionnelle.

6.2.2. Dispositif N° 02 : préparation puis formation traditionnelle enfin simulation

Le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation traditionnelle et clôturée par la simulation) a été mise en œuvre par le groupe « traditionnelle - simulation » (GC). Or le tableau N° 32 nous indique que pour ce groupe GC, il y a eu une dégradation puis une évolution de la performance. Nous formulons aussi pour ce dispositif N° 02 l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques quelle que soit la situation de formation interne au dispositif.

Nous sommes en présence de deux séries de mesures quantitatives effectuées sur deux échantillons appariés c'est-à-dire composé des mêmes élèves du même groupe GC. Or lesdites séries de mesures quantitatives ne suivent pas une loi de Laplace Gauss, les tests statiques utilisés sont donc ceux de Wilcoxon signé (test non paramétrique de t Student pour échantillons dépendants).

Le tableau N° 36 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires des situation de formation du dispositif N° 02.

Nous signalons de même que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

Tableau 36 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires des situation de formation du dispositif N° 02

DISPOSITIF N° 02			
Modalité	Préparation à Traditionnelle	Traditionnelle à Simulation	Préparation à Simulation
V	55	0	33
V (normalisé)	2,972	-3,162	0,632
Espérance	27,500	27,500	27,500
Variance (V)	85,625	75,625	75,625
p-value (bilatérale)	0,003	0,002	0,527
alpha	0,05	0,05	0,05

L'annexe N° 22, page 292 donne les résultats des test appliquées à l'évolution des scores obtenus pour le groupe GC suivant les différentes paires de situation de formation.

6.2.2.1. Préparation à formation traditionnelle du groupe GC

Le tableau N° 32 montre que 06 élèves n'ont pas changé de note, 08 élèves ont vu leur score diminué d'un point et 02 élèves ont plutôt perdu deux points.

Le test de Wilcoxon des rangs signés appliqué à la modalité « préparation à formation traditionnelle » donne p = 0,003 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,003) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques en préparation et en formation traditionnelle pour le groupe GC, et retenir l'hypothèse alternative, c'est-à-dire qu'il y a une différence entre les scores en préparation et en formation traditionnelle pour le groupe GC. Le test statistique confirme le fait que les scores ont régressé de la préparation à la formation traditionnelle dans le groupe GC.

6.2.2.2. Formation traditionnelle à simulation du groupe GC

Le tableau N° 32 montre que 06 élèves n'ont pas changé de note et 10 élèves ont vu leur score augmenté d'un point.
Le test de Wilcoxon des rangs signés appliqué à la modalité « formation traditionnelle à simulation » donne p = 0,002 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,002) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques en formation traditionnelle et en simulation pour le groupe GC, et retenir l'hypothèse alternative, c'est-à-dire qu'il y a une différence entre les scores en formation traditionnelle et en simulation pour le groupe GC. Le test statistique confirme que les scores ont évolué positivement de la formation traditionnelle à la simulation dans le groupe GC.

6.2.2.3. Préparation à simulation du groupe GC

Le tableau N° 32 montre que 06 élèves ont perdu un point, 06 élèves n'ont pas changé de note et 04 élèves ont vu leur score augmenté d'un point.
Le test de Wilcoxon des rangs signés appliqué à la modalité « préparation à simulation » donne p = 0,527 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,527) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques en préparation et en simulation pour le groupe GC. Le test statistique confirme que les scores ont stagné de la préparation à la simulation dans le groupe GC.

6.2.3. Comparaison du dispositif N° 01 au dispositif N° 02

Nous rappelons que l'expérimentation c'est déroulé en situation réelle. Bien que l'enseignant ait évalué les travaux par situation de formation, à la fin c'est la note globale relative au TP proposé qu'il porte dans le carnet des notes des élèves. Pour le cas d'espèce, la note globale du TP est la moyenne des scores obtenue en préparation, simulation et

formation traditionnelle. Pour conduire la comparaison entre les deux dispositifs, nous avons utilisé les notes globales du TP obtenues par chaque élève.

6.2.3.1. Cas du dispositif N° 02 avec les redoublants

Pour conduire nos tests statistiques, nous formulons l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques entre les dispositifs.

Nous sommes en présence de deux séries de mesures quantitatives effectuées sur deux échantillons indépendants c'est-à-dire composé des élèves du groupe GE et du groupe GC soumis au même TP mais dans des modalités différentes. Or lesdites séries de mesures quantitatives ne suivent pas une loi de Laplace Gauss, les tests statiques utilisés sont donc ceux de Mann-Whitney (test non paramétrique de t Student pour échantillon indépendant).

Le tableau N° 37 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à la comparaison des scores du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02.

Nous soulignons également que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

Tableau 377 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à la comparaison des scores du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02

U	296
U (normalisé)	0,000
Espérance	160,000
Variance (U)	917,333
p-value (bilatérale)	<0,0001
alpha	0,050

L'annexe N° 23.01, page 301 donne les résultats des test appliquées à la comparaison des dispositifs N°01 et N° 02.

Le test de Mann-Whitney appliqué aux dispositifs N° 01 et N° 02 donne $p < 0,0001$ avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (< 0,0001) qui est inférieure au

niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques dans les deux dispositifs, et retenir l'hypothèse alternative, c'est-à-dire qu'il y a une différence entre les scores dans les deux dispositifs. Le test statistique confirme que le dispositif N° 01 a produit des meilleurs résultats que le dispositif N° 02.

6.2.3.2. Cas du dispositif N° 02 sans les redoublants

L'exploitation du dossier élève (tableau N° 34, page 176) et le tableau N° 24, page 127 nous a révèle que la mauvaise performance dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) était le fait des élèves qui reprennent la classe, car ils avaient tous des pertes d'un point chacun au niveau des sommes des points engrangés. Cela nous a emmené à regarder ce que la comparaison du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 sans les redoublants va nous donner comme résultats.

Nous sommes une fois de plus en présence de deux séries de mesures quantitatives effectuées sur deux échantillons indépendants c'est-à-dire composé des élèves du groupe GE et du groupe GC (sans les redoublants) soumis au même TP mais dans des modalités différentes. Or lesdites séries de mesures quantitatives ne suivent pas une loi de Laplace Gauss, les tests statiques utilisés sont donc ceux de Mann-Whitney (test non paramétrique de t Student pour échantillon indépendant).

Le tableau N° 38 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à la comparaison des scores du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 sans les redoublants.

Nous signalons également que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

Tableau 38 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à la comparaison des scores du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 sans les redoublants

U	188
U (normalisé)	0,000
Espérance	100,000
Variance (U)	488,276
p-value (bilatérale)	<0,0001
alpha	0,050

L'annexe N° 23.02, page 302 donne les résultats des test appliquées à la comparaison du dispositif N°01 et dispositif N° 02 sans les redoublants.

Le test de Mann-Whitney appliqué aux dispositif N° 01 et dispositif N° 02 sans les redoublants donne $p < 0,0001$ avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (< 0,0001) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques dans les deux dispositifs, et retenir l'hypothèse alternative, c'est-à-dire qu'il y a une différence entre les scores dans les deux dispositifs. Une fois de plus, le test statistique confirme que le dispositif N° 01 a produit des meilleurs résultats que le dispositif N° 02 sans la présence des redoublants. Or comme nous l'avons relevé plus haut, ce sont les redoublant qui ont tous des pertes d'un point chacun au niveau des sommes des points engrangés dans le dispositif N° 02.

6.3. CONDUITE DES TRAITEMENTS STATISTIQUES RELATIFS A L'INFLUENCE DU DOSSIER ELEVE SUR LES DISPOSITIFS

Nous cherchons à savoir si les données (âge, ancienneté dans la classe, lieu d'habitation, outil informatique) issus du dossier élève influence significativement les scores obtenus lors de ce TP. L'expérimentation c'est déroulé en situation réelle. Comme nous l'avons signalé plus haut, c'est la note globale (moyenne des scores obtenus en préparation, simulation et formation traditionnelle) relative au TP proposé que l'enseignant porte dans le carnet des notes des élèves. Pour conduire la rechercher de l'influence due au dossier élève sur les dispositifs mis en place, nous avons utilisé les notes globales du TP obtenues par chaque élève.

6.3.1. Préparation des données

Les résultats de l'exploitation du dossier élève ont montré que le seul genre en présence dans notre population est le sexe masculin. Il n'est donc pas nécessaire de chercher à savoir si le genre à une influence sur les scores de nos élèves.

La rubrique « autres » nous a servi à approcher nos 06 élèves internes qui ont déclaré que la salle multimédia de leur lycée est disponible en dehors des heures de cours. Cette rubrique ne sera pas prise en compte dans le test de significativité.

Les rubriques de l'exploitation du dossier élèvent qui nous intéresse sont l'âge, l'ancienneté dans la classe (redoublant ou non), l'internat, l'outil informatique personnel et de l'établissement. Ces rubriques se présentent sous la forme des chiffres pour l'âge et des « oui » et « non » pour le reste des items du dossier élève (tableau 34, page 176).

6.3.2. Influence de l'âge sur les dispositifs

Nous sommes en présence de deux séries de mesures quantitatives (scores et âges) effectuées sur un échantillon (tous les élèves). Notre test porte sur la corrélation entre les scores (dispositifs) et l'âge. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre les scores (dispositifs) et l'âge. Or lesdites séries de mesures quantitatives ne suivent pas une loi de Laplace Gauss, le test statique utilisé est le test de corrélation de Sperman (test non paramétrique du test de corrélation de Pearson).
L'annexe N° 24.01, page 304 donne les résultats de l'analyse de la caractérisation de l'association entre l'âge et les différents dispositifs.

6.3.2.1. Choix du coefficient de corrélation

Nous désignons par r le coefficient de corrélation de Spearman.

a) Qualification des relations

Nous utilisons les balises de Cohen (1988), renouvelés par Ellis (2010) et Kline (2013) et exploité par Guay (2018). Les balises de Cohen (1988) sont mises en œuvre pour qualifier nos différentes relations entre les scores (dispositifs) et l'âge. Le tableau N° 39 donne les balises de Cohen (1988).

Tableau 39 : Balises de Cohen (1988)

Taille d'effet	Corrélation	Négative	Positive
Effet de petite taille	Faible	de -0,30 et -0,10	de 0,10 et 0,30
Effet de taille moyenne	Moyenne	de -0,50 à -0,30	de 0,30 à 0,50
Effet de grande taille	Forte	de −1,0 à − 0,5	de 0,5 à 1,0

Lorsque le coefficient de corrélation est égal à zéro, cela revient à dire qu'il n'y a pas de relation statistique entre les deux variables.

b) Matrice de corrélation

La matrice de corrélation est un tableau croisé entre les scores (dispositif) et l'âge. La corrélation est une mesure symétrique, ce qui fait que nous avons le même coefficient que l'on lise la matrice selon les lignes ou selon les colonnes.

6.3.2.2. Influence de l'âge sur le dispositif N° 01

Le tableau 40 donne la matrice de corrélation de Spearman relative à la caractérisation de l'influence de l'âge sur le dispositif N° 01.

Tableau 40 : Matrice de corrélation de Spearman dispositif N° 01 vs âge

Variables	Dispositif N° 01	Âge
Dispositif N° 01	**1**	-0,271
Âge	-0,271	**1**
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05		

Pour p = 0,247 avec un intervalle de confiance à 95%, nous avons r = **-0,271** (r = valeur du coefficient de corrélation).

Nous avons un coefficient négatif, ce qui revient à dire que plus l'âge est élevé, plus le score diminue. L'effet de la relation entre le dispositif N° 01 et l'âge est de petite taille et donc l'association dispositif et âge est négativement et faiblement corrélée.

Nous pouvons conclure que l'âge influence dans le sens négatif et légèrement les scores obtenus lors de la mise œuvre du dispositif N° 01.

6.3.2.3. Influence de l'âge sur le dispositif N° 02

Le tableau 41 donne la matrice de corrélation de Spearman relative à la caractérisation de l'influence de l'âge sur le dispositif N° 02.

Tableau 41 : Matrice de corrélation de Spearman dispositif N° 02 vs âge

Variables	Dispositif N° 02	Âge
Dispositif N° 02	**1**	0,306
Âge	0,306	**1**
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05		

Pour p = 0,249 avec un intervalle de confiance à 95%, nous avons r = **0,306** (r = valeur du coefficient de corrélation).

Nous avons un coefficient positif, ce qui revient à dire que plus l'âge est élevé, plus le score augmente. L'effet de la relation entre le dispositif N° 02 et l'âge est de taille moyenne et donc l'association dispositif N° 02 et âge est positivement et moyennement corrélée.

Nous pouvons conclure que l'âge influence dans le sens positif et moyennement les scores obtenus lors de la mise œuvre du dispositif N° 02.

6.3.2.4. Influence de l'âge sur l'ensemble du dispositif

Le tableau 42 donne la matrice de corrélation de Spearman relative à la caractérisation de l'influence de l'âge sur l'ensemble du dispositif.

Tableau 42 : Matrice de corrélation de Spearman ensemble du dispositif vs âge

Variables	Dispositif	Âge
Ens_Dispositif	**1**	**-0,416**
Âge	**-0,416**	**1**
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05		

Pour p = 0,012 avec un intervalle de confiance à 95%, nous avons r = **-0,416** (r = valeur du coefficient de corrélation).
Nous avons un coefficient négatif, ce qui revient à dire que plus l'âge est élevé, plus le score diminue. L'effet de la relation entre l'ensemble du dispositif et l'âge est de grande taille et donc l'association dispositif et âge est négativement et fortement corrélée.
Nous pouvons conclure que l'âge influence dans le sens négatif et significativement les scores obtenus lors de la mise en œuvre du dispositif.

6.3.3. Influence du redoublement sur les dispositifs

Nous sommes en présence d'une série de mesure quantitative (scores) et une autre série de mesure qualitative (oui et non) effectuées sur un échantillon (tous les élèves). Notre test porte sur une probable influence du redoublement sur les différents dispositifs. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre les scores (dispositifs) et le redoublement. Or la série de mesure quantitative ne suit pas une loi de Laplace Gauss, le test statique utilisé est donc celui de Mann-Whitney (test non paramétrique de t Student pour échantillon indépendant (nature des deux séries de mesure différente)). Le test de Mann-Whitney permet de tester si les médianes de deux sous-populations (extraction de notre population d'autant de sous-populations qu'il y a de modalités dans la variable qualitative) peuvent être considérées comme différentes (compte tenu des fluctuations aléatoires provenant du biais d'échantillonnage).
L'annexe N° 24.02, page 310 donne les résultats des test appliquées à l'association redoublement et différents dispositifs.
Nous signalons que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

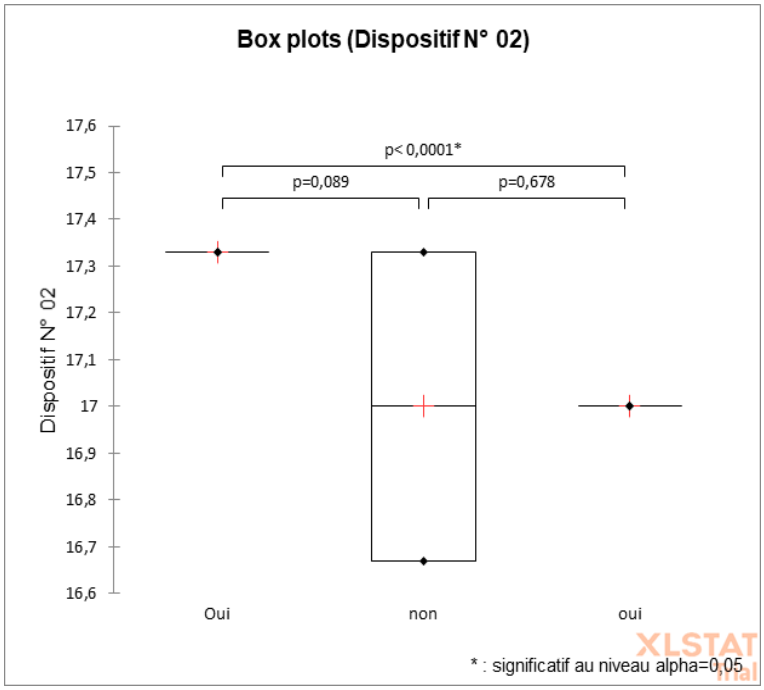
6.5.3.1. Influence du redoublement sur le dispositif N° 01

N'ayant pas de redoublant dans le groupe GE, Il n'est donc pas nécessaire de chercher à savoir si le redoublement à une influence sur le dispositif N° 01.

6.5.3.2. Influence du redoublement sur le dispositif N° 02

La figue N° 33 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence du redoublement sur le dispositif N° 02.

Figure N° 33 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués au dispositif N° 02 vs redoublement



Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence du redoublement sur le dispositif N° 02 donne p < 0,0001 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (< 0,0001) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre le dispositif N° 02 et le redoublement, et retenir l'hypothèse alternative, c'est-à-dire qu'il y a une influence du redoublement sur le dispositif N° 02.

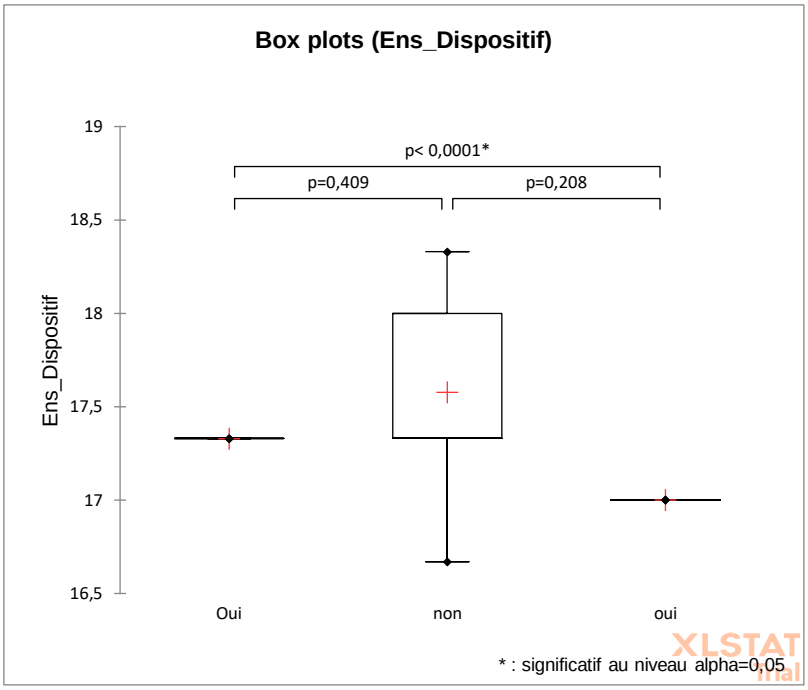
Le résultat du test statistique vient confirmer le fait que la mauvaise performance dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) est le fait des élèves qui reprennent la classe. Car nous avons relevé plus haut que tous les élèves redoublants ont des pertes d'un point chacun au niveau des sommes des points engrangés lors de l'utilisation du dispositif N° 02.

6.5.3.3. Influence du redoublement sur l'ensemble du dispositif

Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence du redoublement sur l'ensemble du dispositif donne p < 0,0001 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (< 0,0001) qui est inférieure au niveau de signification alpha = 0,05, on doit rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre l'ensemble du dispositif et le redoublement, et retenir l'hypothèse alternative, c'est-à-dire qu'il y a une influence du redoublement sur l'ensemble du dispositif.

La figue N° 34 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence du redoublement sur l'ensemble du dispositif.

Figure N° 34 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à redoublement vs ensemble du dispositif



Les notes globales du TP des redoublants ne prennent que deux valeurs fixes 17,00 et 17,33 avec deux sous-effectifs, l'un de 02 élèves pour la valeur 17,00 et l'autre de 04 élèves pour la valeur 17,33. Notre population se trouve dont scindée en trois sous-populations à savoir la première qui est constituée de 04 élèves redoublants (valeur =

17,33), la deuxième qui comporte 30 élèves non redoublant (valeur allant de 16,67 à 18,33) et la troisième de 02 élèves redoublants (valeur = 17,00). Or la comparaison par paire des sous-populations montre que les différences ne sont significatives que pour les paires des sous-effectifs constituées des redoublants. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations de redoublants ne se neutralisent pas ce qui provoque une influence du redoublement sur l'ensemble du dispositif.

6.3.4. Influence de l'internat sur les dispositifs

Nous sommes en présence d'une série de mesure quantitative (scores) et une autre série de mesure qualitative (oui et non) effectuées sur un échantillon (tous les élèves). Notre test porte sur une probable influence du fait d'être interne sur les différents dispositifs. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre les scores (dispositifs) et le fait d'habiter l'internat. Or la série de mesure quantitative ne suit pas une loi de Laplace Gauss, le test statique utilisé est donc celui de Mann-Whitney (test non paramétrique de t Student pour échantillon indépendant (nature des deux séries de mesure différente)).

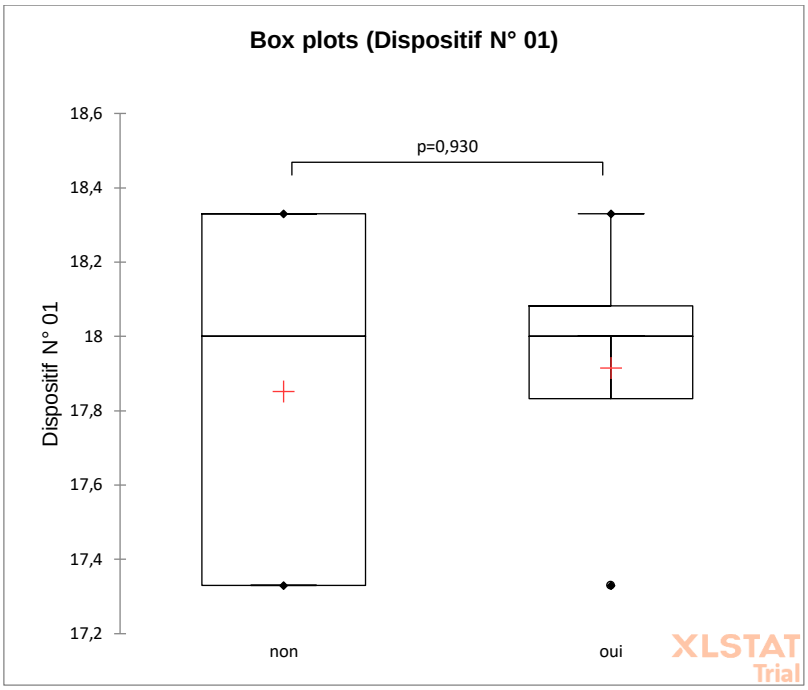
L'annexe N° 24.03, page 318 donne les résultats des test appliqués à une probable influence du fait d'être interne sur les différents dispositifs.

Nous soulignons aussi que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

6.3.4.1. Influence de l'internat sur le dispositif N° 01

La figue N° 35 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence du fait d'être interne sur le dispositif N° 01.

Figure N° 35 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à interne vs dispositif N° 01



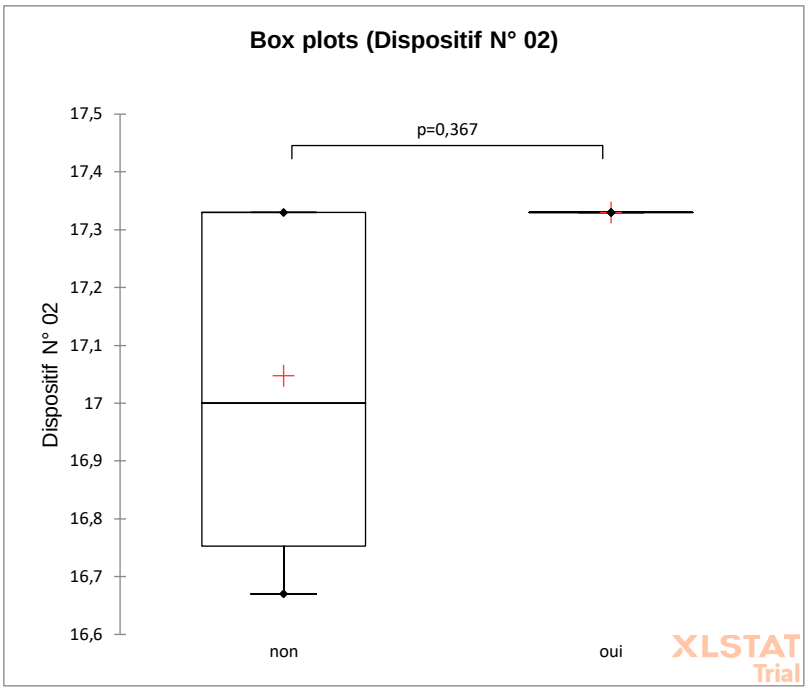
Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence de l'interne sur le dispositif N° 01 donne p = 0,930 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,933) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre le dispositif N° 01 et être interne, c'est-à-dire qu'il n'y a pas une influence due au fait d'habiter l'internat sur le dispositif N° 01.

Notre population est scindée en deux sous-populations à savoir la première qui est constituée de 16 élèves non internes (valeur allant de 17,33 à 18,33) et la deuxième de 06 élèves internes (valeur comprise entre 17,33 et 18,33). Or la comparaison par paire des sous-populations montre que les différences ne sont pas significatives. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait d'habiter l'internat sur le dispositif N° 01.

6.3.4.2. Influence de l'internat sur le dispositif N° 02

La figue N° 36 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence du fait d'être interne sur le dispositif N° 02.

Figure N° 36 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à interne vs dispositif N° 02



Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence du fait d'être interne sur le dispositif N° 02 donne p = 0,367 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,367) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre le dispositif N° 02 et être interne, c'est-à-dire qu'il n'y a pas une influence due au fait d'habiter l'internat sur le dispositif N° 02.

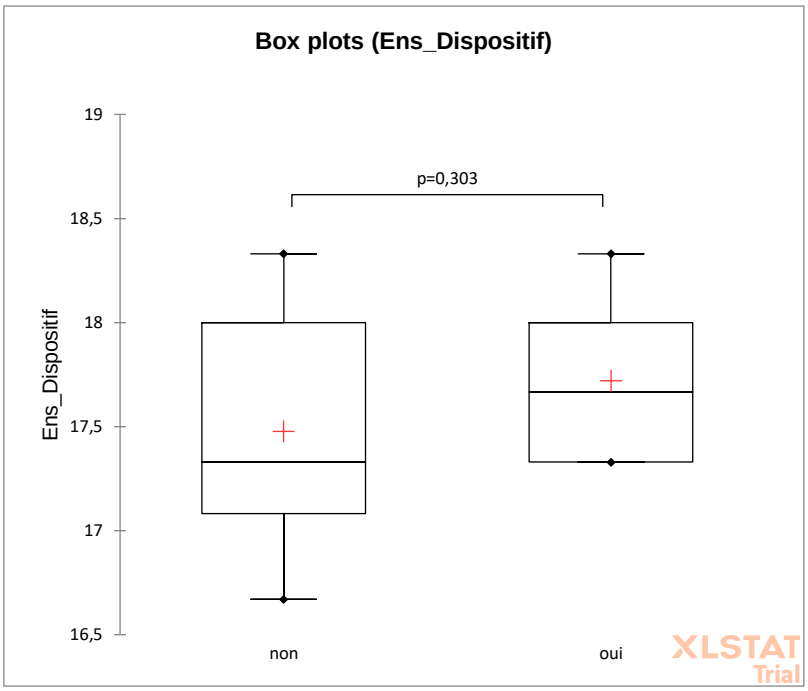
Nous avons deux sous-populations, à savoir la première qui est constituée de 14 élèves non internes (valeur allant de 16,67 à 17,33) et la deuxième de 02 élèves internes (valeur = 17,33). Or la comparaison par paire des sous-populations montre que les différences ne sont pas significatives. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-

populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait d'habiter l'internat sur le dispositif N° 02.

6.3.4.3. Influence de l'internat sur l'ensemble du dispositif

La figue N° 37 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence du fait d'être interne sur l'ensemble du dispositif.

Figure N° 37 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à interne vs ensemble du dispositif



Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence du fait d'être interne sur l'ensemble du dispositif donne p = 0,303 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,303) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre l'ensemble du dispositif et être interne, c'est-à-dire qu'il y n'a pas une influence due au fait d'habiter l'internat sur l'ensemble du dispositif.

Comme dans les 02 cas précédents, Notre population est scindée en deux sous-populations à savoir la première qui est constituée de 30 élèves non internes (valeur allant de 16,67 à

18,33) et la deuxième de 06 élèves internes (valeur comprise entre 17,33 et 18,33). Or la comparaison par paire des sous-populations montre que les différences ne sont pas significatives. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait d'habiter l'internat sur l'ensemble du dispositif.

6.3.5. Influence de l'ordinateur personnel sur les dispositifs

Nous sommes en présence d'une série de mesure quantitative (scores) et une autre série de mesure qualitative (oui et non) effectuées sur un échantillon (tous les élèves). Notre test porte sur une probable influence dû au fait de posséder un ordinateur sur les différents dispositifs. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre les scores (dispositifs) et le fait d'avoir un ordinateur. Or la série de mesure quantitative ne suit pas une loi de Laplace Gauss, le test statique utilisé est donc celui de Mann-Whitney (test non paramétrique de t Student pour échantillon indépendant (nature des deux séries de mesure différente)).

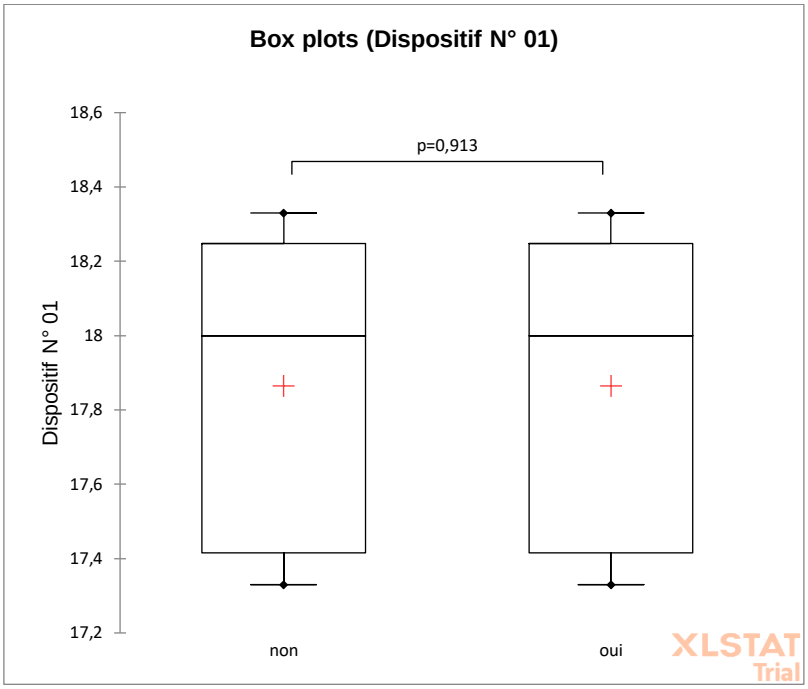
L'annexe N° 24.04, page 324 donne les résultats des test appliquées à l'association ordinateur personnel et les différents dispositifs.

Nous signalons aussi que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

6.3.5.1. Influence de l'ordinateur personnel sur le dispositif N° 01

La figue N° 38 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à l'influence dû au fait de disposer d'un ordinateur sur le dispositif N° 01.

Figure N° 38 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à ordinateur personnel vs dispositif N° 01



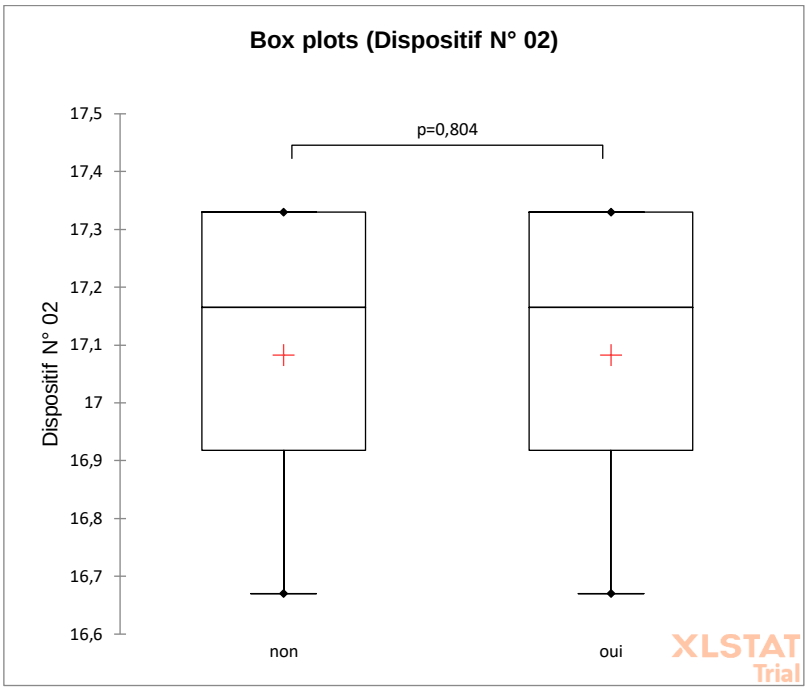
Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence dû au fait d'avoir un ordinateur personnel sur dispositif N° 01 et donne p = 0,913 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,913) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre le dispositif N° 01 et avoir un ordinateur personnel, c'est-à-dire qu'il n'y a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur le dispositif N° 01.

La moitié (10) des élèves du groupe GE qui a utilisé le dispositif N° 01 dispose d'un ordinateur personnel (valeur allant de 17,33 à 18,33). L'autre moitié (10) ne possède pas d'ordinateur (valeur comprise entre 17,33 et 18,33). Nous sommes en présence d'une égalité parfaite en termes d'effectif et des valeurs. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur le dispositif N° 01.

6.3.5.2. Influence de l'ordinateur personnel sur le dispositif N° 02

La figue N° 39 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence dû au fait d'avoir un ordinateur personnel sur le dispositif N° 02

Figure N° 39 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à ordinateur personnel vs dispositif N° 02



Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence dû au fait d'avoir un ordinateur personnel sur le dispositif N° 02 donne p = 0,804 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,804) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre le dispositif N° 02 et avoir un ordinateur personnel, c'est-à-dire qu'il y n'a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur le dispositif N° 02.

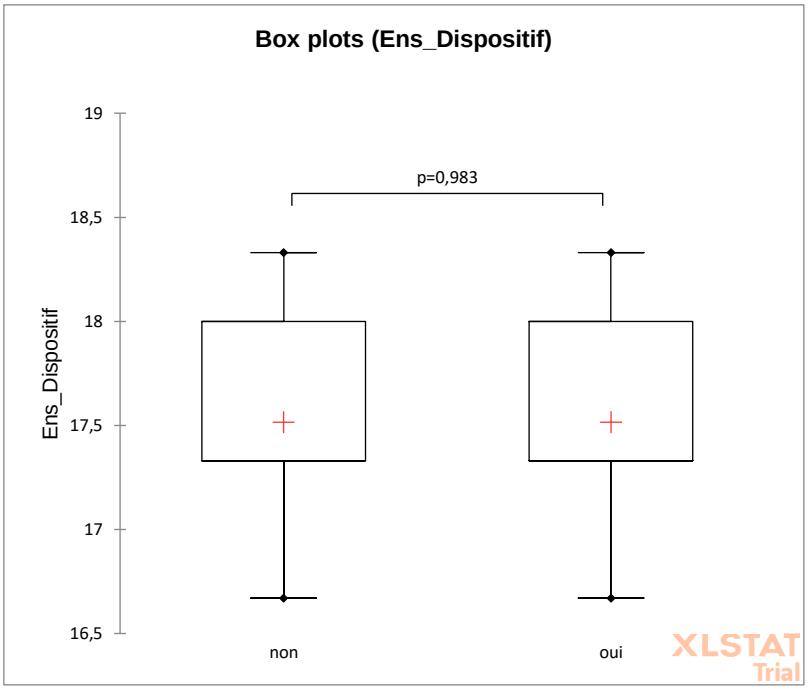
La moitié (08) de notre effectif du groupe GC qui a utilisé le dispositif N° 02 dispose d'un ordinateur personnel (valeur allant de 16,67 à 17,33). L'autre moitié (08) ne possède pas d'ordinateur (valeur comprise entre 16,67 et 17,33). Nous sommes en présence d'une égalité parfaite en termes d'effectif et des valeurs. Nous inférons que ce résultat, est lié au

fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur le dispositif N° 02.

6.3.5.3. Influence de l'ordinateur personnel sur l'ensemble du dispositif

La figue N° 40 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence dû au fait d'avoir un ordinateur personnel sur l'ensemble du dispositif.

Figure N° 40 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à ordinateur personnel vs ensemble du dispositif



Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence dû au fait d'avoir un ordinateur personnel sur l'ensemble du dispositif donne p = 0,983 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,983) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre l'ensemble du dispositif et avoir un ordinateur personnel, c'est-à-dire qu'il y n'a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur l'ensemble du dispositif.

La moitié (16) des élèves de notre population dispose d'un ordinateur personnel (valeur allant de 16,67 à 18,33). L'autre moitié (10) ne possède pas d'ordinateur (valeur comprise entre 16,67 et 18,33). Nous sommes en présence d'une égalité parfaite en termes d'effectif et des valeurs. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur l'ensemble du dispositif.

6.3.6. Influence de la salle multimédia sur les dispositifs

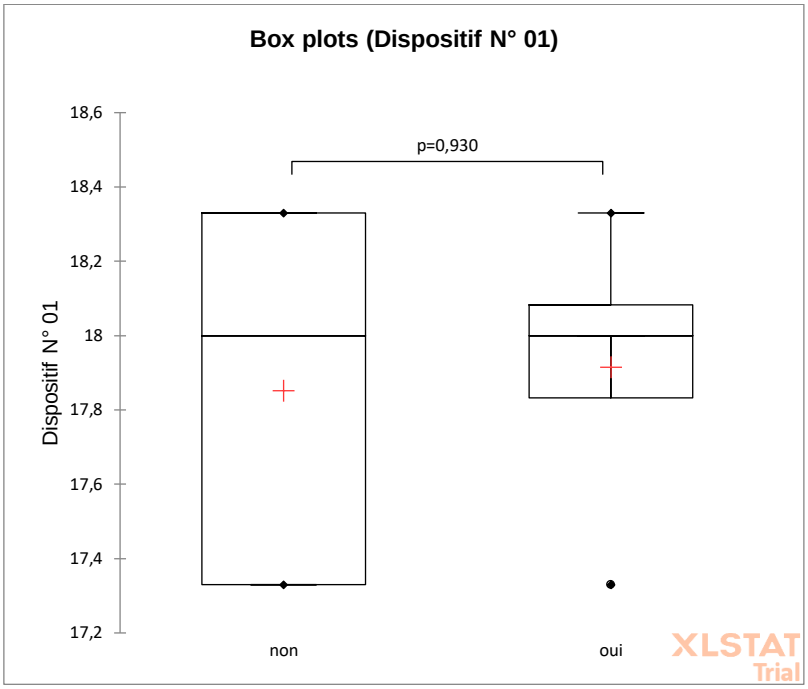
Nous sommes en présence d'une série de mesure quantitative (scores) et une autre série de mesure qualitative (oui et non) effectuées sur un échantillon (tous les élèves). Notre test porte sur une probable influence de la disponibilité de la salle multimédia sur les différents dispositifs. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre les scores (dispositifs) et le fait d'avoir accès à la salle multimédia. Or la série de mesure quantitative ne suit pas une loi de Laplace Gauss, le test statique utilisé est donc celui de Mann-Whitney (test non paramétrique de t Student pour échantillon indépendant (nature des deux séries de mesure différente)).

L'annexe N° 24.05, page 330 donne les résultats des test appliquées à l'association salle multimédia et les différents dispositifs.
Nous soulignons aussi que pour tous les ex-aequo qui ont été détectés, les corrections appropriées ont été appliquées automatiquement par le logiciel XLSTAT.

6.3.6.1. Influence de la salle multimédia sur le dispositif N° 01

La figue N° 41 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur dispositif N° 01.

Figure N° 41 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à salle multimédia vs dispositif N° 01



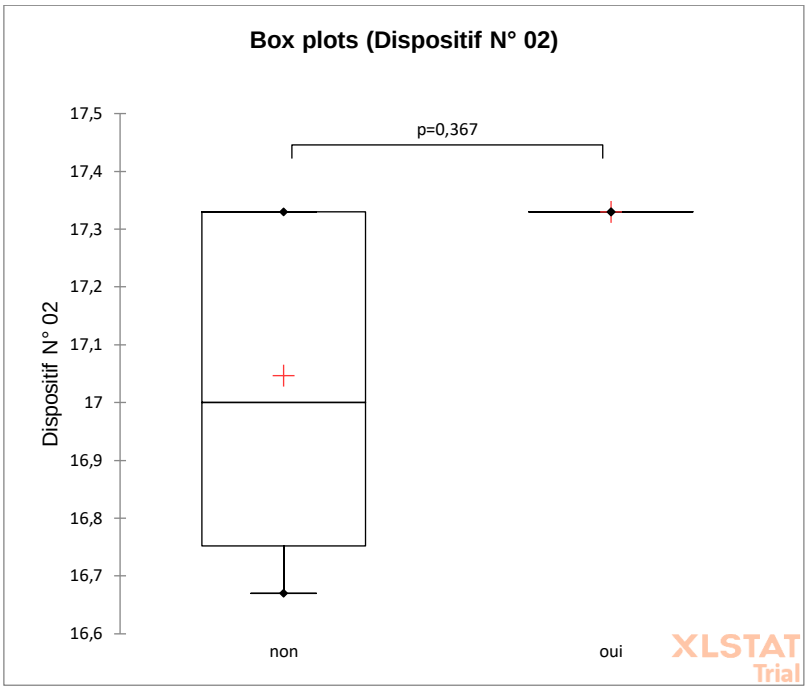
Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 01 donne p = 0,930 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,933) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre le dispositif N° 01 et avoir accès à la salle multimédia, c'est-à-dire qu'il n'y a pas une influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 01.

Notre population est scindée en deux sous-populations à savoir la première qui est constituée de 16 élèves qui n'ont pas accès à la salle multimédia (valeur allant de 17,33 à 18,33) et la deuxième de 06 élèves qui ont accès à la salle multimédia (valeur comprise entre 17,33 et 18,33). Or la comparaison par paire des sous-populations montre que les différences ne sont pas significatives. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 01.

6.3.6.2. Influence de la salle multimédia sur le dispositif N° 02

La figue N° 42 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur dispositif N° 02.

Figure N° 42 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à salle multimédia vs dispositif N° 02



Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 02 donne p = 0,367 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,367) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre le dispositif N° 02 et avoir accès à la salle multimédia, c'est-à-dire qu'il n'y a pas une influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 02.

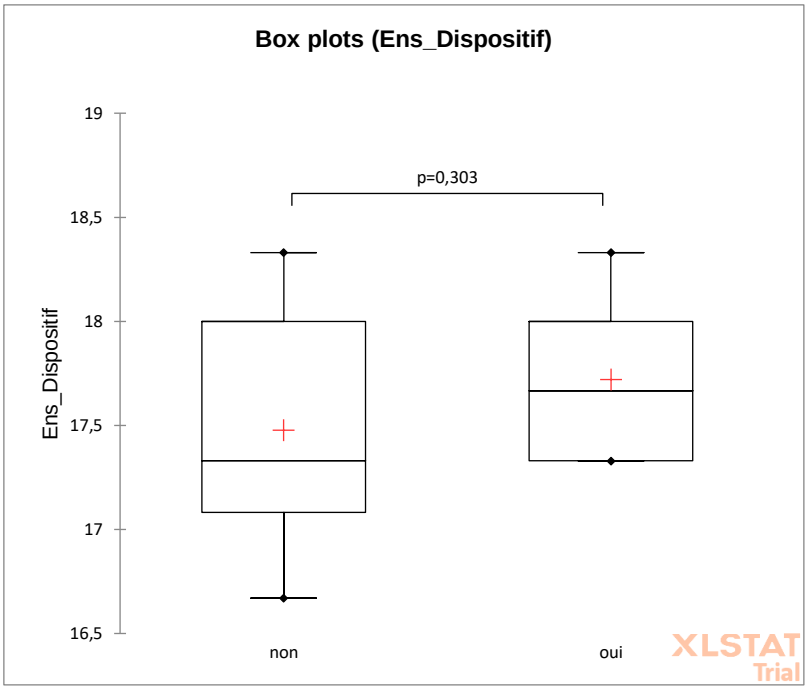
Nous avons deux sous-populations, à savoir la première qui est constituée de 14 élèves qui n'ont pas accès à la salle multimédia (valeur allant de 16,67 à 17,33) et la deuxième de 02 élèves qui ont accès à la salle multimédia (valeur = 17,33). Or la comparaison par paire des sous-populations montre que les différences ne sont pas significatives. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui

fait qu'il n'y a pas une influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 02.

6.3.6.3. Influence de la salle multimédia sur l'ensemble du dispositif

La figue N° 43 synthétise les résultats des tests statistiques appliqués à une probable influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur l'ensemble du dispositif.

Figure N° 43 : Synthèse des résultats des tests statistiques appliqués à salle multimédia vs ensemble du dispositif



Le test de Mann-Whitney appliqué à une probable influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur l'ensemble du dispositif donne p = 0,303 avec un intervalle de confiance à 95%. Nous avons une p-value (0,303) qui est supérieure au niveau de signification alpha = 0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre l'ensemble du dispositif et avoir accès à la salle multimédia, c'est-à-dire qu'il y n'a pas une influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur l'ensemble du dispositif.

Tout comme pour les élèves internes, Notre population est scindée en deux sous-populations à savoir la première qui est constituée de 30 élèves qui n'ont pas accès à la salle multimédia (valeur allant de 16,67 à 18,33) et la deuxième de 06 élèves qui ont accès à la salle multimédia (valeur comprise entre 17,33 et 18,33). Or la comparaison par paire des sous-populations montre que les différences ne sont pas significatives. Nous inférons que ce résultat, est lié au fait que les deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence dû au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur l'ensemble du dispositif.

6.4. ACTION ET ACTIVITE DES ELEVES ET EFFET DE LA POSITION RESPECTIVE DE LA SIMULATION ET DE LA FORMATION TRADITIONNELLE

Les différents tests de statistiques inférentielles ont confirmé les différentes performances identifiées dans l'évolution des différents scores. Lesdits tests statistiques montrent que les effets en termes de position « optimale » dans le déroulement de l'apprentissage de la simulation par rapport à la formation traditionnelle sont significatifs. Nous avons énoncé l'hypothèse suivante : « **H3.** : La simulation améliore l'apprentissage et la performance des apprenants pour l'acquisition de la compétence « améliorer ou modifier un bien » au-delà des formes traditionnelles d'instruction ». Les résultats statistiques pointent vers une amélioration de la performance des apprenants due à l'effet de la position de la simulation, mais qu'en est-il de l'amélioration de l'apprentissage ? Pour cela, nous procédons à la triangulation des données afin de mieux expliquer et comprendre les résultats obtenus.

6.4.1. Cas du dispositif n° 01

6.4.1.1. Préparation à simulation du groupe GE

Pour « préparation-simulation » relative au groupe GE, nous avons 12 élèves qui n'ont pas changé de note, et 08 élèves qui ont vu leur score augmenté d'un point. Le test statistique a confirmé le fait que les scores ont évolué positivement de la préparation à la simulation dans le groupe GE. En effet, nous avons pendant l'observation de l'activité en

situation de simulation relevé que les élèves ont attribué une nouvelle fonction au bouton poussoir « test », celle de prendre des informations en permanence sur l'évolution de leur travail. Nous avons aussi montré qu'en situation de simulation, les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219 sont utilisées pour faire des inférences sur la qualité du travail exécuté par les apprenants. Ce qui revient à dire que les élèves ont attribué de nouvelles fonctions aux artefacts bouton poussoir « test », règles liées au GRAFCET et norme ISO 1219, nous sommes en présence d'une genèse instrumentale (Rabardel, 1995 ; Vidal-Gomel, 2001). Cette prise d'information permanente et ces inférences sur la qualité du travail exécuté en même temps qu'elles rassurent les apprenants sur l'état et la qualité du travail, contribues *in fine* à avoir des bonnes performances.

Par ailleurs, les discours des apprenants témoignent de ce que les outils disponibles dans le logiciel de simulation leur permettent de réaliser plus aisément le travail. Comme exemples GEF11 : « *clique sur assistant, avec ça on va vite dessiner le GRAFCET* » ; GEC6 : « *Va dans la bibliothèque, tu vas prendre le vérin double effet* ». Il découle de ces exemples que l'élève GEF11 suggère à son coéquipier de s'appuie sur l'outil assistant et l'élève GEC6 fait de même plutôt sur l'outil bibliothèque du logiciel de simulation pour exécuter rapidement et facilement le travail demandé. L'exploitation du potentiel cognitif des outils proposés par la simulation a « *susciter l'émergence de compétences d'ordre cognitif, mais aussi social, comme apprendre à travailler avec les autres, à collaborer, à interagir dans un groupe (Chiu, 2002 ; Lipponen, 2000 ; Willinsky, 2000), métacognitif, comme mettre en œuvre des méthodes efficaces, évaluer et réguler ses propres processus cognitifs (.....Chambers, 1999)* » (Depover et al., 2007, p.8).

6.4.1.1. Simulation à formation traditionnelle du groupe GE

S'agissant de « simulation – formation traditionnelle » du groupe GE, nous avons 02 élèves qui n'ont pas changé de note et 18 élèves qui ont vu leur score augmenté d'un point. Le test statistique a confirmé que nous avons une évolution positive des scores de la simulation à la formation traditionnelle dans le groupe GE. Lors de l'observation en situation de formation traditionnelle, nous avons relevé que les élèves du groupe GE ont pratiquement tous rapidement réalisé le travail demande avant le temps imparti. Ils

identifiaient très rapidement les différents orifices de connexion des composants à utiliser. Cette identification s'effectuait grâce aux plaques signalétiques gravés sur le corps des composants. Or nous avons souligné plus haut que les logiciels de simulation utilisent la symbolisation pour décrire les actions lorsqu'on dispose des spécifications technologiques des composants mise en œuvre dans la machine à automatiser. Nous avons aussi relevé que l'élève a produit un instrument qui comprend la norme ISO 1219 et le schème d'usage symbolisation (Rabardel (1999), Vidal-Gomel (2001) et Zanarelli (2003). La symbolisation est utilisée pour obtenir des informations sur l'état de la fonction du composant et sur l'enchaînement des actions, ce qui lui permet de faire l'inférence que la technologie du composant utilisé est conforme ou pas. Nous inférons que la simulation par laquelle est passée le groupe GE, a permis aux apprenants de ce groupe GE de facilement et rapidement décodés les plaques signalétiques des composants qui sont en fait constituées des symboles et codes des orifices de raccordement. Les exemples d'échanges entre coéquipiers corroborent notre inférence : GED8 : « *raccorde l'orifice 1 du distributeur à l'alimentation* », GED7 : « *dans ce cas 2 c'est pour le coté tige du vérin* », GED8 : « *effectivement car il en position repos »,* GED7 : *« et 4 pour le coté fond du vérin »,* GED8 : « *oui, c'est pour faire sortir la tige* ». Ces échanges rendent comptent du fait que les orifices de connexion sont correctement identifiés et raccordés. Par ricochet, les plaques signalétiques sont correctement décodées.

6.4.1.3. Préparation à formation traditionnelle du groupe GE

Pour « Préparation – formation traditionnelle » du groupe GE, nous avons 14 élèves qui ont vu leur score augmenté d'un point et 06 élèves de deux points. Le test statistique confirme que les scores ont augmentés de la préparation à la formation traditionnelle pour le groupe GE. Nous avons un accroissement d'au moins un point des scores de la préparation à la formation traditionnelle. Nous avons d'une part la prise d'information permanente et les inférences sur la qualité du travail exécuté, et d'autre part l'instrument qui comprend la norme ISO 1219 et le schème d'usage symbolisation qui sont utilisés par les élèves du groupe GE comme il a été développé plus haut. Les deux éléments ci-dessus justifient ce résultat qui n'est que le reflet de la combinaison des deux premiers.

6.4.2. Cas du dispositif n° 02

6.4.2.1. Préparation à formation traditionnelle du groupe GC

Pour « préparation- formation traditionnelle » du groupe GC nous avons 06 élèves qui n'ont pas changé de note, 08 élèves qui ont vu leur score diminué d'un point et 02 élèves qui ont plutôt perdu deux points. Le test statistique a confirmé le fait que les scores ont régressé de la préparation à la formation traditionnelle dans le groupe GC. Il ressort de l'observation en situation de formation traditionnelle que les élèves du groupe GC ont eu du mal à identifier les orifices de branchement des composants. Cet handicap ne leur a pas permis de réaliser correctement le travail demandé. Suite à cette difficulté liée au décodage des orifice de raccordement, tous les élèves de ce groupe ont pris beaucoup de temps pour réaliser le travail planifié. Les informations relevées dans les discours des apprenants font état de cette difficulté lié à l'identification correcte des orifices des composants. En exemple, nous avons les déclarations des élèves en autoconfrontation : GCP31 ; GCP32 : « *le distributeur 3V1 est un 5/2, nous n'avons pas su sur quel orifice brancher l'alimentation* », GCN27 ; GCN28 : « *Nous avons inversé les orifices de 2A, c'est pour cela qu'il ne sort pas* ». Les discours des élèves montrent qu'ils ont du mal à identifier les bons orifices des composants. Cela nous renvoie au fait qu'ils n'arrivent pas à décoder les plaques signalétiques des composants qui sont en fait constituées des symboles et codes des orifices de raccordement.

6.4.2.2. Formation traditionnelle à simulation du groupe GC

S'agissant de « formation traditionnelle – simulation » du groupe GC, nous avons 06 élèves qui n'ont pas changé de note et 10 élèves qui ont vu leur score augmenté d'un point. Le test statistique confirme que les scores ont évolué positivement de la formation traditionnelle à la simulation dans le groupe GC. Comme nous l'avons souligné pour le groupe GE, l'observation de l'activité en situation de simulation relevé que les élèves ont attribué une nouvelle fonction au bouton poussoir « test », celle de prendre des

informations en permanence sur l'évolution de leur travail. Nous avons aussi montré qu'en situation de simulation, les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219 sont utilisées pour faire des inférences sur la qualité du travail exécuté par les apprenants. Ce qui revient à dire que les élèves ont attribué de nouvelles fonctions aux artefacts bouton poussoir « test », règles liées au GRAFCET et norme ISO 1219, nous sommes en présence d'une genèse instrumentale (Rabardel, 1995 ; Vidal-Gomel, 2001). Cette prise d'information permanente et ces inférences sur la qualité du travail exécuté en même temps qu'elles rassurent les apprenants sur l'état et la qualité du travail, contribues *in fine* à avoir des bonnes performances.

De même que pour le groupe GE, Le discours des apprenants fait état de ce que les outils disponibles dans le logiciel de simulation leur permettent de réaliser plus aisément le travail. Comme exemples GCK21 : « *prend la palette pour qu'on puisse rapidement construire notre GRAFCET* » ; GCQ35 : « *là dans la bibliothèque, le symbole-ci, c'est pour un distributeur 5/2 »*. Nous relevons dans ces exemples que l'élève GCK21 demande à son coéquipier de s'appuyer sur l'outil palette et l'élève GCQ36 plutôt sur l'outil bibliothèque du logiciel de simulation pour exécuter rapidement et facilement le travail demandé. Nous avons une émergence de compétences d'ordre cognitif, social et métacognitif due à l'exploitation du potentiel cognitif des outils proposés par la simulation Depover et al., (2007).

6.4.2.3. Préparation à simulation du groupe GC

Pour « Préparation – simulation » du groupe GC, nous avons 06 élèves qui ont perdu un point, 06 élèves qui n'ont pas changé de note et 04 élèves qui ont vu leur score augmenté d'un point. Le test statistique confirme que les scores ont stagné de la préparation à la simulation dans le groupe GC. Nous avons d'une part les difficultés à décoder les plaques signalétiques des composants qui sont en fait constituées des symboles et codes des orifices de raccordement par les élèves du groupe GC. Et d'autre part les mêmes élèves du groupe GC ont mise en œuvre la prise d'information permanente et les inférences sur la qualité du travail exécuté comme il a été développé plus haut. Ces deux éléments

justifient ce résultat qui n'est que le reflet de la combinaison des deux premiers à savoir une régression des scores suivie d'une augmentation des mêmes scores.

6.4.3. L'effet symbolisation

Les notes globales du TP se situe entre 17,33/20 et 18,33/20 dans notre groupe GE tandis que pour ce qui est du groupe GC, les notes varient de 16,67/20 à 17,33/20. Le test statistique a confirmé que le dispositif N° 01 a produit des meilleurs résultats que le dispositif N° 02.

Les résultats relatifs à la comparaison des situations de formation internes à chaque dispositif ont montré que dans le dispositif N° 01, les scores n'ont cessé d'évoluer lorsqu'on part de la préparation à la formation traditionnelle en passant par la simulation. Par contre, dans le dispositif N° 02, les scores ont chuté avant de stagner lors qu'on part de la préparation à la simulation en passant par la formation traditionnelle.

Nous avons relevé que pour uniformiser leur langage, la symbolisation (symboles graphiques, codes et autres signes) a été adopté par les concepteurs, fabricants et utilisateurs de biens d'équipement industriel et la grande diversité de culture des opérateurs chargés de la maintenance. Les composants physiques utilisés dans les SAP comportent sur leurs corps des plaques signalétiques sous formes de symboles graphiques. Donc si vous décodez le symbole, vous identifiez les caractéristiques fonctionnelles du composant.

Nous avons montré que la simulation par laquelle est passée le groupe GE, a permis aux apprenants de ce groupe GE de facilement et rapidement décodés les plaques signalétiques des composants qui sont en fait constituées des symboles et codes des orifices de raccordement. Car les logiciels de simulation ont pour support constructif la symbolisation. Cette dernière dans les logiciels de simulation sert à décrire les actions lorsqu'on dispose des spécifications technologiques des composants mise en œuvre dans la machine à automatiser.

La figure N° 33 (texte surligné en jaune) est relative aux occurrences de l'identification d'un composant par son symbole en situation de formation traditionnelle pour chacun des groupes.

Figure N° 44 : Texte surligné en jaune = occurrences liées à l'identification d'un composant par son symbole en situation de formation traditionnelle

GE																	
Code	AC-PO_CO	AC-LO_PJC	AC-RG_CS	AC-PR_PT	AC-RP_EN	AC-CL_EA	AC-SU_CO	AC-DR_PVF	AC-DR_PVT	AC-DR_PVS	AC-N_EA	AC-QU_CN	AC-DI_CO	AC-MO_RSS	ID_CS	ID_CN	Totaux
Occurrences	605	605	95	27	58	134	29	41	129	87	90	52	40	20	657	103	2 025
Taux	29,88%	29,88%	4,69%	1,33%	2,86%	6,62%	1,45%	2,02%	6,37%	4,30%	4,44%	2,57%	1,98%	0,99%	32,44%	5,09%	100,00%

GC																	
Code	AC-PO_CO	AC-LO_PJC	AC-RG_CS	AC-PR_PT	AC-RP_EN	AC-CL_EA	AC-SU_CO	AC-DR_PVF	AC-DR_PVT	AC-DR_PVS	AC-N_EA	AC-QU_CN	AC-DI_CO	AC-MO_RSS	ID_CS	ID_CN	Totaux
Occurrences	151	151	49	9	14	82	24	15	51	29	18	20	32	16	171	41	1 620
Taux	9,32%	9,32%	3,02%	0,56%	0,86%	5,06%	1,45%	0,93%	3,15%	1,79%	1,11%	1,23%	1,98%	0,99%	10,56%	2,53%	100,00%

La figure N° 33 montre que pour le groupe GE, l'identification d'un composant par son symbole a à lui seule un taux de 32,44% dans l'ensemble des actions relatives à la situation de formation traditionnelle. La conséquence induite pour ce groupe GE est l'aisance à positionner un composant (29,88%) et localisation les points de jonction sur un composant (29,88%). Ces trois éléments à eux seuls ont un taux de 92,20% de couverture des actions des élèves du groupe GE en situation de formation traditionnelle.

Par contre, la même figure N° 33 nous indique que pour le groupe GC, les actions relatives à l'identification d'un composant par son symbole n'ont qu'un taux de 10,56%. D'où la difficulté pour ce groupe GC de positionner un composant (09,32%) et localisation les points de jonction sur un composant (09,32%). Ces trois éléments à eux seuls n'ont qu'un taux de 29,20% de couverture des actions des élèves du groupe GC en situation de formation traditionnelle.

Par ailleurs, en auto-confrontation nous avons les déclarations du type : GEA1 : « *la simulation m'a permis de pratiquer sur le cours de circuits pneumatiques et hydrauliques* » ; GED8 : « *c'est en simulant que j'ai pu comprendre l'ISO 1219* » ; *GEJ20 :« je peux interpréter le schéma du circuit pneumatique de la scie » ; …* Dans les exemples ci-dessus, le discours des apprenants fait état de ce que la simulation grâce à la symbolisation a amélioré l'apprentissage du cours de circuits pneumatiques et hydrauliques. Ledit cours qui est théorique leur ayant été dispensé en classe de seconde (cours de technologie).

La symbolisation comme nous le constatons est l'élément qui a permis d'améliorer l'apprentissage de l'ISO 129 et de booster les performances des élèves qui ont utilisé le

dispositif N° 01. Nous inférons que la simulation, grâce à la symbolisation a servie d'entrainement au décodage des symboles, ce qui a permis une utilisation aisée des différents composants lorsque les apprenants sont passés de la simulation à la formation traditionnelle.

6.4.4. L'influence du redoublement

Nous avons relevé que la mauvaise performance dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) est le fait des élèves qui reprennent la classe, car ils ont tous des pertes d'un point chacun au niveau des sommes des points engrangés. Le résultat du test statistique d'une part, a confirmé le fait que la mauvaise performance dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) est le fait des élèves qui reprennent la classe, et d'autre part a montré une influence du redoublement sur les notes globales du TP de l'ensemble du dispositif.

Nous avons souligné plus haut que les redoublants se sont vus rattrapés par le nouveau référentiel de formation de la spécialité MEM. Le nouveau référentiel a été introduit uniquement en classe de seconde durant l'année scolaire 2015-2016, mais il a été officiellement signé le 28 novembre 2016. La classe de première MEM de l'année scolaire 2016-2017 compte 30 élèves qui se sont familiarisés avec le nouveau référentiel depuis la classe de seconde MEM et 06 élèves qui découvrent ce nouveau programme dans la même classe.

Par ailleurs, le discours de tous les redoublants en autoconfrontation pointe vers un manque d'exercice en matière de câblage sur banc des circuits pneumatique. En effet, les redoublants déclarent tous « *nous n'avons pas pratiqué l'année dernière* ». En d'autres termes ils relèvent qu'ils n'ont pas réalisé de Travaux Pratiques durant l'année scolaire 2015-2016. A la question de savoir quel est la raison à cela, ils avancent que durant cette année scolaire, le matériel et l'équipement présentaient des défaillances qui n'ont été corrigé qu'à l'approche des examens certificatifs. Nous sommes donc en présence du problème lié au déficit criard en termes de réalisation effective des travaux pratiques observé dans les établissements du secondaire technique industriel du Cameroun.

6.6. SYNTHESE DU CHAPITRE 6

Dans le présent chapitre, nous nous sommes intéressés au comportement et performance de notre population dépendamment du groupe d'appartenance. Nous avons exploité le corpus de données pour mieux comprendre l'effet de la position respective de la simulation par rapport à la formation traditionnelle en termes de position « optimale » dans le déroulement de l'apprentissage en relation avec notre hypothèse **H3**. Le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la simulation et clôturée par la formation traditionnelle) qui a été mise en œuvre par le groupe « simulation-traditionnelle » (GE) et Le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation traditionnelle et clôturée par la simulation) mise en œuvre par le groupe « traditionnelle - simulation » (GC) nous ont permis de vérifier l'hypothèse statistique selon laquelle les scores sont identiques quelle que soit la situation de formation et le dispositif de formation. Nous avons aussi examiné l'influence du dossier élèves sur les différents dispositifs de formation. Enfin, nous avons procédé à la triangulation des données afin de mieux expliquer et comprendre les différents résultats obtenus.

CHAPITRE 7 : SYNTHESE GENERALE ET DISCUSSION

Cette partie de notre étude est relative à la synthèse générale et la discussion des résultats. Nous allons dans un premier temps décrypter les résultats obtenus en nous appuyant sur notre problématique. Puis nous allons présenter les liens avec des études antérieures sur l'acquisition des compétences dans le domaine professionnel. Ensuite nous allons formuler les limites de l'étude. Enfin nous allons développer les perspectives.

7.1. SYNTHESE GENERALE DES RESULTATS

Notre question-problème est formulé de la manière suivante : **Quelles ressources et méthodes sont mobilisées lors de la mise en œuvre de la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » avec la simulation informatique et transférable à la pratique professionnelle ?**

Pour répondre à notre question-problème, nous avions d'une part à identifier la nature des ressources mobilisées par les acteurs, lors de la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification de bien par automatisation de son fonctionnement et cela en situations d'automatisation et de simulation. Et d'autre part chercher à mieux comprendre l'effet de la position respective de la formation à l'aide de la simulation par rapport à la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. Dans notre étude, les acteurs sont des techniciens novices de la maintenance électromécanique et l'identification de la nature des ressources mobilisées par les apprenants renvoie à l'identification des compétences mobilisées par lesdits apprenants confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification par automatisation. La didactique professionnelle (Pastré et al., 2006a) ; (Pastré, 2011) et l'ergonomie (Folcher, Rabardel, 2004) ; (Rabardel et al., 2014) nous ont révélé qu'il faut analyser l'activité mise en œuvre pour pouvoir identifier la nature des ressources mobilisées pour réaliser une tâche bien précise. La tâche dans le cas d'espèce est la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification d'une scie pour profilé d'aluminium par automatisation de son fonctionnement. Suite à l'analyse de l'activité dans différentes phases, les résultats obtenus se présentent comme suit :

7.1.1. Premier groupe de ressources mobilisées

Nos résultats montrent que les apprenants disposent d'un système de diagnostic. En situation d'automatisation, la représentation modèle est constituée de la recherche des fonctions, de l'inventaire des tâches, de la coordination des tâches entre-elles, du choix des options technologiques et la description du cycle automatique de la machine. Les résultats montrent que le système de diagnostic des élèves se présente sous forme d'une représentation circonstancielle à partir de la représentation modèle de l'automatisation. Dans la situation d'automatisation de la scie pour profiler d'aluminium, l'identification des différentes fonctions et des contraintes retenues par les différents protagonistes sont considérées comme des indicateurs de l'appropriation par les acteurs, des différentes fonctions de la machine. Pour la situation d'automatisation de la scie pour profilé en aluminium, les fonctions constituent une représentation circonstancielle. La succession des tâches suivants des contraintes d'antériorité et les choix technologiques sont les éléments qui indiquent la mise en œuvre des concepts pragmatiques d'« enchaînement des tâches » et de « technologie des composants ».

Nous avons comme premier groupe de ressources mobilisées par les élèves les différentes fonctions de la scie pour profilé d'aluminium qui ont généré les concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants. L'hypothèse **H1.** : « *Les fonctions du bien à automatiser et les deux concepts pragmatiques : « le séquencement des tâches » et « la technologie des composants » sont mobilisés par les apprenants en situation d'automatisation* » est vérifiée par ce premier groupe de ressources.

7.1.2. Deuxième groupe de ressources mobilisées

Nos résultats montrent que pour la modélisation par simulation de l'automatisation de la scie, les apprenants disposent d'une organisation invariante. Cette organisation invariante se présente sous la forme de 02 schèmes d'action multi-instrumentées utilisés par nos élèves pour construire le GRAFCET point de vue partie commande et pour réaliser le schéma de câblage de la partie opérative. Nos apprenants disposent des schèmes d'action multi-instrumentées que nous avons nommé « schème de séquencement des actions » et « schème

de matérialisation technologique ». Les instruments sont constitués des règles liées au GRAFCET, de la norme ISO 1219 et du bouton poussoir « test ». D'une part, les schèmes d'action multi-instrumentées séquencement des actions et matérialisation technologique sont articulés aux concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants. D'autre part l'utilisation du bouton poussoir « test », la mise en œuvre des règles liées au GRAFCET et à la norme ISO 1219 rendent compte de la mobilisation des concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants.

Nous avons comme deuxième groupe de ressources mobilisées par les apprenants les schèmes d'action multi-instrumentées séquencement des actions et matérialisation technologique avec leurs instruments constitués du bouton poussoir « test », des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219. L'hypothèse **H2.** : « *Les apprenants vont agir avec compétence, notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence* » est partiellement validée par ce deuxième groupe de ressources.

7.1.3. Troisième groupe de ressources mobilisées

Nos résultats ont mis en évidence que le schème de séquencement des actions et le schème de matérialisation technologique sont des schèmes d'action multi-instrumentées. Les instruments de ces schèmes sont le bouton poussoir « test », les règles liées au GRAFCET et la norme ISO 1219. Nos résultats ont montré la redondance et la complémentarité des fonctions desdits instruments. Or redondance et complémentarité des fonctions sont les caractéristiques des systèmes d'instruments. Les apprenants disposent donc d'un système d'instruments qu'ils ont constitués pour modéliser l'amélioration ou la modification de la scie pour profilé d'aluminium par automatisation de son fonctionnement. La modélisation est obtenue grâce à la construction du GRAFCET point de vue partie commande et la réalisation du schéma du circuit de la partie opérative de la scie pour profilé d'aluminium. Ce système d'instruments est constitué du bouton poussoir « test », des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219 et il est articulé aux concepts pragmatiques d'enchainement des tâches et de technologie des composants.

Nous avons comme troisième groupe de ressources mobilisées par les élèves le système d'instruments composé du bouton poussoir « test », des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219. L'hypothèse **H2.** : « *Les apprenants vont agir avec compétence, notamment par résolution de problèmes que cette situation de simulation permet de mettre en évidence* » est totalement vérifiée par ce troisième groupe de ressources.

7.1.4. Effet de la position de la formation à base de simulation comparativement celui de la formation traditionnelle

Nos résultats montrent que l'évolution des scores est contrastée dépendamment des groupes et du programme de passation. Il y a eu une évolution de la performance au score dans le groupe «simulation-traditionnelle » (GE) lorsqu'on part de la préparation pour la formation traditionnelle en passant par la simulation. Cette évolution est matérialisée par 26 points engrangés dans ce groupe GE avec 08 points de la préparation à la simulation et 18 points de la simulation à la formation traditionnelle. Tandis que dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC), il y a eu une dégradation de la performance au score des élèves du passage de la préparation à la formation traditionnelle et une légère évolution lorsqu'on passe de la formation traditionnelle à la simulation. Cela est indiqué par une perte de 02 points dans ce groupe GC avec 12 points perdues lors du passage de la préparation à la formation traditionnelle et 10 points gagnés lors du passage de la formation traditionnelle à la simulation.

Il apparaît une forte amélioration de la performance dans le groupe «simulation-traditionnelle » (GE) qui a utilisé le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la simulation et clôturée par la formation traditionnelle). Pour vérifier cela par les tests statiques de Wilcoxon signé, nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques quelle que soit la situation de formation à l'intérieur du dispositif. Les résultats des tests statistiques confirment le fait que les scores ont évolué positivement de la préparation à la simulation et de la simulation à la formation traditionnelle dans le groupe GE. Nous avons un accroissement d'au moins un point des scores de la préparation à la formation traditionnelle

Pour le groupe « traditionnelle - simulation » (GC), il y a eu une dégradation puis une évolution de la performance. Ce groupe a utilisé le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation traditionnelle et clôturée par la simulation). Comme dans le cas du groupe GE, nous avons vérifié cela par les tests statiques de Wilcoxon signé. Nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques quelle que soit la situation de formation à l'intérieur du dispositif. Les tests statistiques confirment le fait que les scores ont régressé de la préparation à la formation traditionnelle et ont évolué positivement de la formation traditionnelle à la simulation dans le groupe GC. Les scores ont stagné de la préparation à la simulation dans le groupe GC.

Nous avons comparé le dispositif N° 01 et le dispositif N° 02. Pour conduire la comparaison entre les deux dispositifs, nous avons utilisé les notes globales du TP obtenues par chaque élève. Nous avons effectué la comparaison à l'aide du test statique de Mann-Whitney. Nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle les scores sont identiques entre les deux dispositifs. Le test statistique confirme que le dispositif N° 01 a produit des meilleurs résultats que le dispositif N° 02. La symbolisation comme nous l'avons constaté, est l'élément qui a permis de booster les performances des élèves qui ont utilisé le dispositif N° 01. Nous concluons que la simulation, grâce à la symbolisation a servie d'entrainement au décodage des symboles, ce qui a permis une utilisation aisée des différents composants lorsque les apprenants sont passés de la simulation à la formation traditionnelle.

La simulation utilisée juste après la préparation a un apport important grâce à la symbolisation, car la formation classique qui suit apporte des progrès élevés. L'apport de la formation classique après la préparation est moins important que celui de la simulation, et la simulation qui suit n'apporte pas de progrès sensible. Ce qui revient à dire que l'apport de la formation traditionnelle est moins important en position initiale qu'en deuxième position ; inversement, l'apport de la simulation avec l'aide de la symbolisation est plus important en position initiale qu'en place finale. Ce qui permet de vérifier l'hypothèse **H3.** : « *La simulation améliore l'apprentissage et la performance des apprenants pour l'acquisition de la compétence « améliorer ou modifier un bien » au-delà des formes traditionnelles d'instruction*. »

7.1.5. Influence du dossier élève sur chacun des dispositifs

Nous avons cherché à savoir si les données (âge, ancienneté dans la classe, lieu d'habitation, outil informatique) issus du dossier élève influence significativement les scores obtenus lors de ce TP. Nous avons utilisé les notes globales du TP obtenues par chaque élève pour vérifier cette influence.

Pour ce qui est de l'âge, nous nous sommes appuyés sur le test de corrélation de Spearman et les balises de Cohen (1988). Les résultats montrent que l'âge influence dans le sens négatif et légèrement les scores obtenus lors de la mise œuvre du dispositif N° 01, tandis que le même âge influence dans le sens positif et moyennement les scores obtenus lors de la mise œuvre du dispositif N° 02. Pour l'ensemble du dispositif, l'âge influence dans le sens négatif et significativement les scores.

S'agissant de l'ancienneté dans la classe, l'internat, l'ordinateur personnel et la salle multimédia, nous avons testé la probable association entre ces items et les scores (dispositifs). Nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de dépendance entre les scores (dispositifs) et chacun des items listés plus haut. Le test statistique de Mann-Whitney a été utilisé à cet effet. Ledit test statistique permet de tester si les médianes de deux sous-populations (extraction de notre population d'autant de sous-populations qu'il y a de modalités dans chacun des items) peuvent être considérées comme différentes (compte tenu des fluctuations aléatoires provenant du biais d'échantillonnage).

Il n'a pas été nécessaire de chercher à savoir si le redoublement à une influence sur le dispositif N° 01, car nous n'avons pas de redoublant dans ce groupe. Par contre, il y a une influence du redoublement sur le dispositif N° 02. Les redoublants qui se sont vus rattrapés par le nouveau référentiel de formation de la spécialité MEM, sont victimes du problème lié au déficit criard en termes de réalisation effective des travaux pratiques observé dans les établissements du secondaire technique industriel du Cameroun. Et aussi, la comparaison par paire des sous-populations (03) montre que les différences ne sont significatives que pour les paires des sous-effectifs constituées des redoublants. Les deux sous-populations de redoublants ne se neutralisant pas et cela a pour conséquence de provoquer une influence du redoublement sur l'ensemble du dispositif.

Nos résultats montrent qu'il y n'a pas une influence due au fait d'habiter l'internat sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif. Cela est probablement lié au fait que la comparaison par paire des sous-populations (02) montre que les différences ne sont pas significatives. Les deux sous-populations en présence se neutralisent ce qui a pour conséquence de provoquer une non influence due au fait d'habiter l'internat sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif.

Nos résultats indiquent qu'il y n'a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif. Nous sommes en présence d'une égalité parfaite en termes d'effectif et des valeurs. Nos deux sous-populations se neutralisent ce qui fait qu'il n'y a pas une influence due au fait de posséder un ordinateur personnel sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif.

Nous n'avons pas une influence due au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif. Cela est probablement lié au fait que la comparaison par paire des sous-populations (02) montre que les différences ne sont pas significatives. Les deux sous-populations en présence se neutralisent ce qui a pour conséquence de provoquer une non influence due au fait d'avoir accès à la salle multimédia sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif.

Nous avons une influence légèrement négative de l'âge sur le dispositif N° 01, une influence moyennement positive sur le dispositif N° 02, par contre cette influence est fortement négative sur l'ensemble du dispositif. Pour ce qui est du redoublement, nous avons une influence sur le dispositif N° 02 et aussi sur l'ensemble du dispositif. Habiter l'internat de l'établissement, avoir un ordinateur personnel et disposer de la salle multimédia du lycée en dehors des heures de cours, n'ont aucune influence sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif.

7.2. DISCUSSIONS

Nous procédons dans cette partie de notre travail à une confrontation de nos résultats à ceux des résultats des autres études. Il s'agit pour nous de faire le lien avec des recherches

qui portent sur les ressources mobilisées par des acteurs en situation de simulation et sur les études qui se rapportent aux effets de la position respective de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage.

7.2.1. Mobilisation des ressources en situation de simulation

Notre étude a permis d'identifier la nature des ressources mobilisées par les apprenants confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification par automatisation en situation de simulation. Il faut comprendre ici que les ressources mobilisées renvoient aux compétences mises en œuvre par les apprenants. Les compétences identifiées dans notre étude sont constituées des différentes fonctions de la scie pour profilé d'aluminium qui ont généré les concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants ; les schèmes d'action multi-instrumentées séquencement des actions et matérialisation technologique et le système d'instruments composé du bouton poussoir « test », des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219. De ce fait, les compétences sont composées des concepts pragmatiques, des schèmes d'action multi-instrumentées et d'un système d'instrument. Vidal-Gomel (2001) est arrivé à la même conclusion que nous. Elle a montré que sur une population constituée de professionnels opérateurs chargés de la gestion des risques professionnels dans le domaine de la maintenance des systèmes électriques, le développement des compétences relève de l'intégration de dimensions « schématiques » et représentationnelles. Il en est de même de Zanarelli (2003). L'auteure entre autres a mis en évidence dans les métiers de régulation du métro, un système d'instruments, un concept pragmatique et trois schèmes d'action multi-instrumentés. Nous ajoutons à la liste Rogalski et Durey (2004). Les auteurs ont montré que l'analyse des effets de la formation et de l'utilisation d'outils cognitifs en situation permet d'identifier le potentiel de développement des compétences d'un apprenant. Guibert (2005) dans celui du laminage à chaud, Camusso (2005) dans le diagnostic des cartes électroniques, pour ne citer que ceux-là sont arrivés à la même conclusion que nous. Nous notons aussi que pour préciser les caractéristiques des systèmes d'instruments la méthode dénommé MDSR (Méthode de Défaillance et

Substitution de Ressources) pourrait s'avérer plus efficace (Rabardel & Bourmaud, 2003, 2005 ; Bourmaud, 2006, 2007).

7.2.2. Effets de la position respective de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage

Notre étude a montré d'une part, une forte progression entre la simulation et la formation traditionnelle et d'autre part, que l'apport de la formation traditionnelle est moins important en position initiale qu'en deuxième position ; inversement, l'apport de la simulation est plus important en position initiale qu'en place finale. Pastré (2004) est arrivé à la même conclusion que nous. Dans son travail, il a montré que les régleurs en plasturgie ont amélioré leurs compétences grâce à la formation avec simulation. Comme l'auteur cité plus haut, Caens-Martin (2005) dans le domaine de la taille de la vigne, Boucheix (2005) dans la compréhension des documents par des grutiers, pour ne citer que ceux-là ont montré que la formation avec simulation a considérablement amélioré les compétences des professionnels dans leur domaine respectif. Cook et al. (2011) soutiennent que la formation boostée par la simulation dans la formation des professionnels de la santé est toujours associée à des effets importants en termes d'acquisition des connaissances, des compétences et des comportements des apprenants. Pour ce qui est de la formation professionnelle en chirurgie endoscopie et cholécystectomie laparoscopique à base de simulation, Dawe et al. (2014) ont montré que les apprenants qui ont acquis des compétences grâce à la simulation avant leur passage dans un bloc opératoire, obtiennent des scores plus élevés avec moins d'erreurs que leurs homologues qui ne sont pas passés par la simulation. Les recherches dans le domaine de la formation professionnelle en chirurgie à base de simulation menées par Sturm et al. (2008), Aggarwal et al. (2008) et Sutherland et al. (2006) pour ne citer que ceux-là, sont arrivées à la même conclusion que nous.

7.2.3. Effet symbolisation

Une autre manière d'expliquer nos résultats est l'effet symbolisation. Nous avons relevé que pour uniformiser leur langage, la symbolisation (symboles graphiques, codes et autres

signes) a été adopté par les concepteurs, fabricants et utilisateurs de biens d'équipement industriel et la grande diversité de culture des opérateurs chargés de la maintenance. Les composants physiques utilisés dans les SAP comportent sur leurs corps des plaques signalétiques sous formes de symboles graphiques. Donc si vous décodez le symbole, vous identifiez le composant. Or la simulation informatique a pour support constructif les symboles. Dans les logiciels de simulation, la symbolisation sert à décrire les actions lorsqu'on dispose des spécifications technologiques des composants mise en œuvre dans la machine à automatiser. La simulation grâce à la symbolisation a amélioré l'apprentissage du cours de circuits pneumatiques et hydrauliques. La symbolisation comme nous le constatons est l'élément qui a permis d'améliorer l'apprentissage de l'ISO 129 et de booster les performances des élèves qui ont utilisé la simulation en début de manipulation. Nous déduisons que la simulation, grâce à la symbolisation a servie d'entrainement au décodage des symboles, ce qui a permis une utilisation aisée des différents composants lorsque les apprenants sont passés de la simulation à la formation traditionnelle.

7.3. LIMITES DE L'ETUDE

Le dispositif mis en œuvre dans notre travail a permis d'identifier d'une part, la nature des ressources mobilisées par des techniciens novices de la maintenance électromécanique, lors de la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification d'une scie pour profilé d'aluminium en situations d'automatisation et de simulation. Et d'autre part de chercher à mieux comprendre l'effet de la position respective de la formation à l'aide de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. Or, force est de relevé que d'autres phénomènes, non soumis au contrôle par notre dispositif pourraient avoir influencé nos résultats. Parmi ces phénomènes, nous avons pu identifier entre autres le bien, la population, la co-activité enseignant-élève, les artefacts principaux mis en œuvre et la confrontation des ressources identifiées avec celles des professionnels de la maintenance électromécanique. Lesdits phénomènes sont chacun exposés ci-dessous en tentant de montrer en quoi ils ont constitué des limites dans la mise en œuvre de la présente étude.

7.3.1. Le bien

Le bien de notre étude est une scie pour profilés en aluminium. Cet outil de production a pour rôle de scier des profilés d'aluminium au moyen d'un outil de coupe (lame circulaire). C'est une machine relativement simple, car elle ne comporte que 04 opérations à mécaniser puis automatiser :

- poussée du profil contre la butée de mise à longueur et recul du poussoir ;
- serrage et desserrage du profil ;
- avance lente et régulière du chariot de sciage et retour rapide du système de sciage ;
- éjection du tronçon coupé et retour de l'éjecteur.

De plus, ces opérations constituent une séquence unique. Or la complexité d'un système automatisé de production entraine des structures complexes du GRAFCET et la mise en œuvre des technologies intelligentes telles que les Automate Programmable Industriel (API) et les microcontrôleurs. Il existe plusieurs structures complexes, dont les séquences simultanées qui sont des parallélismes structuraux, les sélections de séquence, la structuration par GRAFCET de tâches et/ou sous-programme, la structuration par macro-étapes et la structuration par forçage. Les résultats seraient-ils les mêmes si nous étions confrontés à un système automatisé de production complexe ?

7.3.2. La population

a) Effectif

La population projetée pour notre étude était constituée des élèves de la classe de première Maintenance électromécanique (MEM) des deux zones linguistiques officielles du Cameroun. Il s'agit du lycée technique de Kumba pour la zone anglophone et du lycée technique de Nkolbisson à Yaoundé pour la zone francophone. L'objectif visé par ce choix était de vérifier si la langue de travail et aussi l'encadrement auraient eu un impact sur nos résultats. Suite à une grève dans la zone anglophone du Cameroun (grève qui a commencé en novembre 2016 et qui perdure jusqu'aujourd'hui), le terrain a été circonscrit

uniquement à la ville de Yaoundé. De ce fait, la population de notre étude s'est trouvée constituée de 36 élèves au lieu de 52, puisque le lycée technique de Kumba en comptait 16 durant l'année scolaire 2016 - 2017. Nous soulignons aussi que le lycée technique de Nkolbisson à Yaoundé au Cameroun est le seul établissement scolaire de la ville qui abrite la spécialité maintenance électromécanique. La prise en compte du genre dans notre étude, n'a pas été possible, car nous n'avions aucune fille dans notre échantillon. Il est important de relever que l'enseignement technique industriel au Cameroun a un effectif très marginal des filles.

b) Redoublement

Tous les redoublants de notre population sont dans le groupe GC. Or nous avons relevé que la mauvaise performance dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) est le fait des élèves qui reprennent la classe, car ils ont tous des pertes d'un point chacun au niveau des sommes des points engrangés lors de l'utilisation du dispositif N° 02. La triangulation des données a confirmé qu'il y a une influence du redoublement sur le dispositif N° 02. Les redoublants qui se sont vus rattrapés par le nouveau référentiel de formation de la spécialité MEM, sont victimes du problème lié au déficit criard en termes de réalisation effective des travaux pratiques observé dans les établissements du secondaire technique industriel du Cameroun. L'utilisation du dispositif N° 01 par tous les redoublants aurait-il modifié nos résultats ? Ou bien si nous avions eu des élèves qui reprennent la classe à la fois dans le groupe GE et dans le groupe GC aurions-nous eut les mêmes résultats ?

7.3.3. La co-activité enseignant-élève

Durant les séances de travail avec la simulation, nous avons constaté que certains élèves souhaitaient l'assistance ou le contrôle de l'enseignant. Nous avons remarqué que l'enseignant procédait par démonstration pour apporter son appui lorsqu'il était sollicité. Or le travail réel de l'enseignant est composé de plusieurs moments distincts, de plusieurs lieux différents, hors de la classe et dans la classe. Ces multiples facettes du travail de l'enseignant peuvent être envisagées comme une régulation de la co-activité en fonction

des élèves. La co-activité enseignant/élève se doit d'être analysée, car « *l'analyse des interventions des formateurs devient alors un indicateur indirect des compétences des opérateurs* » (Rogalski et al., 1994 ; Plat, Rogalski, 1999) in Vidal-Gomel, (2001).

7.3.4. Les artefacts principaux mis en œuvre

Pacurar (2015) nous révèle qu'« *un artefact est ce qui renvoie à un objet matériel ou symbolique* ». Alors, les artefacts principaux de notre étude sont deux logiciels de simulation et quatre bancs de câblage électropneumatiques comportant chacun deux postes de travail avec les équipements et accessoires. Les deux logiciels de simulation sont AUTOMATION STUDIO et AUTOMGEN. AUTOMATION STUDIO tout comme AUTOMGEN sont des logiciels qui permettent de faire des simulations et d'offrir des solutions complètes dans le domaine de l'automatisme. Bien que ces deux logiciels soient ceux inscrits dans le guide d'équipements et le guide médiagraphie de la spécialité MEM, ils sont payants. Les bancs de câblage électropneumatiques sont limités en nombre (04 disponibles) et beaucoup de composants commencent à présenter des signes de fatigue, en raison de leur âge (27 ans).

7.3.5. Confrontation des ressources identifiées avec celles des professionnels de la maintenance électromécanique

Les acteurs de notre étude sont des techniciens novices de la maintenance électromécanique. Nos résultats ont identifié 03 groupes de ressources mobilisées par les apprenants confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification par automatisation du fonctionnement d'une scie.

Le premier groupe de ressources mobilisées par les élèves est constitué des différentes fonctions de la scie pour profilé d'aluminium qui ont généré les concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants. Or nos concepts sont des concepts pragmatisés au sens de Pastré (2011), car ils sont les produits de la transformation des concepts scientifiques et techniques en concepts organisateurs. Pour Pastré (op. cit), les concepts strictement pragmatiques naissent de la pratique et servent à guider l'action.

Nous avons comme deuxième groupe de ressources mobilisées par les apprenants les schèmes d'action multi-instrumentées séquencement des actions et matérialisation technologique avec leurs instruments constitués du bouton poussoir « test », des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219. Le système d'instruments composé du bouton poussoir « test », des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219 constitue le troisième groupe de ressources mobilisées par les élèves. Lesdites ressources identifiées sont-elles identiques à celles des professionnels du domaine de la maintenance électromécanique ?

7.4. PERSPECTIVES

Nous avons mis œuvre un dispositif dans notre travail qui ouvre selon nous, sur plusieurs perspectives que nous nous proposons de présenter en deux axes. Le premier axe est lié à la continué des préoccupations scientifiques du présent travail. Le second axe concerne les applications, en particulier, dans le domaine des travaux pratiques en enseignement secondaire technique industriel.

7.4.1. Continuité des préoccupations scientifiques

Nous avons souligné que la complexité d'un système automatisé de production entraine des structures complexes du GRAFCET et la mise en œuvre des technologies intelligentes telles que les Automate Programmable Industriel (API) et les microcontrôleurs. Un axe de recherche futur pourrait s'atteler à mettre en œuvre le dispositif développé dans notre étude sur des tels systèmes.

Les multiples facettes du travail de l'enseignant pouvant être envisagées comme une régulation de la co-activité en fonction des élèves, notre recherche peut être renouvelée en intégrant l'analyse de l'activité non seulement de l'élève, mais également de l'enseignant. L'objectif visé étant d'identifier les types de ressources qui seront mobilisées dans un contexte de médiation en rapport avec les interventions de l'enseignant.

Les acteurs de notre étude sont des techniciens novices de la maintenance électromécanique. Leur contact avec le monde professionnel est rendu possible grâce au stage en entreprise. Mais leur confrontation avec des situations réelles de travail est limitée à 04 semaines pour les élèves de la classe de première et 05 semaines pour ceux de la classe de terminale. Un autre axe de recherche futur pourrait exploiter notre dispositif sous deux formes. La première forme pourrait comparer plus précisément les élèves en lycée technique industriel avec des apprenants en formation par alternance. La deuxième forme pourrait déboucher sur l'identification plus précise des ressources mobilisées au cours d'une formation par alternance et au cours d'une formation plus académique pour des apprenants confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification par automatisation du fonctionnement d'un bien.

7.4.2. Les applications dans le domaine des travaux pratiques

Les réponses à nos questions de recherche nous permettent de mieux comprendre le phénomène de simulation associé aux travaux pratiques. Elles ont révélé que la simulation utilisée juste après la préparation a un apport important, car la formation classique qui suit apporte des progrès élevés. L'apport de la formation classique après la préparation est moins important que celui de la simulation, et la simulation qui suit n'apporte pas de progrès sensible. L'apport de la formation traditionnelle est moins important en position initiale qu'en deuxième position ; inversement, l'apport de la simulation est plus important en position initiale qu'en place finale.

A la lumière de ce qu'a établi notre travail, nous pouvons envisager l'élaboration de nouvelles stratégies d'apprentissage. Comme le souligne Baron (2014), « *ce ne sont pas les universitaires qui prennent des décisions, mais des politiques* ». De ce fait, notre posture (Inspecteur Pédagogique National) va servir à formuler une injonction institutionnelle selon laquelle pour toutes séances de travaux pratiques incluant l'utilisation de la formation classique et de la simulation, cette dernière devrait occuper la position initiale.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette thèse, nous sommes partis du point de vue que les compétences sont des ressources que le sujet mobilise pour traiter l'activité réalisée dans des situations particulières. Nous avons relevé d'une part, que dans plusieurs domaines professionnels, la formation boostée par la simulation présente des bénéfices reproductibles en termes d'acquisition des connaissances, des compétences et des comportements des apprenants, que le développement des compétences relève de l'intégration de dimensions « schématiques » et représentationnelles et aussi que les compétences acquises par une formation à base de simulation sont transférables à la pratique professionnelle. D'autre part, nous avons relevé que les travaux pratiques réels sont davantage efficaces en termes d'acquisition des compétences que ceux qui sont simulés, ce qui reviendrait à dire qu'acquérir le savoir pratique c'est apprendre par des manipulations physiquement réelles. Suivant ce dernier raisonnement, on devrait s'attendre à ce qu'il y ait plus d'effets positifs en termes d'acquisition et/ou développement de compétence lorsqu'on est en séquence d'apprentissage réel et moins d'effet en situation d'apprentissage à base de simulation. D'où notre question-problème qui se rapporte aux ressources et méthodes mobilisées par des novices de la maintenance électromécanique lors de la mise en œuvre de la compétence « améliorer ou modifier un bien par automatisation de son fonctionnement » avec la simulation informatique.

La quête de notre travail est double, identifier d'une part, la nature des ressources mobilisées par les techniciens novices de la maintenance électromécanique, lors de la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification de bien par automatisation de son fonctionnement et cela en situations d'automatisation et de simulation. Et d'autre part chercher à mieux comprendre l'effet de la position respective de la formation à l'aide de la simulation et de la formation traditionnelle dans le déroulement de l'apprentissage. Dans notre étude, l'identification de la nature des ressources mobilisées par les apprenants renvoie à l'identification des compétences mobilisées par lesdits apprenants confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification par automatisation. La didactique professionnelle et l'ergonomie nous disent qu'il faut analyser l'activité mise en

œuvre pour pouvoir identifier la nature des ressources mobilisées afin de réaliser une tâche bien précise. Pour ce faire, nous avons choisi comme bien une scie pour profilés en aluminium qui présente une baisse des performances, liée au fait que toutes les opérations sont exécutées manuellement (avance, maintien, sciage du profilé et récupération du tronçon scié). Le besoin d'amélioration ou de modification ayant été constaté, le quitus est donné pour que soit proposé une idée d'amélioration ou de modification de la scie. Les contraintes suivantes sont imposées : ne tenir compte que des 02 types d'énergie électrique et pneumatique, remplacer puis exécuter dans le bon ordre toutes les opérations manuelles et utiliser l'outil GRAFCET pour l'analyse et la synthèse de l'automatisme. Dans ce contexte, l'activité des apprenants est une activité constructive par le moyen d'une activité productive, car ils ont à décrire le système dans son environnement d'un point de vue fonctionnel, temporel et structurel ; identifier toutes les fonctions, décrire le rôle et les caractéristiques des composants réalisant ces fonctions et décoder l'évolution temporelle de la scie.

Nous avons un effectif de 36 élèves que nous avons scindé en 02 groupes. Les deux groupes ont réalisé les mêmes travaux pratiques correspondant à la situation problème à résoudre. Nous avons mis 20 élèves dans le premier groupe nommé groupe «simulation-traditionnelle » (GE) et 16 élèves dans le deuxième groupe qui porte le nom de groupe « traditionnelle-simulation » (GC). Nous avons apparié les élèves pour avoir 18 équipes de deux (02) binômes. Nous avons reconfiguré la démarche des « TP tournants » utilisé dans nos établissements scolaires en adoptant la procédure expérimentale suivante : le groupe GE a utilisé le dispositif N° 01 (Préparation suivie de la Simulation et clôturée par la formation Traditionnelle). Tandis que le groupe GC a plutôt utiliser le dispositif N° 02 (Préparation suivie de la formation Traditionnelle et clôturée par la Simulation). Tous les apprenants indépendamment du groupe d'appartenance ont exécuté au même moment la préparation du travail à effectuer disponible dans la phase dite de lancement du TP. Simulation et formation traditionnelle ont été séparées par une première auto-confrontation puis clôturées par une seconde auto-confrontation.

Notre étude s'est déroulée dans une situation réelle d'apprentissage. Notre démarche a consisté à associer à des données issues des résultats finaux à des exercices, des observations en situation réelle d'apprentissage, des analyses de protocoles verbaux issus

des échanges verbaux entre les élèves, des entretiens et des auto-confrontations sur la prestation effectuée recueillis indépendamment de la réalisation de la tâche. Nous avons organisé nos différents protocoles bruts à l'aide des grilles afin de mettre en parallèle les différentes activités élémentaires. Nous avons appliqué deux types de traitements au corpus des données obtenues : un traitement qualitatif et un traitement quantitatif.

Notre hypothèse formulée est vérifiée par nos résultats. Nous avons identifié 03 groupes de ressources mobilisées par nos élèves confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification de la scie pour profilé d'aluminium. Nous avons comme premier groupe de ressources mobilisées par les élèves les différentes fonctions de la scie pour profilé d'aluminium qui ont généré les concepts pragmatiques d'enchaînement des tâches et de technologie des composants. Le deuxième groupe de ressources mobilisées par les apprenants est constitué des schèmes d'action multi-instrumentées séquencement des actions et matérialisation technologique. Nous avons comme troisième groupe de ressources mobilisées par les élèves le système d'instruments composé du bouton poussoir « test », des règles liées au GRAFCET et de la norme ISO 1219. S'agissant des effets de la position de la simulation comparativement à celui de la formation classique dans le déroulement de l'apprentissage, nous avons une progression importante dans le groupe «simulation-traditionnelle » (GE) de la préparation à la formation traditionnelle en passant par la simulation et pas d'évolution dans le groupe « traditionnelle-simulation » (GC) de la préparation à la simulation en passant par la formation traditionnelle. Nous avons une forte progression entre la simulation et la formation traditionnelle, cette progression est le fait du groupe «simulation-traditionnelle » uniquement. La simulation utilisée juste après la préparation a un apport important grâce à la symbolisation, car la formation classique qui suit apporte des progrès élevés. L'apport de la formation classique après la préparation est moins important que celui de la simulation, et la simulation qui suit n'apporte pas de progrès sensible. L'apport de la formation traditionnelle est moins important en position initiale qu'en deuxième position ; inversement, l'apport de la simulation est plus important en position initiale qu'en place finale. Nous avons une influence légèrement négative de l'âge sur le dispositif N° 01, une influence moyennement positive sur le dispositif N° 02, par contre cette

influence est fortement négative sur l'ensemble du dispositif. Pour ce qui est du redoublement, nous avons une influence à la fois sur le dispositif N° 02 et sur l'ensemble du dispositif. Habiter l'internat de l'établissement, avoir un ordinateur personnel et disposer de la salle multimédia du lycée en dehors des heures de cours, n'ont aucune influence sur le dispositif N° 01, le dispositif N° 02 et l'ensemble du dispositif.

Notre étude a montré que les compétences sont composées des concepts pragmatiques, des schèmes d'action multi-instrumentées et d'un système d'instrument. Les études menées par Vidal-Gomel (2001) dans le domaine de la maintenance des systèmes électriques sur la gestion des risques professionnels, Zanarelli (2003) dans les métiers de régulation du métro, Rogalski et Durey (2004) dans l'utilisation d'outils cognitifs en situation, Guibert (2005) dans celui du laminage à chaud, Camusso (2005) dans le diagnostic des cartes électroniques, pour ne citer que ceux-là sont arrivés à la même conclusion que nous. La méthode dénommé MDSR (Méthode de Défaillance et Substitution de Ressources) pourrait s'avérer plus efficace (Rabardel & Bourmaud, 2003, 2005 ; Bourmaud, 2006, 2007) pour préciser les caractéristiques des systèmes d'instruments.

Pour ce qui est des effets de la position de la simulation comparativement celui de la formation traditionnelle dans le déroulé de l'apprentissage, notre étude a montré d'une part, une forte progression entre la simulation et la formation traditionnelle et d'autre part, que l'apport de la formation traditionnelle est moins important en position initiale qu'en deuxième position ; inversement, l'apport de la simulation est plus important en position initiale qu'en place finale. Pastré (2004) chez les régleurs en plasturgie, Caens-Martin (2005) dans le domaine de la taille de la vigne, Boucheix (2005) dans la compréhension des documents par des grutiers, Cook et al. (2011) dans la revue systématique et la méta-analyse de tous les articles de recherche sur la simulation et les métiers de la santé, Dawe et al. (2014) en chirurgie endoscopie et cholécystectomie laparoscopique, Sturm et al. (2008), Aggarwal et al. (2008) et Sutherland et al. (2006) en chirurgie à base de simulation pour ne citer que ceux-là, sont arrivées à la même conclusion que nous.

Nous avons relevé que d'autres phénomènes, non soumis au contrôle par notre dispositif pourraient avoir influencé nos résultats. Parmi ces phénomènes, nous avons pu identifier entre autres le bien utilisé pour l'expérimentation (machine relativement simple qui ne comporte que 04 opérations à mécaniser puis automatiser en une séquence unique), la population (un seul établissement, pas de fille et tous les redoublants logés dans un seul groupe), la co-activité enseignant-élève, les artefacts principaux mis en œuvre (04 bancs de câblage avec des équipements vétustes) et la confrontation des ressources identifiées avec celles des professionnels de la maintenance électromécanique (des concepts qui ne sont pas nés de la pratique du métier).

Notre travail a mis en un œuvre un dispositif qui ouvre, selon nous sur plusieurs perspectives compilées en deux axes.

Le premier axe est lié à la continué des préoccupations scientifiques du présent travail. Pour cet axe, les recherches futures pourraient s'atteler à mettre en œuvre le dispositif développé dans notre étude sur des systèmes automatisés de production complexes, en intégrant l'analyse de l'activité non seulement de l'élève, mais également de l'enseignant. Elles pourraient exploiter notre dispositif pour comparer plus précisément les élèves en lycée technique industriel avec des apprenants en formation par alternance et aussi déboucher sur l'identification plus précise des ressources mobilisées au cours d'une formation par alternance et au cours d'une formation plus académique pour des apprenants confrontés à la proposition d'une idée d'amélioration ou de modification par automatisation du fonctionnement d'un bien.

Le second axe concerne les applications, en particulier, dans le domaine des travaux pratiques en enseignement secondaire technique industrielle. Nous pouvons envisager l'élaboration de nouvelles stratégies d'apprentissage en formulant une injonction institutionnelle selon laquelle pour toutes séances de travaux pratiques incluant l'utilisation de la formation classique et de la simulation, cette dernière devrait occuper la position initiale.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, Norme, 2001. Terminologie de la maintenance. In : *NF-EN*. 2001. Vol. 13306, p. X60–319.

AFNOR, Norme, 2013. Langage de spécification GRAFCET pour diagrammes fonctionnels en séquence. In : *NF EN*. 2013. Vol. 60848.

AGGARWAL, Rajesh, DARZI, Ara et GRANTCHAROV, Teodor P., 2008. A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. In : *Annals of surgery*. 2008. Vol. 248, n° 4, p. 690–691.

AGOUZOUM, Alou Ag, DIA, Mamadou et THIERO, Fatoumata, 2009. Approche Par Compétences et qualité de l'éducation Cas des écoles du Centre d'Animation Pédagogique de Kalabancoro (Région de Koulikoro). In : . 2009.

AILLERIE, Carine, KALDMÄE, Kadri et CERISIER, Jean-François, 2018. Accompagner les politiques d'équipement des écoles rurales: l'exemple d'un dispositif d'acculturation des enseignants à l'intégration des TIC dans la pratique quotidienne. In : *STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation)*. 2018.

AMIGUES, René et GINESTIÉ, Jacques, 1991. Représentations et stratégies des élèves dans l'apprentissage d'un langage de commande. In : *Le travail humain*. 1991. p. 1–19.

AVOURIS, Nikolaos, FIOTAKIS, Georgios, KAHRIMANIS, Georgios, MARGARITIS, Meletis et KOMIS, Vassilis, 2007. Beyond logging of fingertip actions: analysis of collaborative learning using multiple sources of data. In : *Journal of Interactive Learning Research*. 2007. Vol. 18, n° 2, p. 231–250.

BARON, Georges-Louis, 2014. Elèves, apprentissages et «numérique»: regard rétrospectif et perspectives. In : Recherche en éducation. 2014. vol. 18, no 2, p. 91-103

BECERRIL ORTEGA, Raquel, 2008. *Contexte professionnel, contexte de la formation technologique supérieure, approche didactique. Le cas des formations utilisant des simulateurs informatiques* [en ligne]. S.l. : Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier. [Consulté le 10 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : http://thesesups.ups-tlse.fr/398/.

BECKERS, Jacqueline et LEROY, Charlène, 2010. Entretiens d'autoconfrontation dans un dispositif de formation initiale des enseignants: mise au point d'une méthodologie et premiers résultats. In : *Actes de l'AREF. Genève: UNIGE*. 2010.

BÉGUIN, P. et PASTRÉ, P., 2002. Working, learning, interacting through simulation. In : *Proceedings of the 11th European Conference on Cognitive Ergonomics: cognition, culture and design* [en ligne]. S.l. : s.n. 2002. p. 5–13. [Consulté le 10 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/aei/papiers/begpast2002.pdf.

BISSERET, André, SEBILLOTTE, Suzanne et FALZON, Pierre, 1999. *Techniques pratiques pour*

l'étude des activités expertes. S.l. : Octarès.

BLEUX, J.-M. et FANCHON, J.-L., 1996. *Génie mécanique: automatismes industriels*. Paris : Nathan. Étapes Réferences, 98. ISBN 978-2-09-177737-5.

BOUABID, M et SALMI-BOUABID, L, 2005. Travaux pratiques pour les dispositifs de formations scientifiques et techniques utilisant les TICs. In : *DTRI-CERIST, CEMAFORAD-2, Seconde édition*. 2005. Vol. 12, p. 13.

BOUCHEIX, J. M., 2005. Simuler pour aider à comprendre. Relier des modèles mentaux selon une hiérarchie d'abstraction: la formation des grutiers au traitement de documents complexes. In : *Apprendre par la simulation-De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels. Toulouse: Octarès*. 2005. p. 131–155.

BOURGEOIS, René (éd.), 1997. *Électrotechnique, automatique et informatique industrielle*. Nouv. éd. Paris : Foucher. Data STI. ISBN 978-2-216-03665-3.

BRIKA, Ammar et BALLA, Amar, 2009. Un Environnement de Simulation pour la Pratique de l'Algorithmique. In : *SETIT* [en ligne]. 2009. n° 02. Disponible à l'adresse : http://www.setit.rnu.tn/last_edition/setit2009/Image%20and%20Video/2.pdf.

BUCKLEY, Barbara C, GOBERT, Janice D, KINDFIELD, Ann CH, HORWITZ, Paul, TINKER, Robert F, GERLITS, Bobbi, WILENSKY, Uri, DEDE, Chris et WILLETT, John, 2004. Model-based teaching and learning with BioLogica™: What do they learn? How do they learn? How do we know? In : *Journal of Science Education and Technology*. 2004. Vol. 13, n° 1, p. 23–41.

CAENS-MARTIN, S., 2005. Concevoir un simulateur pour apprendre à gérer un système vivant à des fins de production: la taille de la vigne. In : *Apprendre par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. 2005. p. 81–106.

CAMEROUN, Gouvernement du, 2009. Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi. In : *Éducation et formation professionnelle*. 2009.

CAMEROUN, République du, 1998. LOI N°98/004 DU 4 AVRIL 1998. In : [en ligne]. 1998. [Consulté le 3 août 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.unesco.org/education/edurights/media/docs/3fbc027088867a9096e8c86f0169d457b2ca7779.pdf

CAMUSSO, Dominique, 2005. Effets des parcours professionnels sur les stratégies de diagnostic. In : *Apprendre par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. 2005. p. 181-203.

CANIZARES, Claudio A et FAUR, Zeno T, 1997. Advantages and disadvantages of using various computer tools in electrical engineering courses. In : *IEEE Transactions on education*. 1997. Vol. 40, n° 3, p. 166–171.

CERISIER, Jean-François, 2011. *Acculturation numérique et médiation instrumentale. Le cas des adolescents français.* PhD Thesis. S.l. : s.n.

CHEKOUR, Mohammed, LAAFOU, Mohamed et JANATI-IDRISSI, Rachid, 2015. Vers l'introduction du simulateur Pspice dans l'enseignement de l'électricité. In : *epi.asso* [en ligne]. 2015. [Consulté le 27 mars 2019]. Disponible à l'adresse : https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1505e.htm.

CLOT, Yves, FAÏTA, Daniel, FERNANDEZ, Gabriel et SCHELLER, Livia, 2000. Entretiens en autoconfrontation croisée: une méthode en clinique de l'activité. In : *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*. 2000. n° 2-1.

COHEN, Jacob, 1988. Statistical power analysis for the social sciences. In : . 1988.

COLWELL, Chetz, SCANLON, Eileen et COOPER, Martyn, 2002. Using remote laboratories to extend access to science and engineering. In : *Computers & Education*. 2002. Vol. 38, n° 1-3, p. 65–76.

COOK, David A., HATALA, Rose, BRYDGES, Ryan, ZENDEJAS, Benjamin, SZOSTEK, Jason H., WANG, Amy T., ERWIN, Patricia J. et HAMSTRA, Stanley J., 2011. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. In : *Jama*. 2011. Vol. 306, n° 9, p. 978–988.

DAWE, Susan R., WINDSOR, John A., BROEDERS, Joris AJL, CREGAN, Patrick C., HEWETT, Peter J. et MADDERN, Guy J., 2014. A systematic review of surgical skills transfer after simulation-based training: laparoscopic cholecystectomy and endoscopy. In : *Annals of surgery*. 2014. Vol. 259, n° 2, p. 236–248.

DECOMPS, Bernard et MALGLAIVE, Gérard, 2011. Comment asseoir le concept d'université professionnelle? In : *Savoirs théoriques et savoirs d'action* [en ligne]. S.l. : Presses Universitaires de France. p. 57–72. [Consulté le 10 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : http://www.cairn.info/savoirs-theoriques-et-savoirs-d-action--9782130589990-page-57.htm.

DEPOVER, Christian, KARSENTI, Thierry et KOMIS, Vassilis, 2007. *Enseigner avec les technologies: favoriser les apprentissages, développer des compétences*. S.l. : PUQ.

DOBSON, EL, HILL, M et TURNER, JD, 1995. An evaluation of the student response to electronics teaching using a CAL package. In : *Computers & Education*. 1995. Vol. 25, n° 1-2, p. 13–20.

EL AMINE, Mr BOUABID Mohamed et LOUIZA, Mme SALMI-BOUABID, 2005. Travaux pratiques pour les dispositifs de formations scientifiques et techniques utilisant les TICs. In : *Université de Bejaia*. 2005.

ELLIS, Paul D, 2010. *The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results*. S.l. : Cambridge University Press.

ENGUM, Scott A, JEFFRIES, Pamela et FISHER, Lisa, 2003. Intravenous catheter training system: Computer-based education versus traditional learning methods. In : *The American Journal of Surgery*. 1 juillet 2003. Vol. 186, n° 1, p. 67-74. DOI 10.1016/S0002-9610(03)00109-0.

FARRINGTON, Phillip A, MESSIMER, Sherri L et SCHROER, Bernard J, 1994. Simulation and undergraduate engineering education: The technology reinvestment project (TRP). In : *Proceedings of the 26th conference on Winter simulation*. S.l. : Society for Computer Simulation International. 1994. p. 1387–1393.

FEISEL, Lyle D. et ROSA, Albert J., 2005. The role of the laboratory in undergraduate engineering education. In : *Journal of Engineering Education*. 2005. Vol. 94, n° 1, p. 121–130.

FERLITSCH, Arnulf, SCHOEFL, R, PUESPOEK, A, MIEHSLER, W, SCHOENIGER-HEKELE, M, HOFER, H, GANGL, A et HOMONCIK, M, 2010. Effect of virtual endoscopy simulator training on performance of upper gastrointestinal endoscopy in patients: a randomized controlled trial. In : *Endoscopy*. 2010. Vol. 42, n° 12, p. 1049–1056.

FOLCHER, Viviane et RABARDEL, Pierre, 2004. 15. Hommes, artefacts, activités: perspective instrumentale. In : *Ergonomie*. S.l. : Presses Universitaires de France. p. 251–268.

GALINIER, Valérie, 1996. *Apports de l'ergonomie à la conception d'instrument: concevoir autour des schèmes d'utilisation: un exemple dans le domaine du transport routier*. PhD Thesis. S.l. : Paris, CNAM.

GRANRY, J. C. et MOLL, M. C., 2012. Rapport de mission: État de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé. In : *Dans le cadre du développement professionnel continu (DPC) et de la prévention des risques associés aux soins. HAS*. 2012.

GRAVIER, Christophe, 2007. *Vers la généralisation de manipulations distantes et collaboratives d'instruments de haute technologie*. PhD Thesis. S.l. : s.n.

GRAVIER, Christophe, FAYOLLE, Jacques, NOYEL, Gérard, LELEVÉ, Arnaud et BENMOHAMED, Hcene, 2006. Distance learning: Closing the gap between remote labs and learning management systems. In : *2006 1ST IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics*. S.l. : IEEE. 2006. p. 130–134.

GUAY, Jean-Herman, 2018. *Cohérence idéologique et classes sociales: la pertinence de l'axe gauche/droite*. S.l. : Bibliothèque Paul-Émile Boulet de l'Université du Québec à Chicoutimi.

GUÉRAUD, V., PERNIN, J. P., CAGNAT, J. M. et CORTÉS, G., 1999. Environnements d' apprentissages basés sur la simulation. In : *Sciences et techniques éducatives* [en ligne]. 1999. Vol. 6, n° 1. [Consulté le 10 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : https://pdfs.semanticscholar.org/2a93/d86a7ec2b9fd9ba6af79851c3af9f7017b82.pdf.

GUIBERT, S., 2005. Accompagner la transmission de savoir-faire au sein d'un métier pour innover et maintenir une performance industrielle. In : *Apprendre par la simulation*. 2005. p. 107–130.

HOC, J.-M. et AMALBERTI, René, 1999. Analyse des activités cognitives en situation dynamique: d'un cadre théorique à une méthode. In : *Le travail humain*. 1999. p. 97–129.

HOFFMAN, Kaaren I et ABRAHAMSON, Stephen, 1975. The ⍰cost-effectiveness⍰ of Sim

One. In : *Academic Medicine*. 1975. Vol. 50, n° 12, p. 1127–1128.

JONNAERT, Philippe, BARRETTE, Johanne, MASCIOTRA, Domenico et YAYA, Mane, 2006. *La compétence comme organisateur des programmes de formation revisitée, ou la nécessité de passer de ce concept à celui de" l'agir compétent"* [en ligne]. S.l. : Bureau international d'éducation de l'UNESCO. [Consulté le 10 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : http://www.ibe.unesco.org/French/cops/Competencies/ORE_French.pdf.

JONNAERT, Philippe et M'BATIKA, Armand, 2004. *Les réformes curriculaires: regards croisés*. S.l. : PUQ. Éducation - Recherche. ISBN 978-2-7605-1277-1

KLINE, Rex B, 2013. *Beyond significance testing: Statistics reform in the behavioral sciences*. S.l. : American Psychological Association.

KRIVICKAS, Romanas V. et KRIVICKAS, Jonas, 2007. Laboratory instruction in engineering education. In : *Global Journal of Engineering Education* [en ligne]. 2007. Vol. 11, n° 2. [Consulté le 3 octobre 2017]. Disponible à l'adresse : http://www.wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/Vol.11,No.2/Krivickas.pdf.

LACKIE, J. M. (éd.), 2007. *Chambers dictionary of science and technology*. New rev. and updated ed. Edinburgh : Chambers. ISBN 978-0-550-10071-9. Q123 .C4819 2007

LAROSE, François et JAILLET, Alain, 2009. *Le numérique dans l'enseignement et la formation: analyses, traces et usages*. S.l. : Editions L'Harmattan.

LE BOTERF, Guy, 1994. De la compétence. In : *Essai sur un attracteur étrange*. 1994.

LELEVÉ, Arnaud, BENMOHAMED, Hcene et PRÉVOT, Patrick, 2008. Mise à distance de travaux pratiques en automatique. In : *Skholê : cahiers de la recherche et du développement*. décembre 2008. n° 14, p. 87-99.

LEPLAT, Jacques, 2005. Préface. In : *Apprendre par la simulation : de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse (24 rue Nazareth, 31000) : Octarès Éditions.

MA, Jing, 2006. The Role of Presence in Laboratory Learning. In : *AMCIS 2006 Proceedings*. 2006. p. 279.

MA, Jing et NICKERSON, Jeffrey V., 2006. Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. In : *ACM Computing Surveys (CSUR)*. 2006. Vol. 38, n° 3, p. 7.

MAHAMAT, Alhadji, 2011. La pratique de l'approche par compétences dans les écoles primaires d'application (EPA) de la ville de Kousseri (Région de l'Extrême-nord/Cameroun). In : *Spirale-Revue de recherches en éducation*. 2011. Vol. 47, n° 47, p. 33–50.

MAHDI, Khalid, SOFI, Anas, LAAFOU, Mohamed, JANATI-IDRISSI, Rachid et MADRANE, Mourad, 2017. Impact des simulateurs informatiques dans l'enseignement de sciences physiques. In : *EpiNet*. 2017. p. 161.

MAYEN, Patrick, MÉTRAL, Jean-François et TOURMEN, Claire, 2010. Les situations de travail.

In : *Recherche et formation* [en ligne]. 1 juillet 2010. n° 64, p. 31-46. [Consulté le 1 septembre 2017]. DOI 10.4000/rechercheformation.191. Disponible à l'adresse : https://rechercheformation.revues.org/191.

MCLELLAN, Hilary, 1996. *Situated learning perspectives*. S.l. : Educational Technology.

MIALARET, Gaston, 2011. Savoirs théoriques, savoirs scientifiques et savoirs d'action en éducation. In : *Savoirs théoriques et savoirs d'action* [en ligne]. S.l. : Presses Universitaires de France. p. 161–187. [Consulté le 10 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : http://www.cairn.info/savoirs-theoriques-et-savoirs-d-action--9782130589990-page-161.html.

MORENO, S et PEULOT, E, 2002. *Le grafcet: conception, implantation dans les automates programmables industriels*. Paris : Casteilla. ISBN 978-2-7135-2371-7.

MORIN, Jean-Claud, GAUDEAU, Sylvie et HOURAJI, Hassan, 2011. *Maintenance des équipements industriels Bac Pro. Tome 2: du diagnostic à l'action de maintenance Tome 2 : du diagnostic à l'action de maintenance*. Paris : Hachette. ISBN 978-2-01-181417-3.

NDOUMATSEYI BOTONGOYE, Landry, 2012. *L'utilisation des simulateurs dans l'enseignement technique et professionnel au Gabon: cas des filières maintenance des systèmes motorisés*. PhD Thesis. S.l. : Aix-Marseille.

NEDIC, Zorica, MACHOTKA, Jan et NAFALSKI, Andrew, 2003. *Remote laboratories versus virtual and real laboratories* [en ligne]. S.l. : IEEE. [Consulté le 3 octobre 2017]. Disponible à l'adresse : http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1263343/.

NKENLIFACK, Marcellin, TANYI, Emmanuel et NZEUTCHAP, Janvier, 2011. A Dynamic Construction Algorithm and Verification of the Grafcet. In : . 2011.

PACURAR, Ecaterina, 2015. L'appropriation du tableau numérique interactif et du manuel numérique chez des enseignants du second degré: valeurs ressources et affordances contextuelles. In : *La Recherche en Éducation*. 2015. n° 13, p. 78–101.

PAPATHANASSIOU, A, OSTER, J et BAIER, PW, 1999. A novel simulation concept of reduced computational cost for TD-CDMA mobile radio systems with adaptive antennas. In : *Vehicular Technology Conference, 1999. VTC 1999-Fall. IEEE VTS 50th*. S.l. : IEEE. 1999. p. 218–222.

PAPINOT, Emmanuelle, TRICOT, André et MACEDO-ROUET, Mônica, 2018. Exploration de l'activité de publication et de recherche de vidéos sur une plateforme audiovisuelle académique en ligne. In : *Activités*. 2018. Vol. 15, n° 15-1.

PASTRÉ, P., 2004. Le rôle des concepts pragmatiques dans la gestion de situations problèmes: le cas des régleurs en plasturgie. In : *Recherches en didactique professionnelle*. 2004. Vol. 1, p. 47.

PASTRÉ, Pierre, 2011. *La didactique professionnelle: approche anthropologique du développement chez les adultes*. Paris : Presses universitaires de France. Formation et pratiques professionnelles. ISBN 978-2-13-058546-6. HD5715 .P39 2011

PASTRÉ, Pierre et CLUB CRIN ÉVOLUTION DU TRAVAIL ET MUTATIONS TECHNOLOGIQUES, 2005. *Apprendre par la simulation: de l'analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse : Octarès Éditions. ISBN 978-2-915346-24-4.

PASTRÉ, Pierre, MAYEN, Patrick et VERGNAUD, Gérard, 2006a. La didactique professionnelle. In : *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*. 1 mars 2006. n° 154, p. 145-198. DOI 10.4000/rfp.157.

PASTRÉ, Pierre, MAYEN, Patrick et VERGNAUD, Gérard, 2006b. La didactique professionnelle. In : *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*. 1 mars 2006. n° 154, p. 145-198. DOI 10.4000/rfp.157.

PERRENOUD, Philippe, 1995. Des savoirs aux compétences: de quoi parle-t-on en parlant de compétences. In : *Pédagogie collégiale*. 1995. Vol. 9, n° 1, p. 20–24.

PEYRONNARD, Olivier, BLANC, Denise et MOSZKOWICZ, Pierre, 2009. Modéliser pour comprendre, modéliser pour prévoir: apports de la modélisation pour l'évaluation environnementale des filières de gestion de déchets. In : *Déchets-Sciences et Techniques*. 2009. Vol. 55, p. 3–7.

POSTIAUX, Nadine, BOUILLARD, Philippe et ROMAINVILLE, Marc, 2010. Référentiels de compétences à l'université. Usages, rôles et limites. In : *Recherche et formation*. 2010. n° 64, p. 15–30.

RABARDEL, Pierre, 1995. *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. S.l. : s.n.

RABARDEL, Pierre, 1999. Le langage comme instrument? Éléments pour une théorie instrumentale élargie. In : *Avec Vygotski*. 1999. p. 241–265.

RABARDEL, Pierre, CARLIN, Nicole et CHESNAIS, Marion, 2014. *Ergonomie: concepts et méthodes*. S.l. : s.n.

RIERA, Bernard, GELLOT, François, DUBOIS, Olivier, CHEMLA, J. P. et TRIKI, Slim, 2005. L'utilisation pédagogique et l'enseignement des TIC dans les automatismes. In : *J3eA*. 2005. Vol. 4, p. 013.

ROBERT, Aline et ROGALSKI, Janine, 2002. Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: une double approche. In : *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*. 2002. Vol. 2, n° 4, p. 505–528.

ROGALSKI, J. et DUREY, A., 2004. Compétences, savoirs de références et outils cognitifs opératifs. In : *Recherches en didactique professionnelle*. 2004. p. 109–136.

ROGALSKI, Janine, 2004. La didactique professionnelle : une alternative aux approches de « cognition située » et « cognitiviste » en psychologie des acquisitions. In : *Activités* [en ligne]. 1 octobre 2004. Vol. 01, n° 2. [Consulté le 19 août 2017]. DOI 10.4000/activites.1259. Disponible à l'adresse : http://activites.revues.org/1259.

ROMAINVILLE, Marc, 1996. L'irrésistible ascension du terme «compétence» en éducation. In : *Enjeux*. 1996. Vol. 37, n° 38, p. 132–142.

SAMURÇAY, Renan et PASTRÉ, Pierre, 2004. *Recherches en didactique professionnelle*. Toulouse : Octarès éditions. ISBN 978-2-915346-06-0.

SAMURÇAY, Rénan et RABARDEL, Pierre, 2004. Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. In : *Recherches en didactique professionnelle*. 2004. p. 163–180.

SEBILLOTTE, Suzanne, 1991. Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs, de l'interview à la formalisation. In : *Le travail humain*. 1991. p. 193–223.

STURM, Lana P., WINDSOR, John A., COSMAN, Peter H., CREGAN, Patrick, HEWETT, Peter J. et MADDERN, Guy J., 2008. A systematic review of skills transfer after surgical simulation training. In : *Annals of surgery*. 2008. Vol. 248, n° 2, p. 166–179.

SUTHERLAND, Leanne M., MIDDLETON, Philippa F., ANTHONY, Adrian, HAMDORF, Jeffrey, CREGAN, Patrick, SCOTT, David et MADDERN, Guy J., 2006. Surgical simulation: a systematic review. In : *Annals of surgery*. 2006. Vol. 243, n° 3, p. 291.

TANYI, Emmanuel et NKENLIFACK, Marcellin, 2010. Une Adaptation d'UML à la Modélisation des Systèmes Hybrides. In : *Revue des Sciences et Technologies de l'Automatique*. 2010. Vol. 7, p. 46–57.

THEUREAU, Jacques, 2004. *Le cours d'action: Méthode élémentaire*. S.l. : s.n.

URAN, S., HERCOG, D. et JEZERNIK, K., 2007. Remote Control Laboratory with Moodle Booking System. In : *2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. S.l. : s.n. juin 2007. p. 2978-2983.

VIDAL-GOMEL, Christine, 2001. *Le développement des compétences pour la gestion des risques professionnels: le domaine de la maintenance des systèmes électriques* [en ligne]. S.l. : Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis. [Consulté le 10 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00096953/.

WAGEMANN, L. et PERCIER, M., 2004. De la difficulté méthodologique à définir une compétence complexe. Étude de l'acquisition d'une compétence de base dans l'entraînement initial à la conduite d'un processus continu. In : *Recherches en didactique professionnelle*. 2004. p. 49–65.

WATT, James H, WALTHER, Joseph B et NOWAK, Kristine L, 2002. Asynchronous videoconferencing: A hybrid communication prototype. In : *System Sciences, 2002. HICSS. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on*. S.l. : IEEE. 2002. p. 97–105.

ZANARELLI, Catherine, 2003. *Caractérisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques : analyse de l'activité de régulation du métro*. PhD Thesis. S.l. : Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis.

Simulation informatique en enseignement des travaux pratiques d'automatisme : cas du secondaire technique industriel au Cameroun

Par : NKAMGNIA Victorien

DIRECTEUR DE THESE : M. Vassilis KOMIS, Professeur, Université de Patras

ANNEXES

Table des matières

I. PREPARATION ET MANIPULATIONS 246

Annexe N° 01 : Enoncé de la situation problème 246

Annexe N° 02 : Cahier de charge harmonisé 251

Annexe N° 03 : Fiche de recherche des fonctions 255

Annexe N° 04 : Fiche inventaire des tâches 256

Annexe N° 05 : Fiche de recherche de la coordination des tâches entre-elles 257

Annexe N° 06 : Fiche du choix des options technologiques 258

Annexe N° 07 : Fiche de description du cycle automatique de la machine 259

Annexe N° 08 : Guide d'entretien « Préparation » 260

Annexe N° 09 : Grille d'exploitation du dossier de l'élève 262

Annexe N° 10 : Tableau des codes utilisés 263

Annexe N° 11 : Grille d'entretien d'autoconfrontations 265

II. GUIDE DE CORRECTION 268

Annexe N° 12 : Corrigé inventaire des fonctions et des contraintes de la scie pour profilé d'aluminium 268

Annexe N° 13 : Corrigé Inventaire des tâches 269

Annexe N° 14 : Corrigé Coordination des tâches entre elles 270

Annexe N° 15 : Corrigé récapitulatif du choix des options technologiques 273

Annexe N° 16 : Corrigé ordre chronologique de l'exécution des différentes tâches 274

Annexe N° 17 : Corrigé GRAFCET du point de vue partie commande de la scie 276

Annexe N° 18 : Tests normalités appliqués à l'ensemble du dispositif 277

III. SUPPORTS DE L'INTERPRETATION 280

Annexe N° 19 : Extrait entretien « préparation » 280

Annexe N° 20 : Extrait entretien « autoconfrontation » 281

Annexe N° 21 : Tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires de situation de formation du dispositif N° 01 283

Annexe N° 22 : Tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires de situation de formation du dispositif N° 02 292

Annexe N° 23 : Tests statistiques appliqués à la comparaison du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 301

__Annexe N° 23.01. : Comparaison du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 301

__Annexe N° 23.02. : Comparaison du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 sans les redoublants 302

Annexe N° 24. : Influence du dossier élevé sur les différents dispositifs 304

Annexe N° 24.01. : Influence de l'âge sur les différents dispositifs 304

Annexe N° 24.02. : Influence du redoublement sur les différents dispositifs 310

Annexe N° 24.03. : Influence de l'internat sur les différents dispositifs 318

Annexe N° 24.04. : Influence de l'ordinateur personnel sur les différents dispositifs 324

Annexe N° 24.05. : Influence de la salle multimédia sur les différents dispositifs 330

I. PREPARATION ET MANIPULATIONS

Annexe N° 01 : Enoncé de la situation problème

REPUBIQUE DU CAMEROUN	**LYCEE TECHNIQUE DE NKOLBISSON**
Paix – Travail – Patrie	**----------**
----------	**Année scolaire : 2016 - 2017**
MINESEC	**Classe : Première**
----------	**Spécialité : MAINTENANCE ELECTROMECANIQUE (MEM)**

AUTOMATISME

TRAVAUX PRATIQUES N° 04

DOSSIER SUJET

- **Le TP comporte les pages numérotées de 1/14 à 14/14.**
- **Les feuilles 3/14 à 4/14 et 6/14 à 9/14 et 11/14 à 14/14 vous seront remises en temps opportun.**

- **Le TP est constitué de 03 dossiers**
  - **DOSSIER SUJET** **Pages 1/14 à 4/14**
  - **DOSSIER TECHNIQUE** **Pages 5/14 à 9/140**
  - **DOSSIER REPONSE** **Page 10/14 à 14/14**

- **Le TP comprend trois parties indépendantes :**
  - **ORDRE DE TRAVAIL**
  - **SIMULATION**
  - **CABLAGE**

THEME : SCIE POUR PROFILE EN ALUMINIUM

Situation professionnelle :

Le schéma de la page **5/14** est celui de la scie de marque **PROMEX**, modèle **SCIOT N° 582**. Ladite scie est l'un des moyens de production utilisé par l'entreprise **ALUMINE SA**, spécialisée dans la fabrication des profilés en aluminium. Cet outil de production a pour rôle de scier des profilés d'aluminium au moyen d'un outil de coupe (lame circulaire). Une baisse des performances de ladite scie a été enregistrée. Une inspection plus approfondie du service maintenance d'**ALUMINE S.A.** note que les effets enregistrés sont liés au fait que toutes les opérations sont exécutées manuellement (avance, maintien, sciage du profilé et récupération du tronçon scié).

Le service maintenance a constaté le besoin d'amélioration ou de modification. La direction **d'ALUMINE S.A.** donne son quitus pour que lui soit proposé une idée d'amélioration ou de modification de la scie **SCIOT N° 582**.

Les contraintes imposées par la situation sont les suivantes :

- ne tenir compte que des deux types d'énergie disponibles (électrique et pneumatique) dans l'entreprise.
- mécaniser puis automatiser toutes les opérations manuelles suivantes :
- poussée du profil contre la butée de mise à longueur et recul du poussoir.
- serrage et desserrage du profil
- avance lente et régulière du chariot de sciage et retour rapide du système de sciage.
- éjection du tronçon coupé et retour de l'éjecteur.
- utiliser l'outil GRAFCET pour l'analyse et la synthèse de l'automatisme.

I - ORDRE DE TRAVAIL / 82 points

I.1. Compléter le tableau **N° 01** de la page **10/14** relatif à la recherche des fonctions.
1 x 20 = 20 points

I.2. Remplir le tableau **N° 02** de la page **11/14** relatif à l'Inventaire des tâches.
1 x 14 = 14 points

I.3. Etablir la recherche de la coordination des tâches entre-elles, en complétant l'algorithme de la page **12/14.** **1 x 11 = 11 points**

N.*B. : Utiliser les tâches fournies à la même page 12/14.*

I.4. Compléter le tableau **N° 03** de la page **13/14** relatif au choix des options technologiques. **1 x 26 = 26 points**

I.5. Décrire le cycle automatique de la machine, en complétant le graphe de la page **14/14.**
1 x 11 = 11 points

2. SIMULATION / 80 points

Il vous est demander de réaliser la simulation du GRAFCET point de vue partie commande et du circuit pneumatique de la scie sur la base du cahier de charge de la scie pour profilé d'aluminium donné à la page **6/14**.

A l'aide d'un logiciel de simulation sur ordinateur :

- Créer le projet « scie » ;
- Editer le GRAFCET point de vue partie commande de la scie ;
- Editer le circuit pneumatique de la scie ;
- Enregistrer le projet « scie » ;
- Tester le fonctionnement de la scie.

N.B. : Les vérins 1A, 2A et 3A sont freinés en sortie comme en rentrée de tige.

Critères d'évaluation :

● Création du projet « scie »	**/7 points**
● Disposition des éléments du GRAFCET	**/7 points**
● Disposition des éléments du circuit pneumatique	**/7 points**
● Qualité des graphiques du GRAFCET	**/7 points**
● Qualité des graphiques du circuit pneumatique	**/7 points**
● Enregistrement du projet « scie »	**/7 points**
● Fonctionnement du GRAFCET	**/12 points**
● Fonctionnement du circuit pneumatique	**/12 points**
● Respect des règles de santé et sécurité	**/7 points**
● Gestion du temps	**/7 points**
Total	**/80 points**

3. CABLAGE /40 points

Il vous est demander de réaliser le câblage du circuit pneumatique de la scie sur la base du cahier de charge de la scie pour profilé d'aluminium donné à la page **6/14**.

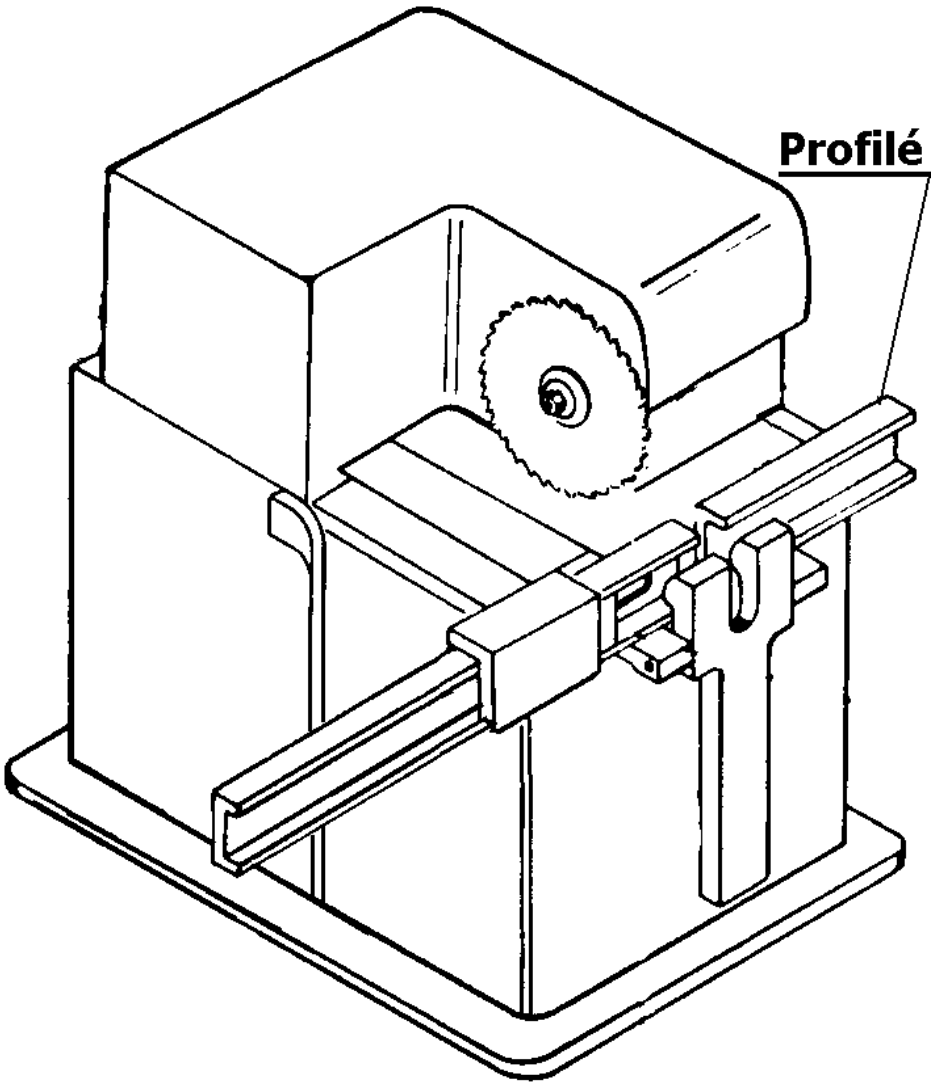
Sur banc de câblage pneumatique, réaliser le câblage du circuit pneumatique de la scie, puis tester son fonctionnement.

N.B. : Les vérins 1A, 2A et 3A sont freinés en sortie comme en rentrée de tige.

• Disposition des composants	**/7 points**
• Qualité des connexions	**/7 points**
• Fonctionnement	**/12 points**
• Respect des règles de santé et sécurité	**/7 points**
• Gestion du temps	**/7 points**
Total	**/40 points**

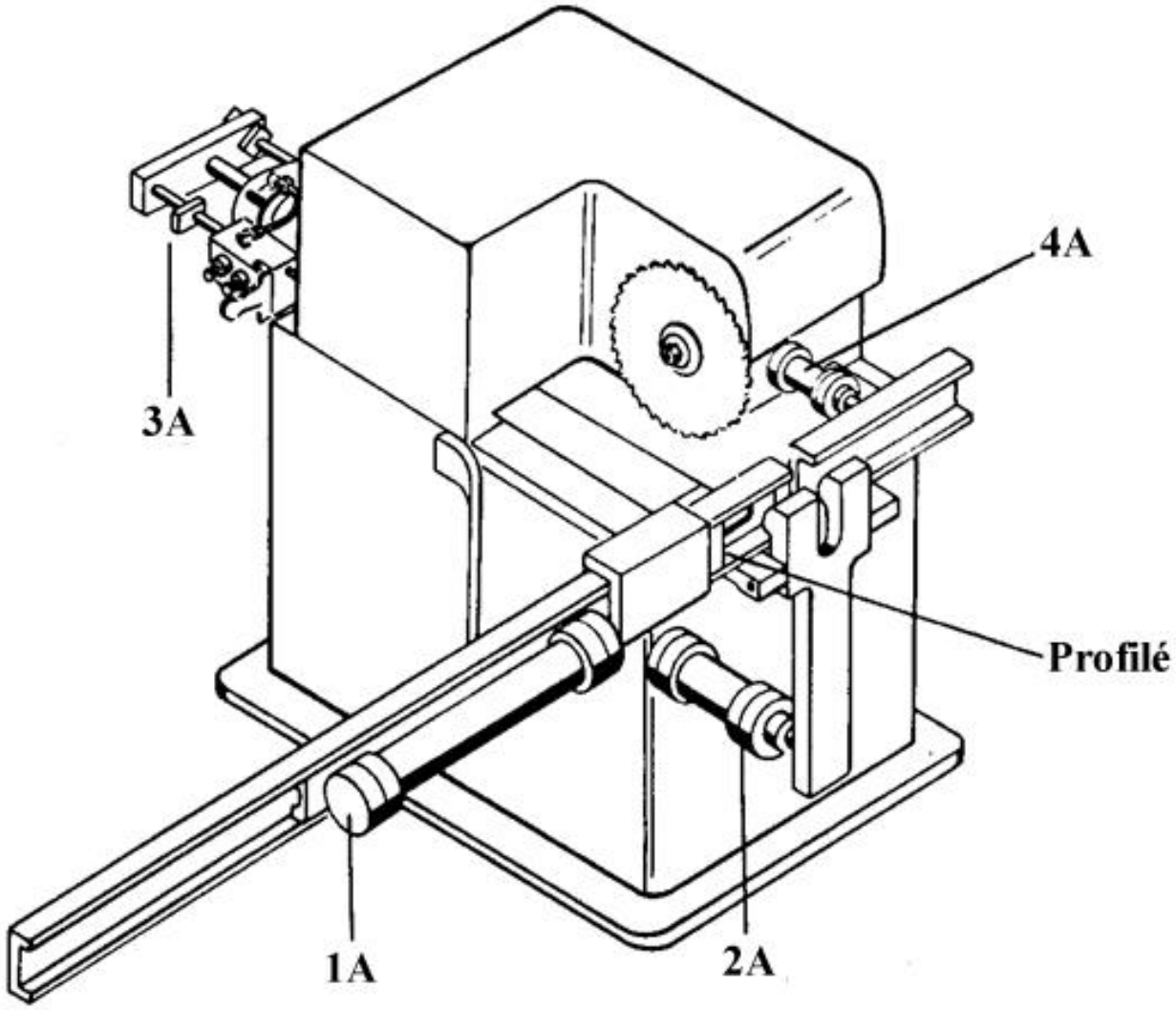
DOSSIER TECHNIQUE

Schéma de la Scie pour profilés en aluminium dans sa configuration d'origine

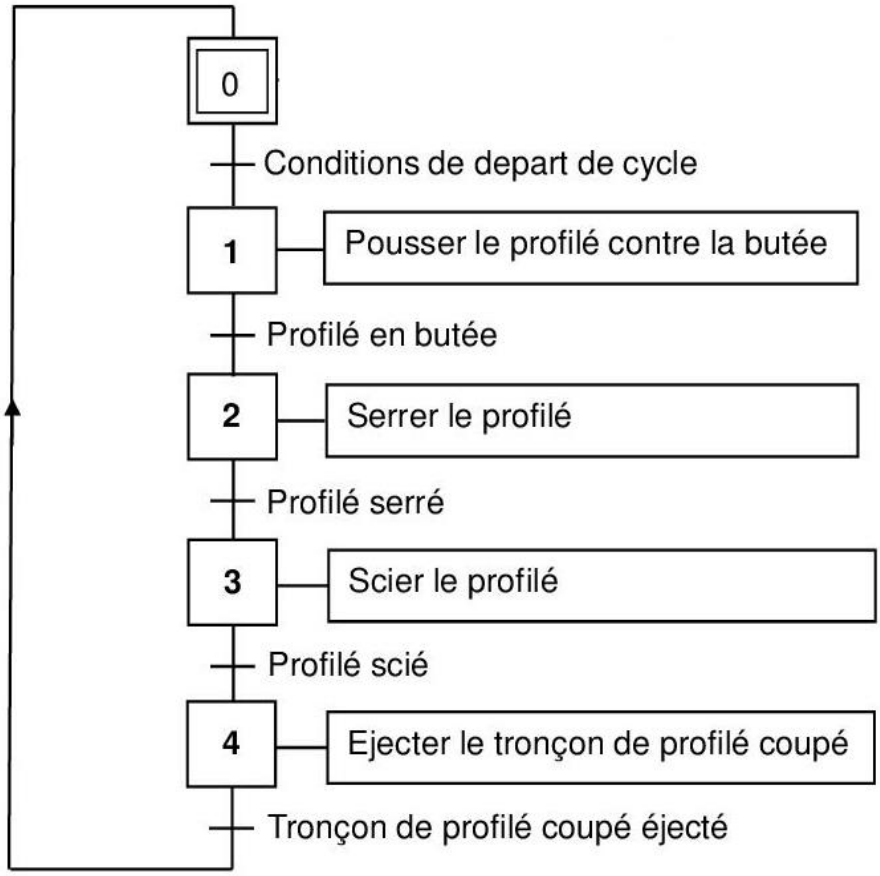


Annexe N° 02 : Cahier de charge harmonisé

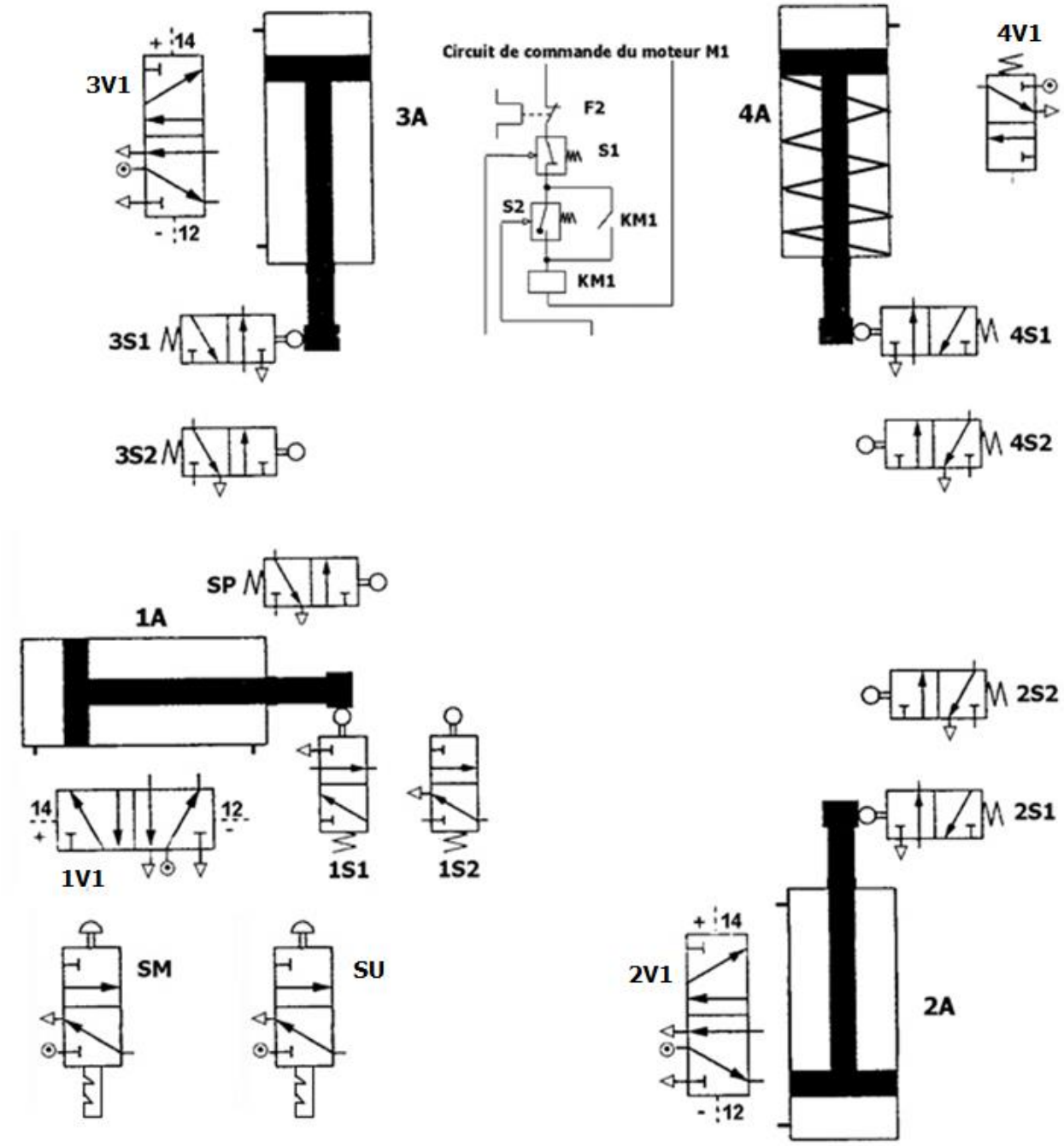
Schéma de la scie pour profilés en aluminium équipée de ses actionneurs



GRAFCET du point de vue système de la scie



Matérialisation des actions de la scie



Spécifications technologiques de la scie

Actions	Actionneurs	Préactionneurs	Capteurs
Avance et recul du dispositif de poussé du profilé contre la butée	1A	1V1	1S1, 1S2
Serrage et desserrage du profilé en butée	2A	2V1	2S1, 2S2
Avance et recul du chariot de sciage	3A	3V1	3S1, 3S2
Ejection (du tronçon coupé) et retour de l'éjecteur	4A	4V1	4S1, 4S2
Rotation de la scie	M1	KM1	S1, S2
Mise en marche de la machine	-	-	SM
Présence du profilé au poste de poussée	-	-	SP
Protection du moteur M1	-	-	F2
Arrêt d'urgence	-	-	SU
Freinage des vérins 1A ; 2A et 3A			1Z1, 1Z2 2Z1, 2Z2 3Z1, 3Z2

DOSSIER REPONSE

Annexe N° 03 : Fiche de recherche des fonctions

Fonctions principales	Contraintes	Fonctions secondaires

Annexe N° 04 : Fiche inventaire des tâches

N.B. : avance lente et régulière du chariot de sciage.

N° de la tâche	Fonction assurée

Annexe N° 05 : Fiche de recherche de la coordination des tâches entre-elles

N.B. : Tenir compte des tâches relatives à la préparation du poste de travail et à la sécurité des biens et des personnes.

Tâche	Fonction assurée
T1	Poussée du profilé d'aluminium
T2	Retour du poussoir
T3	Serrage du profilé d'aluminium
T4	Desserrage du profilé d'aluminium
T5	Mise en marche de la scie
T6	Arrêt de la scie
T7	Avance lente et régulière du chariot de sciage
T8	Retour rapide du chariot de sciage
T9	Ejection du tronçon coupé
T10	Retour de l'éjecteur
T12	Mise en référence

Tâche N° _____

début si _____

_____

_____

alors _____

_____

_____

fin si _____

fin autorise _____

Tâche N° _____

début si _____

_____

_____

alors _____

_____

_____

fin si _____

fin autorise _____

Annexe N° 06 : Fiche du choix des options technologiques

N.B. : Tenir compte des conditions « le départ de cycle est autorisé » et « pas de surcharge sur la scie ».

Actionneurs		
Tâches	**Symboles**	**Composants**

Preactionneurs		
Actionneurs	**Symboles**	**Composants**

Capteurs		
Détection/Information	**Symboles**	**Composants**

Annexe N° 07 : Fiche de description du cycle automatique de la machine

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Test _____

Début tâche _____

Exécuter tâche _____

Annexe N° 08 : Guide d'entretien « Préparation »

N°	Thématique	Questions indicatives
01	Définition et objectifs de l'automatisme	- Pouvez-vous me dire ce que vous entendez par « automatisme » ? - En quoi consiste l'automatisation d'une machine ? - comment automatiser une machine ? - Pourquoi automatiser ? - Pouvez-vous donner un exemple ?
02	Analyse descendante d'une machine	L'activité que vous venez d'achever à porter successivement sur : • la recherche des fonctions, • l'inventaire des tâches, • la coordination des tâches entre-elles, • le choix des options technologiques, • la description du cycle automatique de la machine. - Comment nommer vous cette démarche ? - Pourquoi utiliser cette démarche à l'étude des automatismes ? - Comment procédez-vous pour rechercher les fonctions principales ? - Comment procédez-vous pour rechercher les contraintes ? - Comment procédez-vous pour rechercher les fonctions secondaires ? - Pourquoi … ?

04	Contraintes d'antériorités en automatisme	- Comment procédez-vous pour rechercher les différentes tâches ? - Pourquoi effectuer un inventaire des tâches ? - Comment procédez-vous pour rechercher la coordination des tâches entre-elles ? - Pourquoi respecter l'ordre chronologique des tâches ?
04	Contraintes liées aux ressources matérielles en automatisme	- Comment procédez-vous aux choix des options technologiques ? - Pourquoi choisir ce composant au lieu d'un autre ? - Comment procédez-vous à l'identification des ressources matérielles ? - Pourquoi identifier les ressources matérielles ?
05	Satisfaction par rapport à l'activité de préparation	- Comment cette démarche (analyse descendante) vous aide – t – elle à mettre en évidence la logique séquentielle ? - Pourquoi la coordination des tâches entre-elles et le choix des options technologiques vous aide – t - ils à décrire le cycle automatique de la machine ? - Pouvez-vous nous dire comment vous avez trouvé cette activité ? - Que retenez-vous à la sortie de ce travail de « préparation » ?

Annexe N° 09 : Grille d'exploitation du dossier de l'élève

1. Nom et prénom de l'élève : _____

2. Âge (**Code : AGE**) : _____

3. Genre (**Code : SEXE**) : _____

4. Redoublant (**code : RD**)

Oui ☐

Non ☐

5. Elève interne (**Code : INT**)

Oui ☐

Non ☐

6. Dispose d'un ordinateur à domicile (**Code : ORD**)

Oui ☐

Non ☐

7. Disponibilité de la salle multimédia du lycée (**Code : SAL**)

Oui ☐

Non ☐

Autres (**Code : RS**)

Annexe N° 10 : Tableau des codes utilisés

Note explicative du codage prédicat-argument adopté :

Formes sous lesquelles se présentent les codes :	XY_AB
	XY_ABC
	XY-UV_AB
	XX-UV_ABC

Signification	
XY	Prédicats (prise d'information, identification ou action)
XY-UV	Prédicats (action et décision d'intervention)
AB et ABC	Arguments

Prise d'information	Codes
Prise d'information sur les fonctions principales	PI_FP
Prise d'information sur les contraintes	PI_CR
Prise d'information sur les fonctions secondaires	PI_FS

Identification	Codes
Identification d'une Tâche	ID_TA
Identification de la coordination des tâches entre-elles	ID_CTE
Identification de la technologie d'un composant (*identification et désignation des composants qui participent à chaque fonction*)	ID_TC
Identification de la séquence des tâches (*description de l'évolution temporelle*)	ID_ SQT
Identification d'un composant par son symbole	ID_CS
Identification de la connectique	ID_CN
Identification des phénomènes dangereux et des situations dangereuses liés au bien, à son environnement et à l'activité.	ID_RSS

Action	Codes
Dessin d'une étape	AC-DS_ET
Dessin d'une transition	AC-DS_TR
Dessin d'une liaison orientés	AC-DS_LO
Dessin de l'étape initiale	AC-DS_ETI
Dessin d'un rectangle d'action	AC-DS_RA
Dessin d'un composant	AC-DS_CO
Numérotation d'une étape	AC-NU_ET
Symbolisation d'une réceptivité	AC-SY_RE
Symbolisation d'une action	AC-SY_AT
Choix d'un outil	AC-CH_OT
Utilisation d'un outil	AC-UT_OT
Positionnement d'un composant	AC-PO_CO

Action	Codes
Lancement d'un test de fonctionnement	AC-LA_TF
Description de son action (*expression verbale ou imagée décrivant ou précisant la démarche mise en œuvre)*	AC-DE_AC
Localisation des points de jonction sur un composant	AC-LO_PJC
Réglage d'un composant spécifique	AC-RG_CS
Préparation du poste de travail	AC-PR_PT
Justification de son action (*expression verbale ou imagée indiquant ou précisant la norme mise en œuvre)*	AC-JU_AC
Repérage des énergies	AC-RP_EN
Classification des éléments d'assemblage	AC-CL_EA
Codage de toutes formes de représentation	AC-CO_FR
Requête d'utilisation d'un outil spécifique (*demande à son coéquipier de dessiner une forme spécifique*)	AC-RQ_UOS
Suggestion d'un composant (*suggère un composant à son coéquipier qui est en train de réaliser le câblage*)	AC-SU_CO
Description du système dans son environnement d'un point de vue fonctionnel (*au sujet de sa manipulation, il donne un descriptif oral qui intègre toutes les fonctions opératives de la scie et leurs interactions*)	AC-DR_PVF
Description du système dans son environnement d'un point de vue temporel (*au sujet de sa manipulation, il donne un descriptif oral de l'évolution temporelle de la scie)*	AC-DR_PVT
Description du système dans son environnement d'un point de vue structurel (*au sujet de sa manipulation, il donne un descriptif oral des modes de production et/ou d'exploitation de la scie)*	AC-DR_PVS
Installation des éléments de l'amélioration ou de la modification (*respect des procédures et des notices techniques*)	AC-IN_EA
Qualité des connexions (*respect des normes de représentation et d'assemblage*)	AC-QU_CN
Disposition d'un composant (*respect des normes de représentation et de positionnement*)	AC-DI_CO
Mise en œuvre des mesures prévention (*respect des normes et des contraintes sécuritaires*)	AC-MO_RSS

Annexe N° 11 : Grille d'entretien d'autoconfrontations

Phase introductive : « Aujourd'hui, nous allons visionner ensemble les vidéos de vos manipulations. Vous avez réalisé le GRAFCET du point de vue partie commande, le schéma du circuit de la partie opérative en vous servant du GRAFCET du point de vue système qui ne fait pas ressortir toutes les particularités du problème à résoudre. En d'autres termes, le GRAFCET du point de vue système n'a pas de correspondance directe en termes de qualité et de quantité d'éléments disponibles dans la matérialisation des actions de la scie et les spécifications technologiques qui ont été fournies. Nous allons revoir certaines manipulations, tenter de comprendre ce qui s'y est passé, comment elles ont été traitées, avec quels supports et pourquoi. »

Phase de centrage du sujet et d'approfondissement :

N.B. : la trame ci-dessous est appelée à être modulée en fonction des réponses fournies lors des échanges entre les élèves et nous.

- **GRAFCET**

  - Là pour construire ton GRAFCET, tu as commencé par ce symbole qu'est-ce que c'est ? Pourquoi tu commences par lui ? Tu veux me dire que tous les GRAFCET que tu auras à produire vont débuter par ce symbole ?
  - Je vois là que par la suite tu as utilisé plusieurs fois plutôt ce symbole comment le nommes-tu ? Pourquoi tu l'as répété plusieurs fois ? Je constate que son nombre est supérieur à celui qui est disponible dans le GRAFCET du point de vue système, tu peux nous dire pourquoi ? Tu t'es appuyé sur quoi pour arrêter le nombre à utiliser ? Comment tu procèdes pour les numéroter ?
  - Là entre les étapes tu as utilisé aussi à plusieurs reprises ce symbole (en rouge) Il s'agit de quoi ? Pourquoi se symbole est aussi répété plusieurs fois ? Même pour ce symbole son nombre est supérieur à celui qui est disponible dans le GRAFCET du point de vue système, tu peux nous dire pourquoi ? Tu t'es appuyé sur quoi pour limiter le nombre à utiliser ?

- Entre étape et transition tu as aussi utilisé plusieurs fois ce symbole qu'est-ce que sait ? Pourquoi se symbole est aussi répété plusieurs fois ? Même pour ce symbole son nombre est supérieur à celui qui est disponible dans le GRAFCET du point de vue système, tu peux nous dire pourquoi ? Tu t'es appuyé sur quoi pour arrêter le nombre à utiliser ?
- Là la flèche qui est orienté vers le haut sur ce trait qu'est-ce que c'est ? Pourquoi tu ne l'oriente pas vers le bas ?
- Dans le GRAFCET que tu as construit et dans le GRAFCET qui t'a été donné je vois un enchainement étape-transition et transition-étape pourquoi ? Tu veux me dire que je n'aurais jamais de configuration étape-étape et/ou transition-transition ?
- Les rectangles là correspondent à quoi ? Qu'est-ce que tu inscrits à l'intérieur ? Ces inscriptions proviennent d'où ?
- Pourquoi toi tu as construit ton GRAFCET étape par étape ?
- Pourquoi toi tu as construit ton GRAFCET avec la palette ?
- Pourquoi toi tu as construit les étapes, les transitions et les liaisons orientées de ton GRAFCET d'un seul coup ?
- Les codes alphanumériques que tu es entrain de placer sur les transitions, comment tu les appelles ? D'où tu les prends ?
- Là tu suggères à ton camarade (une action à préciser) Pourquoi celle-là et pas l'autre qu'il voulait utiliser ? Est-ce qu'il y a d'autre possibilité ?
- Pour quelles raisons tu l'as repris à ce moment-là ? Qu'est-qui t'a fait changer d'avis?
- Tu peux revenir à ce moment-là ?
- Essaie de te remettre dans ce moment-là : tu pensais à quoi ?
- Et tu regardes quoi à ce moment-là ?
- Alors, quelle autre alternative as-tu ? C'était quoi ton intention à ce moment-là ?
- Ha, bon, C'est ce que tu penses maintenant ?
- Qu'est-ce que tu attendais là ?
- D'accord.
- Et alors ?

- **SCHEMA DU CIRCUIT**

- Là comment tu t'es pris pour l'identification de ce composant ? Pourquoi celui-là et pas un autre ?
- Pour cette situation, tu as eu besoin de connaitre la technologie de ce composant ?
- Là comment tu procèdes pour repérer les énergies à mettre en œuvre ?
- Pourquoi tu positionnes ce composant à cet endroit précis ?
- Pourquoi tu joins ce composant (à préciser) à celui-là (à préciser) mais pas à un autre ?
- Là tu suggères à ton camarade (une action à préciser) Pourquoi celle-là et pas l'autre qu'il voulait utiliser ? Es ce qu'il y a d'autre possibilité ?
- Là pourquoi tu as utilisé cette connectique et pas une autre ?
- Les codes alphanumériques que tu es entrain de placer sur les composants, comment tu les appelles ? D'où tu les prends ?
- Alors, quelle autre alternative as-tu ? C'était quoi ton intention à ce moment-là ?
- Ha, bon ? C'est ce que tu penses maintenant ?
- Qu'est-ce que tu attendais là ?
- D'accord.
- Et alors ?

Phase de conclusion :

- Tu as autres choses à ajouter après visionnage ?
- As-tu le sentiment d'avoir bien saisie le sens de tes manipulations ?
- Si tu as à refaire les mêmes manipulations, vas – tu adopter la même démarche ? La même posture ? Qu'est-ce qui sera différent ?

II. GUIDE DE CORRECTION

Annexe N° 12 : Corrigé inventaire des fonctions et des contraintes de la scie pour profilé d'aluminium

Fonctions principales et codes associés	Contraintes et codes associés	Fonctions secondaires et codes associés
FP1 : Déplacement du profilé contre une butée	**CR1 :** Effort de poussée en fonction de la charge à déplacer, vitesse réglable, course mini-maxi réglable.	- **FS1 :** poussée - **FS2 :** retour du poussoir
FP2 : Serrage du profilé	**CR2 :** Course de serrage, irréversibilité, effort de serrage en fonction des efforts d'avance et de coupe, vitesse.	- **FS3 :** serrage - **FS4** : desserrage
FP3 : Déplacement du chariot de sciage	**CR3 :** Effort réduit, vitesse, course mini-maxi réglable.	- **FS5 :** avance lente et régulière - **FS6** : retour rapide
FP4 : Sciage du profilé	**CR4 :** Nature de la matière d'œuvre, nature de la matière de la scie, effort de coupe, longueur de coupe mini-maxi.	Rotation (coupe scie) : • **FS7 :** marche • **FS8 :** arrêt
FP5 : Éjection du tronçon coupé	**CR5 :** Effort de Effort de poussée en fonction de la charge à éjecter, vitesse, course mini-maxi réglable.	- **FS9 :** éjection - **FS10 :** retour de l'éjecteur

Annexe N° 13 : Corrigé Inventaire des tâches

Code	Tâche	Fonction assurée
IT1	T1	Poussée du profilé d'aluminium
IT2	T2	Retour du poussoir
IT3	T3	Serrage du profilé d'aluminium
IT4	T4	Desserrage du profilé d'aluminium
IT5	T5	Mise en marche de la scie
IT6	T6	Arrêt de la scie
IT7	T7	Avance lente et régulière du chariot de sciage
IT8	T8	Retour rapide du chariot de sciage
IT9	T9	Ejection du tronçon coupé
IT10	T10	Retour de l'éjecteur
IT11	T11	Préparation du poste de travail
IT12	T12	Mise en référence
IT13	T13	Protection du matériel
IT14	T14	Sécurité de l'opérateur

Annexe N° 14 : Corrigé Coordination des tâches entre elles

Code : CT1

Tâche T1 (Poussée du profilé d'aluminium)

début si la scie est en référence (fin tâche T13)

et si le profilé est présent

et si le départ de cycle est autorisé

alors pousser le profilé pour le mettre en butée

fin si le profilé est en butée

fin autorise le début de la tâche T3 (Serrage du profilé d'aluminium)

CT2 :

Tâche T2 (Retour du poussoir)

début si fin de la tâche T3 (Serrage du profilé d'aluminium)

alors effectuer le retour du poussoir

fin si le poussoir est à sa position de départ

fin autorise le début de la tâche T5 (Mise en marche de la scie)

Code : CT3

Tâche T3 (Serrage du profilé d'aluminium)

début si fin de la tâche T1 (Poussée du profilé d'aluminium)

alors serrer le profilé d'aluminium

fin si le profilé d'aluminium est serré

fin autorise le début de la tâche T2 (Retour du poussoir)

Code : CT4

Tâche T4 (Desserrage du profilé d'aluminium)

début si fin de la tâche T11 (Retour de l'éjecteur)

alors desserrer le profilé d'aluminium

fin si le profilé d'aluminium est desserré

fin autorise le retour en référence (T13)

Code : CT5

Tâche T5 (Mise en marche de la scie)

début si fin de la tâche T2 (Retour du poussoir)

alors mettre la scie en marche **si pas** de surcharge sur la scie

et si pas de demande d'arrêt d'urgence

fin si le profilé d'aluminium est serré

fin autorise le début de la tâche T7 (Avance - approche rapide du chariot de sciage)

Code : CT6

Tâche T6 (Arrêt de la scie)

début si fin de la tâche T9 (Retour rapide du chariot de sciage)

alors arrêter la scie

fin si la scie est arrêtée

fin autorise le début de la tâche T10 (Ejection du tronçon coupé)

Code : CT7

Tâche T7 (Avance lente et régulière du chariot de sciage)

début si fin de la tâche T5 (Mise en marche de la scie)

alors effectuer l'avance lente et régulière du chariot de sciage

fin si le chariot de sciage est en fin de course avant

fin autorise le début de la tâche T8 (Avance lente du chariot de sciage)

Code : CT8

Tâche T8 (Retour rapide du chariot de sciage)

début si fin de la tâche T7 (Avance lente et régulière du chariot de sciage)

alors effectuer le retour du chariot de sciage

fin si le chariot de sciage est en fin de course arrière

fin autorise le début de la tâche T6 (Arrêt de la scie)

Code : CT9

Tâche T9 (Ejection du tronçon coupé)

début si fin de la tâche T6 (Arrêt de la scie)

alors éjecter le tronçon coupé

fin si le tronçon coupé est éjecté

fin autorise le début de la tâche T10 (Retour de l'éjecteur)

Code : CT10

Tâche T10 (Retour de l'éjecteur)

début si fin de la tâche T9 (Ejection du tronçon coupé)

alors effectuer le retour de l'éjecteur

fin si le l'éjecteur est rentré

fin autorise le début de la tâche T4 (Desserrage du profilé d'aluminium)

Code : CT12

Tâche T12 (Mise en référence)

début si la partie commande (PC) est en situation initiale

et si une demande de mise en référence est formulée

et si la scie n'est pas déjà en référence

alors effectuer le retour du poussoir **et** effectuer le retour du chariot de sciage **et** arrêter la scie **et** effectuer le retour de l'éjecteur **et** desserrer le profilé d'aluminium **et** visualiser la mise en référence

fin si la machine est en référence

fin autorise le début de la tâche T1 (Poussée du profilé d'aluminium)

Annexe N° 15 : Corrigé récapitulatif du choix des options technologiques

Actionneurs		
Tâches	**Code = Symboles**	**Composants**
poussée du profilé contre une butée	1A	vérin pneumatique double effet
serrage du profilé d'aluminium	2A	vérin pneumatique double effet
rotation de la scie	M1	moteur électrique triphasé asynchrone
avance lente et régulière du chariot de sciage	3A	unité oléopneumatique
éjection du tronçon coupé	4A	vérin pneumatique simple effet

Preactionneurs		
Actionneurs	**Code = Symboles**	**Composants**
vérin 1A	1V1	distributeur 5/2 à commande pneumatique
vérin 2A	2V1	distributeur 5/2 à commande pneumatique
moteur M1	KM1	contacteur
vérin 3A	3V1	distributeur 5/2 à commande pneumatique
vérin 4A	4V1	distributeur 3/2 à commande pneumatique

Capteurs		
Détection/Information	**Code = Symboles**	**Composants**
fin de course vérin 1A	1S1 ; 1S2	distributeur 3/2 à galet
fin de course vérin 2A	2S1 ; 2S2	distributeur 3/2 à galet
moteur M1 (marche et arrêt)	KM11	contact auxiliaire du contacteur KM1
	S1 ; S2	Pressostats
fin de course vérin 3A	3S1 ; 3S2	distributeur 3/2 à galet
fin de course vérin 4A	4S1 ; 4S2	distributeur 3/2 à galet
présence profilé au poste de poussée	SP	distributeur 3/2 à galet
départ de cycle	SM	distributeur 3/2 à bouton poussoir
arrêt d'urgence	SU	bouton « coup de poing » unipolaire
mise en référence	SR	distributeur 3/2 à bouton poussoir
protection moteur M1	F2	contact du relais thermique F2

Annexe N° 16 : Corrigé ordre chronologique de l'exécution des différentes tâches

La séquence des tâches de la scie se présente ainsi qu'il suit :

Code : TDT1

Test autorisations de départ données

Début tâche T1

Exécuter tâche T1 : poussée du profilé d'aluminium

Code : TDT3

Test poussée du profilé d'aluminium effectué

Début tâche T3

Exécuter tâche T3 : serrage du profilé d'aluminium

Code : TDT2

Test serrage du profilé d'aluminium effectué

Début tâche T2

Exécuter tâche T2 : retour du poussoir

Code : TDT5

Test retour du poussoir effectué

Début tâche T5

Exécuter tâche T5 : mise en marche de la scie

Code : TDT7

Test rotation scie vérifiée

Début tâche T7

Exécuter tâche T7 : avance lente et régulière du chariot de sciage et maintien scie en rotation

Code : TDT8

Test fin de course avant du chariot de sciage et rotation scie confirmée

Début tâche T8

Exécuter tâche T8 : retour rapide du chariot de sciage
et maintien scie en rotation

Code : TDT6

Test fin de course arrière du chariot de sciage et rotation scie confirmée

Début tâche T6

Exécuter tâche T6 : arrêt de la scie

Code : TDT9

Test scie à l'arrêt

Début tâche T9

Exécuter tâche T9 : éjection du tronçon coupé

Code : TDT10

Test tronçon coupé éjecté

Début tâche T10

Exécuter tâche T10 : Retour de l'éjecteur

Code : TDT4

Test éjecteur rentré

Début tâche T4

Exécuter tâche T4 : Desserrage du profilé d'aluminium

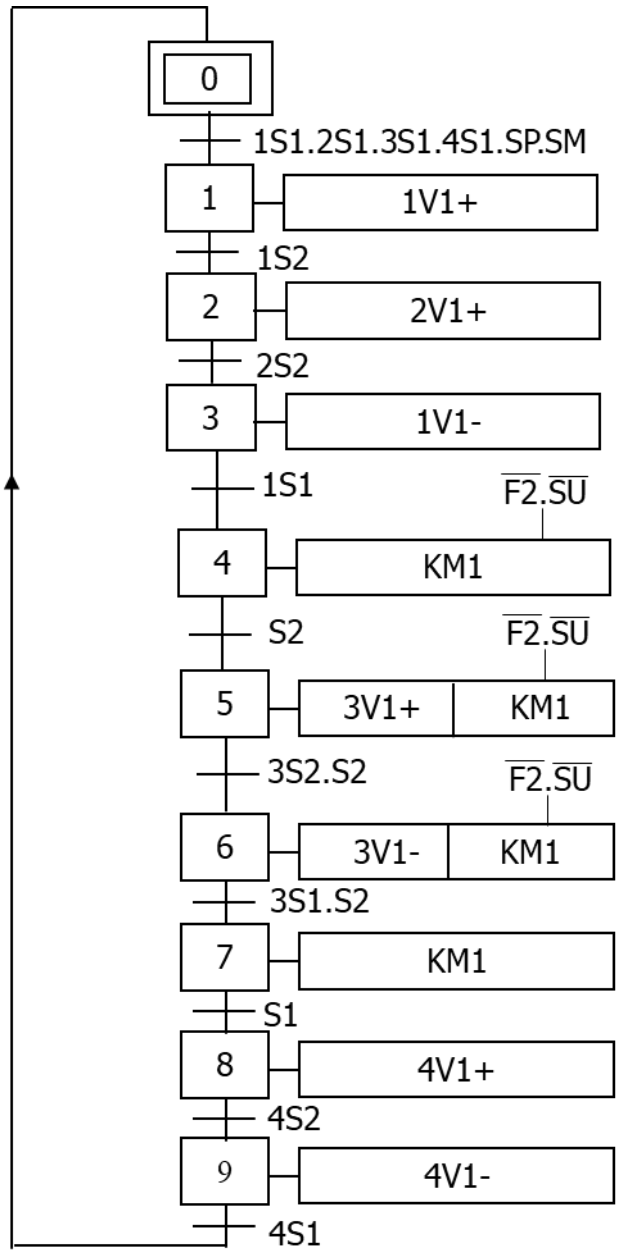
Code : TDT12

Test profilé d'aluminium desserré

Début tâche T12

Exécuter tâche T12 : mise en référence si autorisation et si machine non en référence

Annexe N° 17 : Corrigé GRAFCET du point de vue partie commande de la scie



Annexe N° 18 : Tests normalités appliqués à l'ensemble du dispositif

Test de Shapiro-Wilk (Ensemble_Dispositif) :

W	0,895
p-value (bilatérale)	0,002
alpha	0,050

Interprétation du test :

H0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

Ha : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Test de Anderson-Darling (Ensemble_Dispositif) :

A^2	1,528
p-value (bilatérale)	0,001
alpha	0,050

Interprétation du test :

H0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

Ha : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Test de Lilliefors (Ensemble_Dispositif) :

D	0,247
D (normalisé)	1,485
p-value (bilatérale)	<0,0001
alpha	0,050

Interprétation du test :

H0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

Ha : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Test de Jarque-Bera (Ensemble_Dispositif) :

JB (Valeur observée)	1,688
JB (Valeur critique)	5,991
DDL	2
p-value (bilatérale)	0,430
alpha	0,050

Interprétation du test :

H0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

Ha : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Synthèse :

Variable\Test	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
Ensemble_Dispositif	**0,002**	**0,001**	**<0,0001**	0,430

Figure : P-P plot (Ensemble_Dispositif)

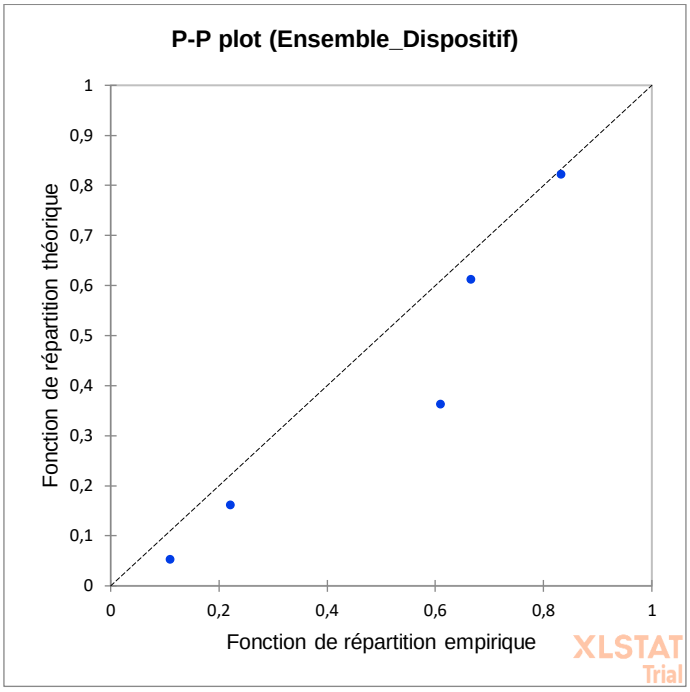
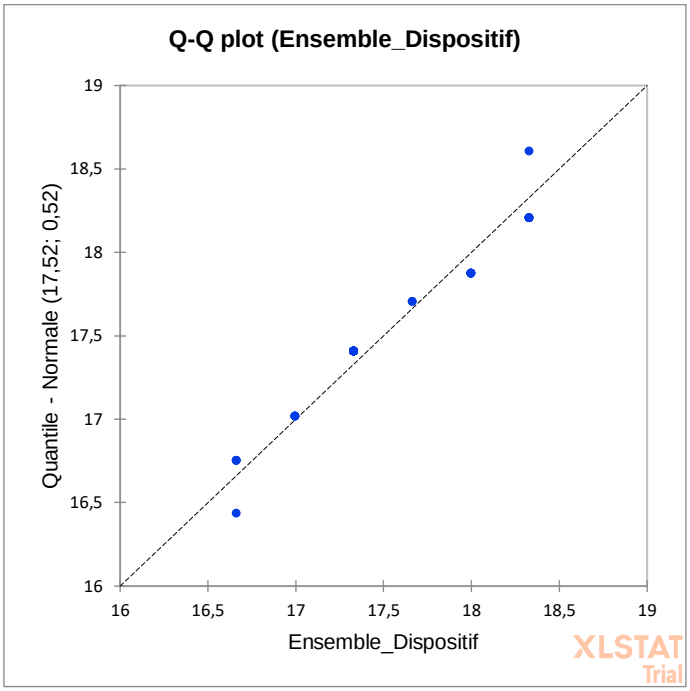


Figure : Q-Q plot (Ensemble_Dispositif)



III. SUPPORTS DE L'INTERPRETATION

Annexe N° 19 : Extrait entretien « préparation »

Modalité	Réponses
Recherche des fonctions	*- J'ai utilisé l'énoncé des travaux pratiques.* *- Le travail à faire m'a permis de retrouver les fonctions principales.* *- Après action, le composant doit retrouver sa position d'origine.* *- Il y a toujours retour après action tel que c'est dit dans l'énoncé du TP.* *- Après le travail du composant, je sais qu'il faut le faire rentrer.* *- Je me suis appuyé sur le mouvement des actionneurs.* *- J'ai utilisé les actionneurs.* *- Je me suis reporté à l'énoncé du TP.*
Contraintes d'antériorité et de ressources matérielles	*- J'utilise les fonctions secondaires pour trouver les tâches.* *- Les tâches sont liés aux fonctions secondaires.* *-Les tâches sont la matérialisation des fonctions secondaires.* *- Je dois d'abord pousser le profilé contre la butée de mise à longueur avant de procéder à son serrage.* *- Après le travail de l'éjecteur, je dois le faire rentrer.*

Annexe N° 20 : Extrait entretien « autoconfrontation »

Protagoniste	Verbalisation et/ou action en situation	Verbalisation en autoconfrontation
GEA1	- « *Clique sur 'GO' pour qu'on vérifie l'évolution de 1V1.* » - « *ça ne donne pas, ça n'avance pas.* » - « *changeons 1V1+ en 1V1-.* »	« *Le GRAFCET n'évolue pas, nous n'avons pas pris la bonne action du préactionneur 1V1.* »
GEC2	- « *Lance nous le test pour qu'on voit si ça donne* » « *Mais POURQUOI l'étape 5 ne s'active pas ?* » - « *Weeee nous avons oublié quoi ? ça ndem.* »	« *L'étape 4 est OK mais l'étape 5 ne s'active pas. Là nous devons vérifier les réceptivités.* »
GEF2	- « *testons si le vérin 1A sort.* » - « *yes, ça donne, sa tige sort.* » - « *Evoluons.* »	« *La tige du vérin 1A sort, nous l'avons bien câblé. Nous pouvons continuer notre câblage.* »
GEJ1	- « *Essayons pour voir si le moteur tourne.* » « *Gars, nous avons réussie.* » - « *on peut continuer.* »	« *Le moteur tourne, le câblage est bon. Nous pouvons poursuivre avec notre dessin* »
GED2	- « *Hé, là tu as oublié la transition.* » - « *Ça ne va pas donner.* » - « *il faut une transition.* »	« *Mon camarade à cet endroit n'a pas respecté la règle étape-transition. Le GRAFCET n'est pas bon.* »

GCO1	« *Ça va ndem, tu n'as pas utilisé le bon code.* » « *C'est le capteur 1S2 et non le distributeur 2V1.* »	« *Il a confondu le code du distributeur avec celui du capteur. Le GRAFCET ne peut pas donner.* »
GEC1	« *Regarde, tu as un simple effet.* » « *Il nous faut un distributeur 3/2 pour l'alimenter.* »	« *Ce vérin est un vérin simple, dont pour le piloter il faut un distributeur 3 orifice et 2 positions.* »
GEE2	« *C'est bon, la sortie 4 de 3V1 est raccordé à l'orifice du fond de 3A.* » « *Là tu raccordes la sortie 2 du même 3V1 à l'orifice de la tige de 3A.* »	« *Le câblage du premier orifice du vérin 3A est bon. Nous pouvons poursuivre avec le câblage du deuxième orifice du vérin 3A.* »

Annexe N° 21 : Tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires de situation de formation du dispositif N° 01

Annexe N° 21.01. : Préparation à simulation du groupe GE

Test du signe / Test bilatéral :

N+	0
Espérance	4,000
Variance (N+)	2,000
p-value (bilatérale)	0,008
alpha	0,05

La p-value est calculée suivant une méthode exacte.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	0
V (normalisé)	-2,828
Espérance	18,000
Variance (V)	40,500
p-value (bilatérale)	0,005
alpha	0,05
La p-value exacte n'a pas pu être calculée. Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.	

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.
Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral

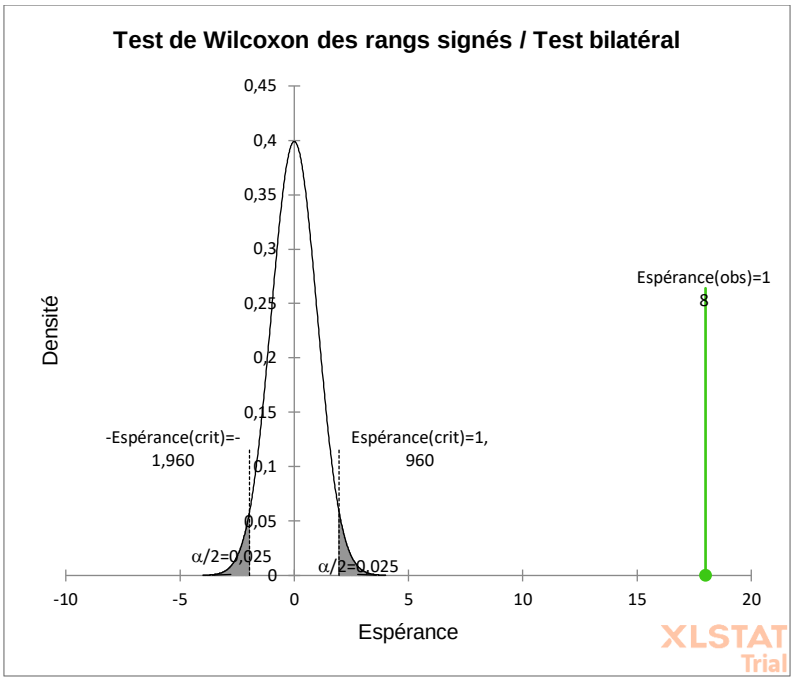


Figure : Box plots

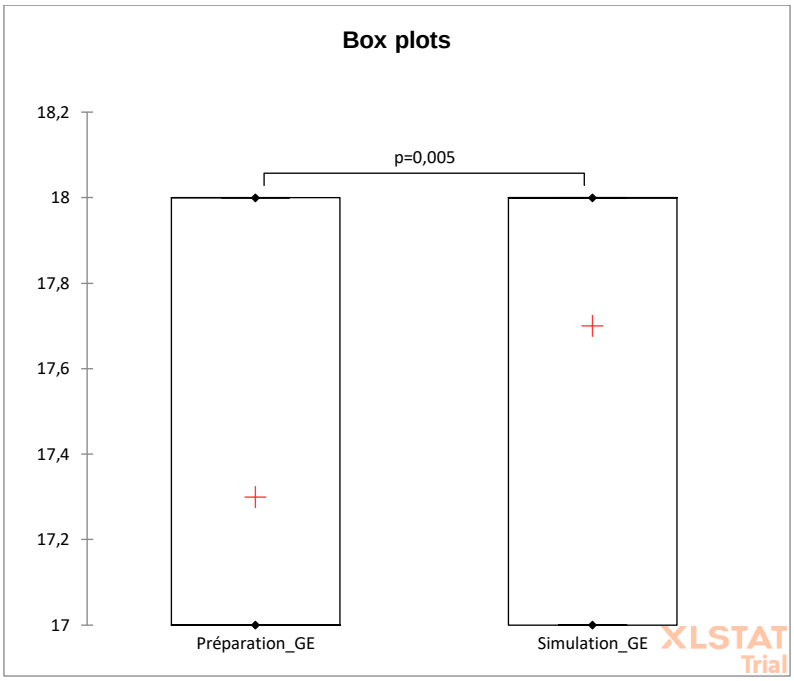
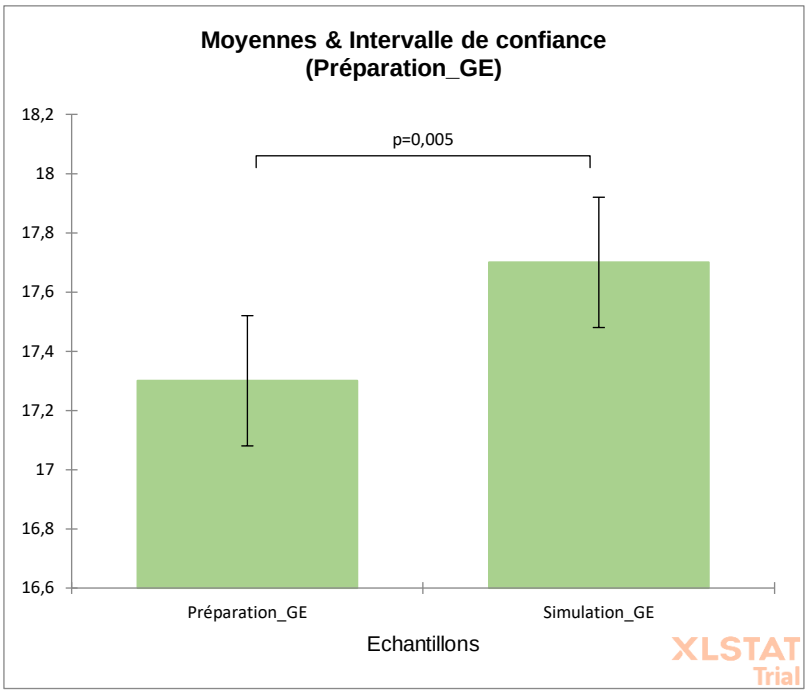


Figure : Moyennes & Intervalle de confiance (Préparation_GE)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Test du signe	Test de Wilcoxon des rangs signés
Préparation_GE	-	
Simulation_GE	**0,008**	**0,005**

Annexe N° 21.02.: Simulation à traditionnelle du groupe GE

Test du signe / Test bilatéral :

N+	0
Espérance	9,000
Variance (N+)	4,500
p-value (bilatérale)	< 0,0001

alpha	0,05
La p-value est calculée suivant une méthode exacte.	

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	0
V (normalisé)	-4,243
Espérance	85,500
Variance (V)	406,125
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05
La p-value exacte n'a pas pu être calculée. Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.	

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral

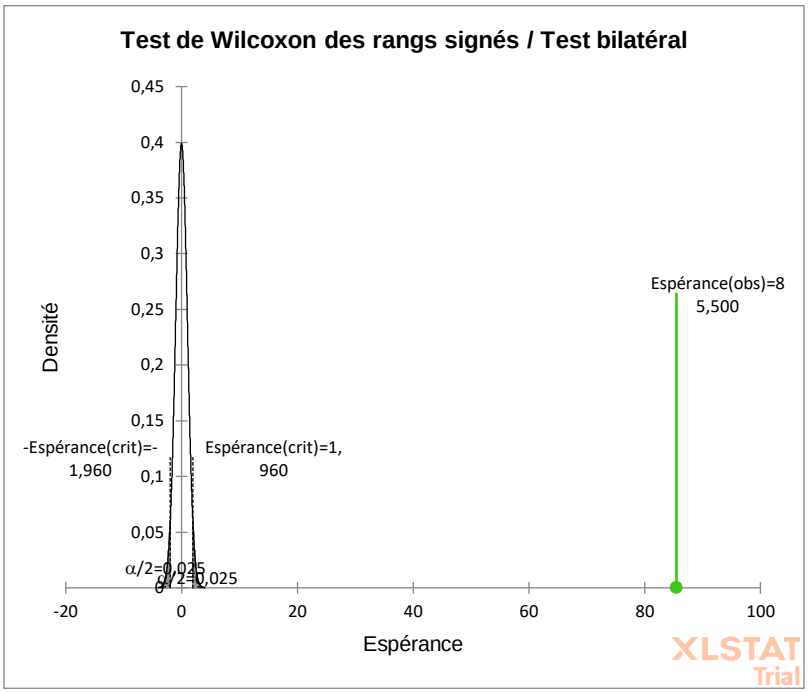


Figure : Box plots

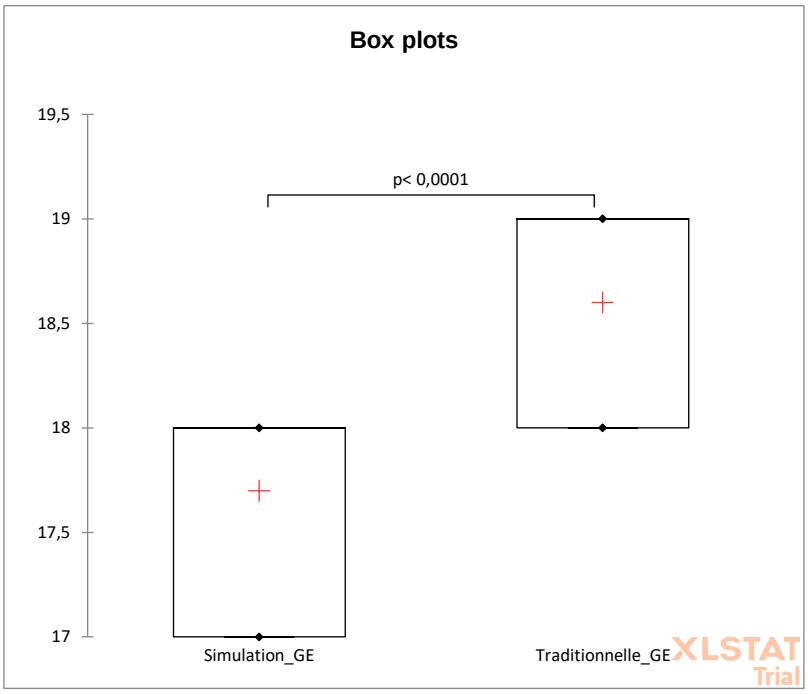
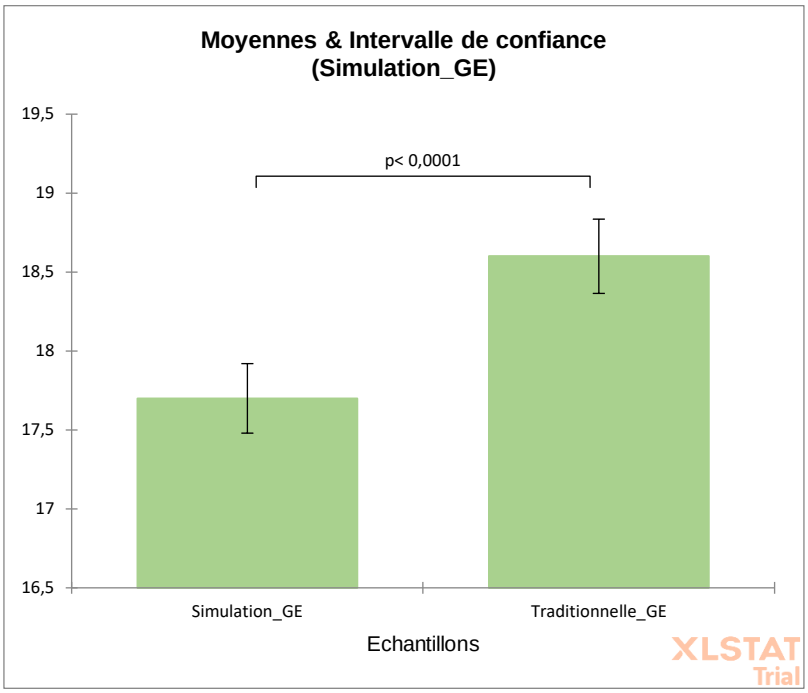


Figure : Moyennes & Intervalle de confiance (Simulation_GE)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Test du signe	Test de Wilcoxon des rangs signés
Simulation_GE	-	
Traditionnelle_GE	**<0,0001**	**<0,0001**

Annexe N° 21.03. : Préparation à traditionnelle du groupe GE

Test du signe / Test bilatéral :

N+	0
Espérance	10,000
Variance (N+)	5,000
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

La p-value est calculée suivant une méthode exacte.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	0
V (normalisé)	-4,099
Espérance	105,000
Variance (V)	656,250
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05
La p-value exacte n'a pas pu être calculée. Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.	

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral

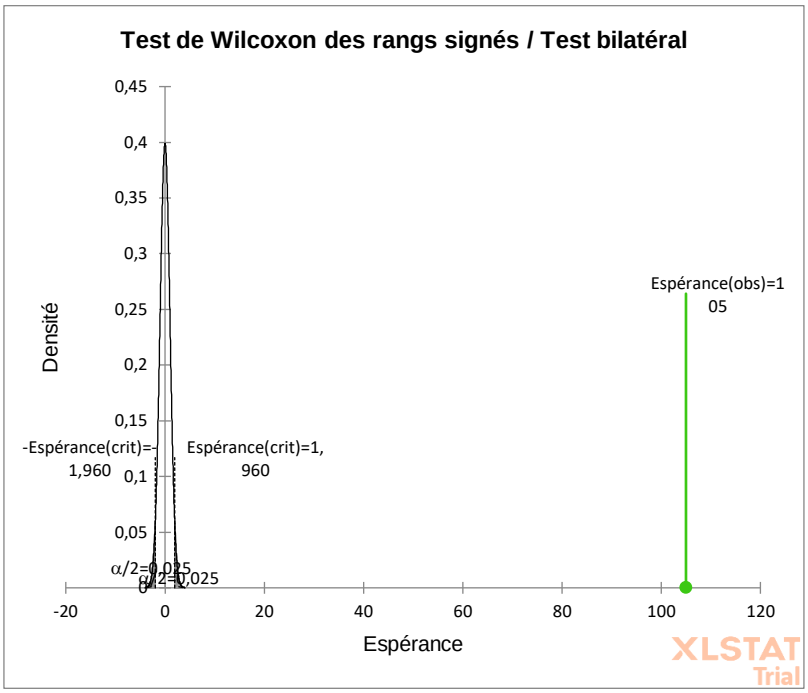


Figure : Box plots

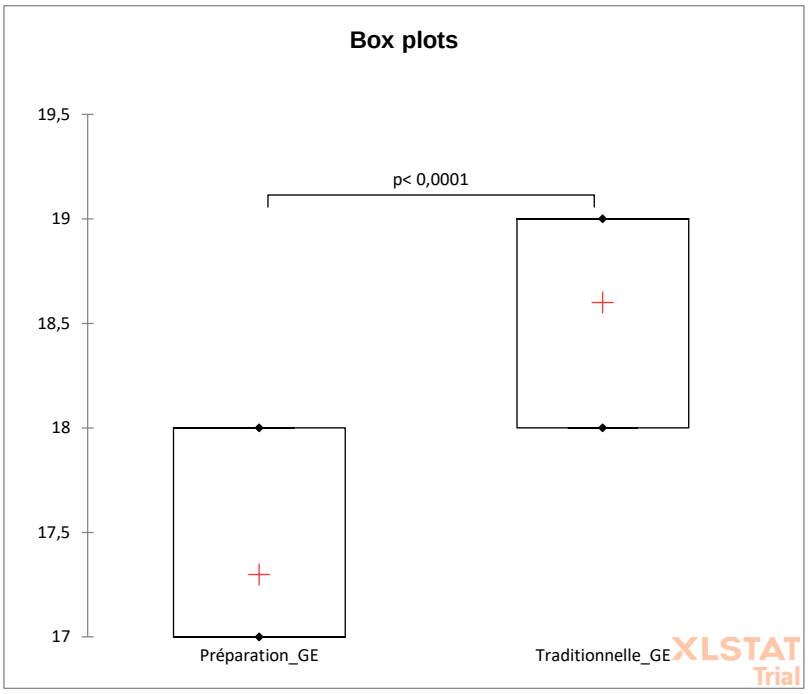
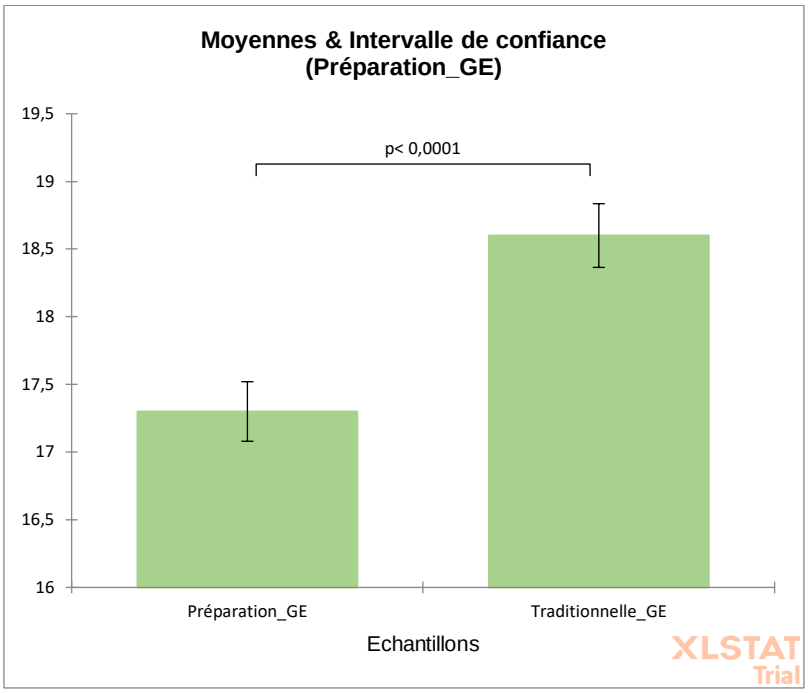


Figure : Moyennes & Intervalle de confiance (Préparation_GE)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Test du signe	Test de Wilcoxon des rangs signés
Préparation_GE - Traditionnelle_GE	**<0,0001**	**<0,0001**

Annexe N° 22 : Tests statistiques appliqués à l'évolution des scores des différentes paires de situation de formation du dispositif N° 02

Annexe N° 22.01. : Préparation à traditionnelle du groupe GC

Test du signe / Test bilatéral :

N+	10
Espérance	5,000
Variance (N+)	2,500
p-value (bilatérale)	0,002
alpha	0,05

La p-value est calculée suivant une méthode exacte.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	55
V (normalisé)	2,972
Espérance	27,500
Variance (V)	85,625
p-value (bilatérale)	0,003
alpha	0,05

La p-value exacte n'a pas pu être calculée. Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.
Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral

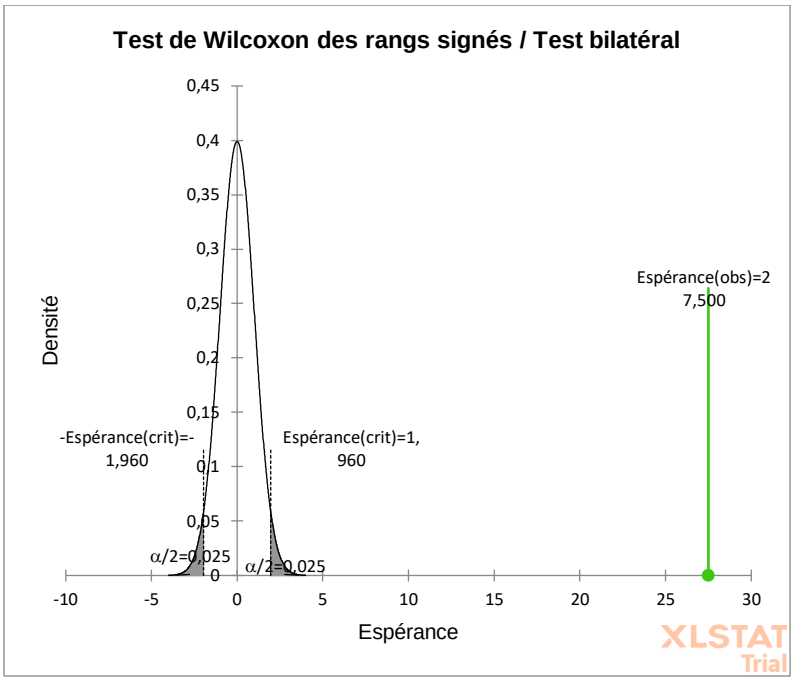


Figure : Box plots

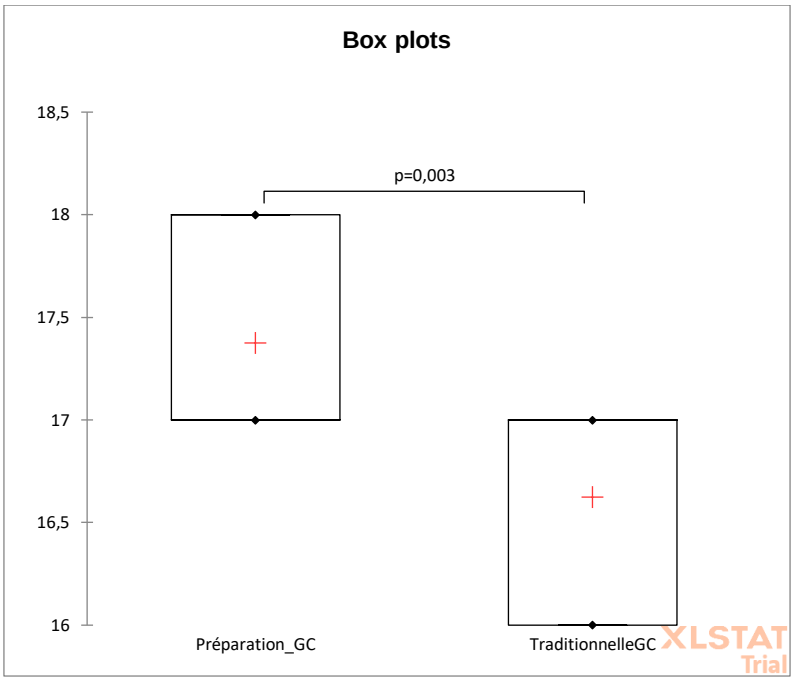
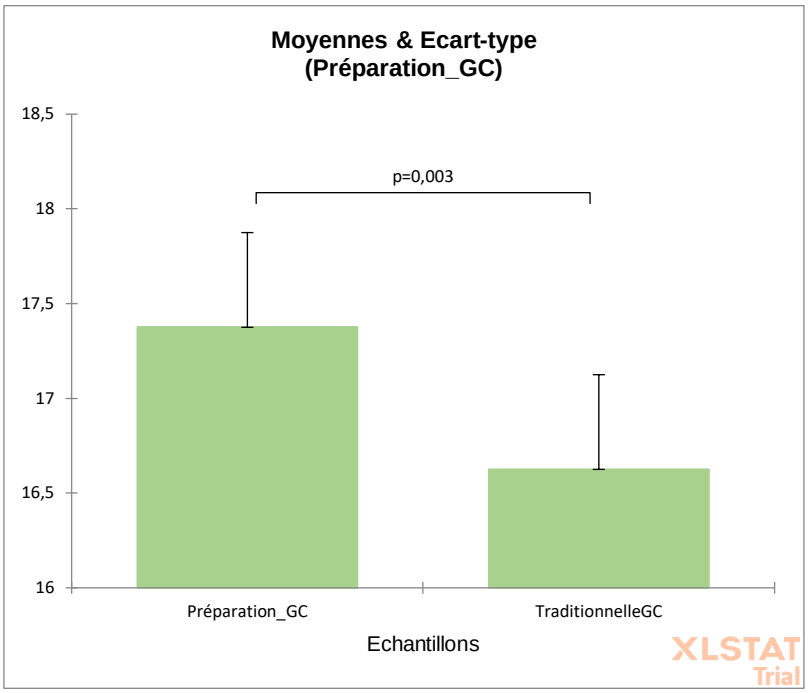


Figure : Moyennes & Ecart-type (Préparation_GC)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Test du signe	Test de Wilcoxon des rangs signés
Préparation_GC - TraditionnelleGC	0,002	0,003

Annexe N° 22.02. : Traditionnelle à simulation du groupe GC

Test du signe / Test bilatéral :

N+	0
Espérance	5,000
Variance (N+)	2,500
p-value (bilatérale)	0,002
alpha	0,05

La p-value est calculée suivant une méthode exacte.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	0
V (normalisé)	-3,162
Espérance	27,500
Variance (V)	75,625
p-value (bilatérale)	0,002
alpha	0,05

La p-value exacte n'a pas pu être calculée. Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral

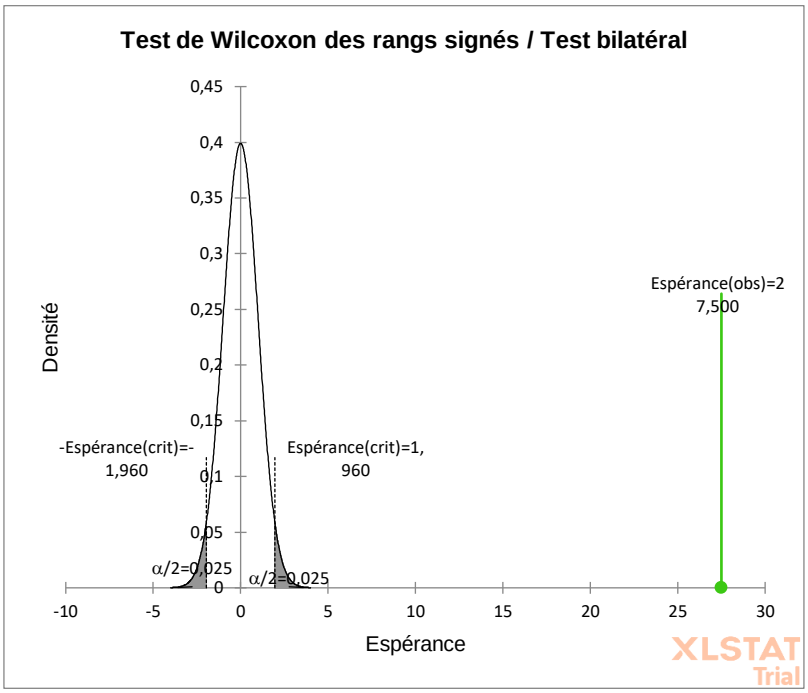


Figure : Box plots

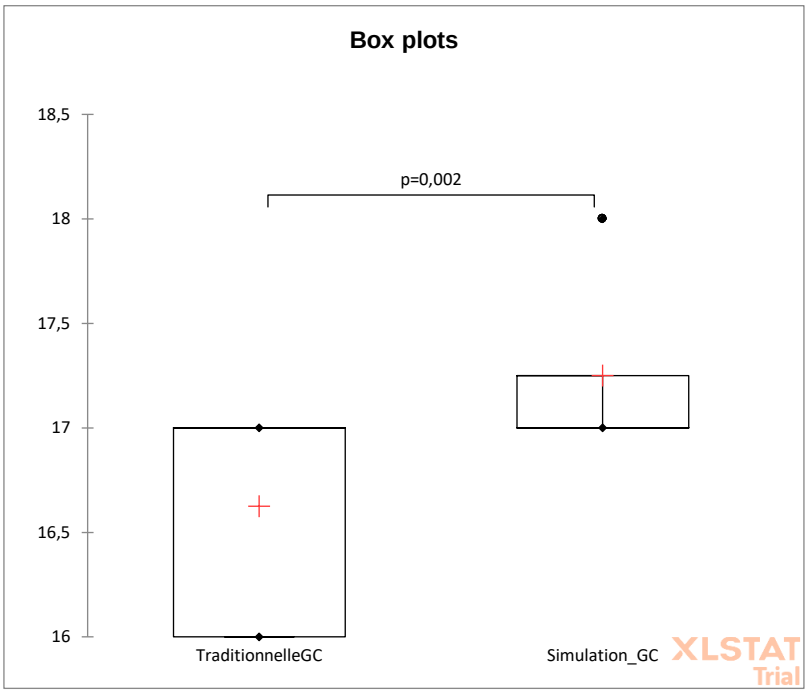
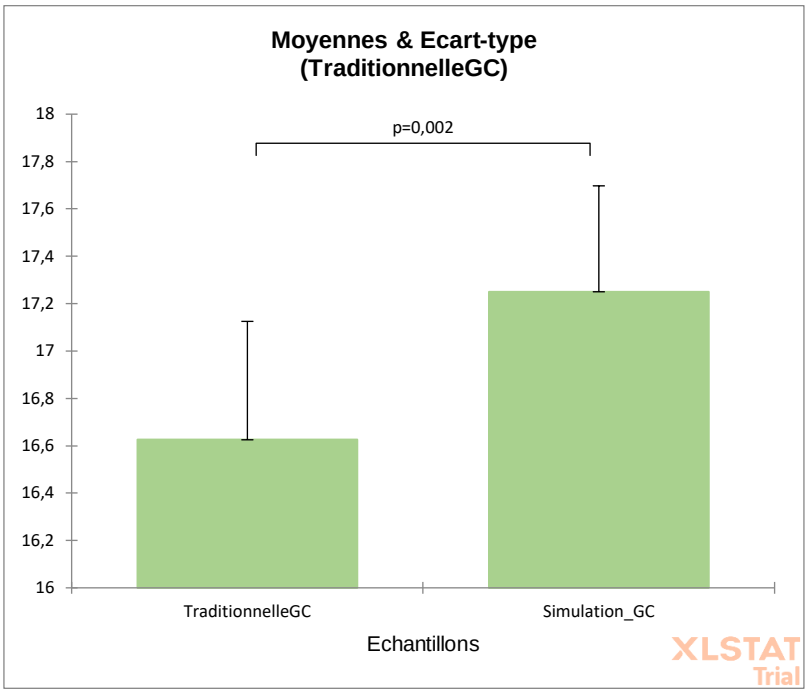


Figure : Moyennes & Ecart-type (TraditionnelleGC)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Test du signe	Test de Wilcoxon des rangs signés
TraditionnelleGC	-	
Simulation_GC	0,002	0,002

Annexe N° 22.03. : Préparation à simulation du groupe GC

Test du signe / Test bilatéral :

N+	6
Espérance	5,000
Variance (N+)	2,500
p-value (bilatérale)	0,754
alpha	0,05

La p-value est calculée suivant une méthode exacte.

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	33
V (normalisé)	0,632
Espérance	27,500
Variance (V)	75,625
p-value (bilatérale)	0,527
alpha	0,05
La p-value exacte n'a pas pu être calculée. Une approximation a été utilisée pour calculer la p-value.	

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral

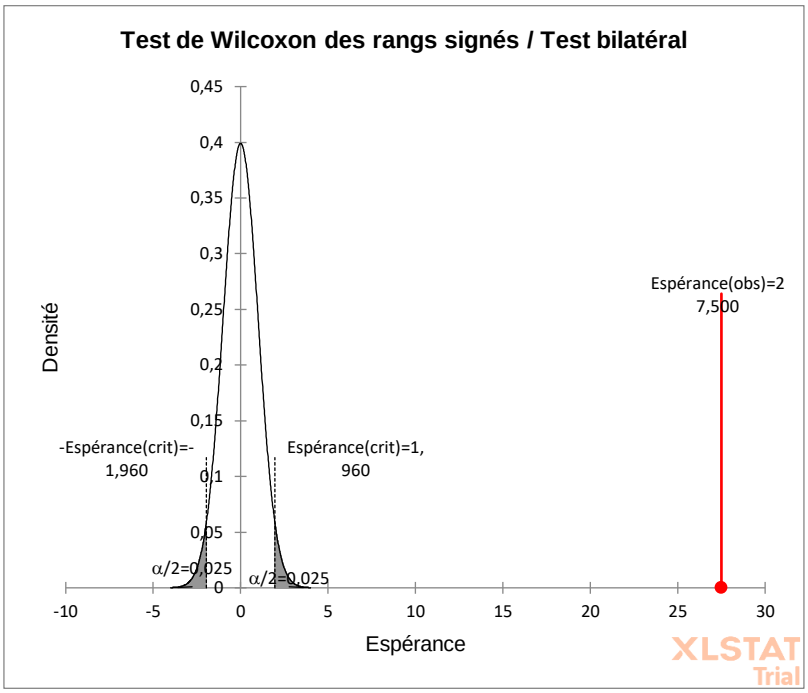


Figure : Box plots

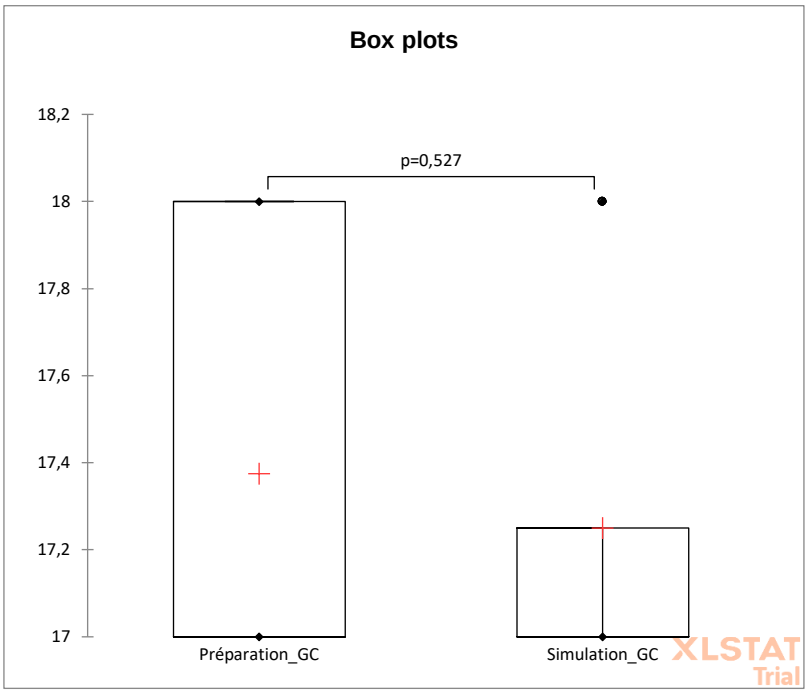
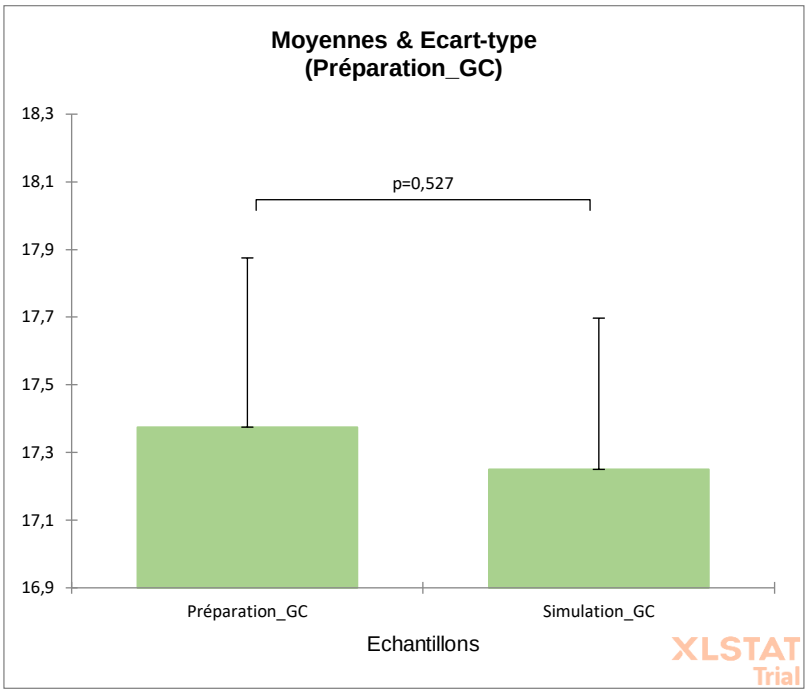


Figure : Moyennes & Ecart-type (Préparation_GC)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Test du signe	Test de Wilcoxon des rangs signés
Préparation_GC Simulation_GC	- 0,754	0,527

Annexe N° 23 : Tests statistiques appliqués à la comparaison du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02

Annexe N° 23.01. : Comparaison du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	296
U (normalisé)	0,000
Espérance	160,000
Variance (U)	917,333
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05
La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.	

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots

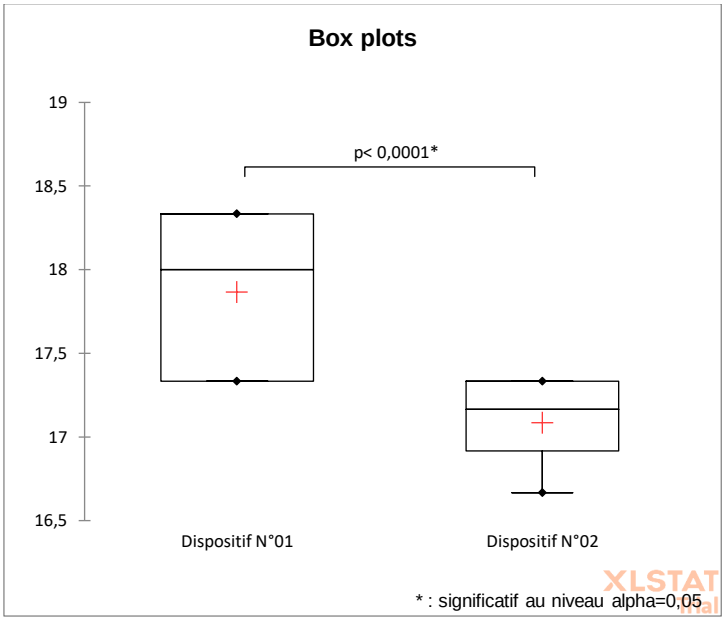
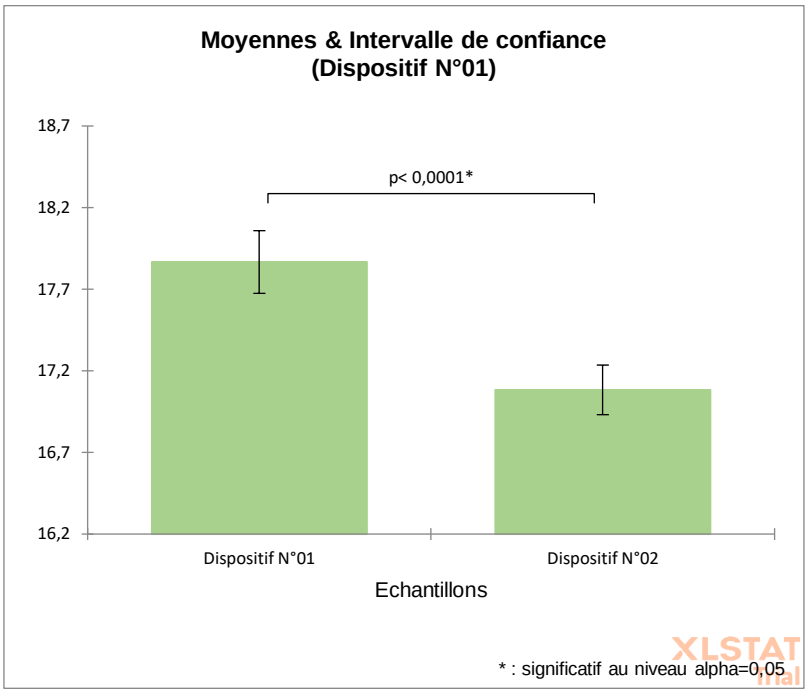


Figure : Moyennes & Intervalle de confiance (Dispositif N°01)



Annexe N° 23.02. : Comparaison du dispositif N° 01 et du dispositif N° 02 sans les redoublants

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	188
U (normalisé)	0,000
Espérance	100,000
Variance (U)	488,276
p-value (bilatérale)	<0,0001
alpha	0,050
La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.	

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots

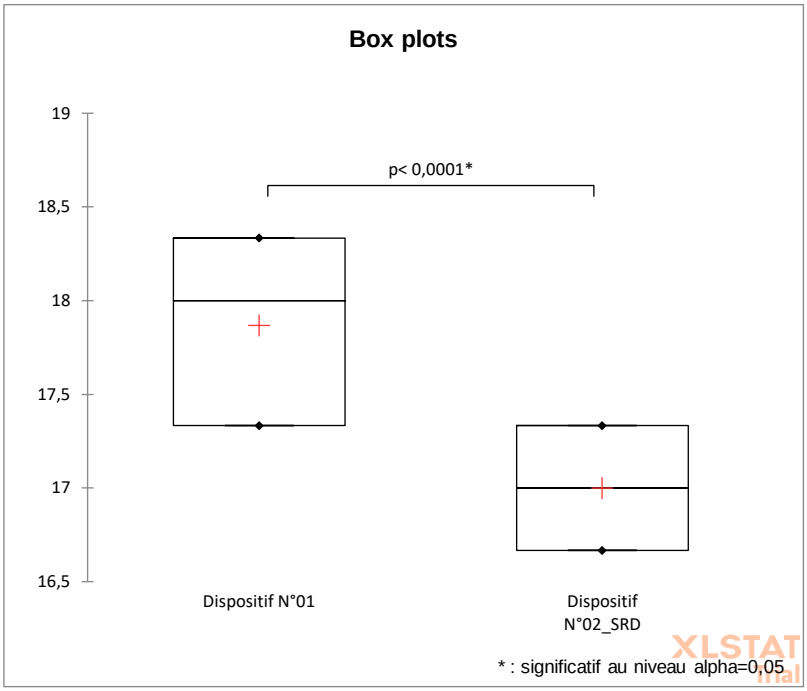
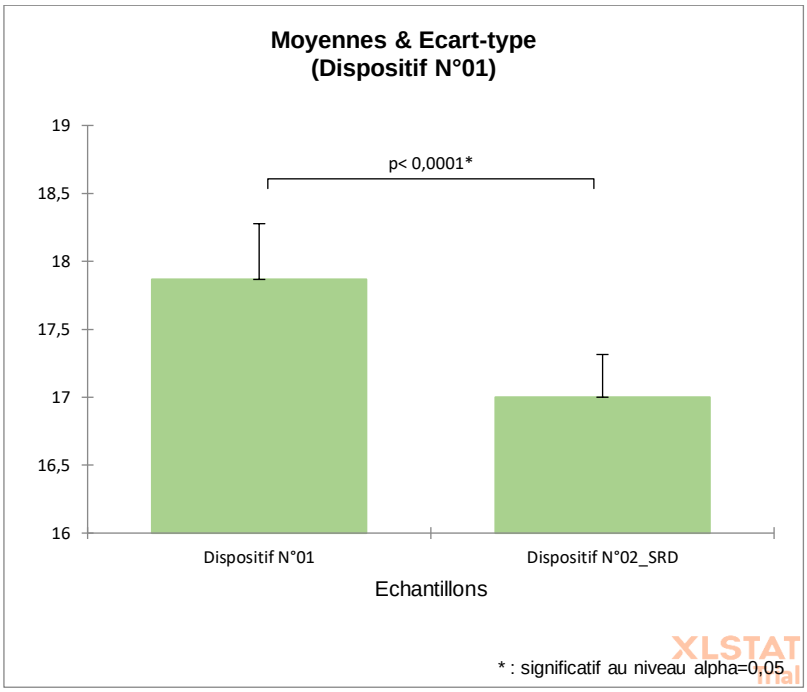


Figure : Moyennes & Ecart-type
(Dispositif N°01)



Annexe N° 24. : Influence du dossier élevé sur les différents dispositifs

Annexe N° 24.01. : Influence de l'âge sur les différents dispositifs

Annexe N° 24.01.1. : Influence de l'âge sur le dispositif N° 01

Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	Dispositif N° 01	âge
Dispositif N° 01	**1**	-0,271
âge	-0,271	**1**

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Intervalles de confiance (95%) / Borne inférieure :

Variables	Dispositif N° 01	âge
Dispositif N° 01	**1**	-0,642
âge	-0,642	**1**

Intervalles de confiance (95%) / Borne supérieure :

Variables	Dispositif N° 01	âge
Dispositif N° 01	**1**	0,203
âge	0,203	**1**

p-values (Spearman) :

Variables	Dispositif N° 01	âge
Dispositif N° 01	**5,97636E-06**	0,247
âge	0,247	**5,97636E-06**

Coefficients de détermination (Spearman) :

Coefficients de détermination (Spearman) :

Variables	Dispositif N° 01	âge
Dispositif N° 01	**1**	0,074
âge	0,074	**1**

Figure : Cartes des corrélations :

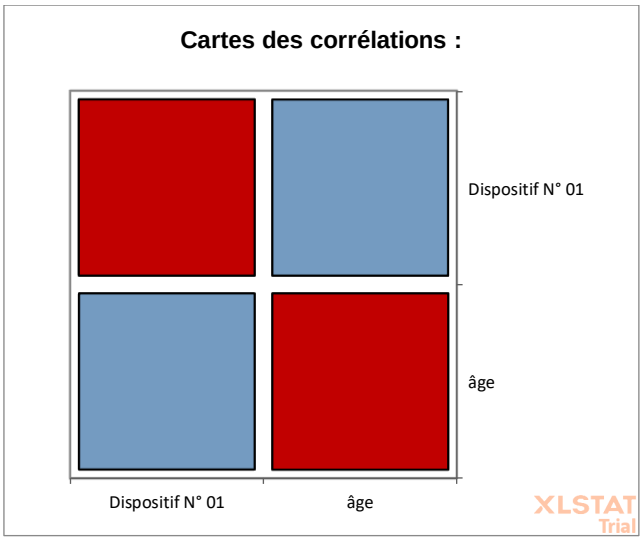
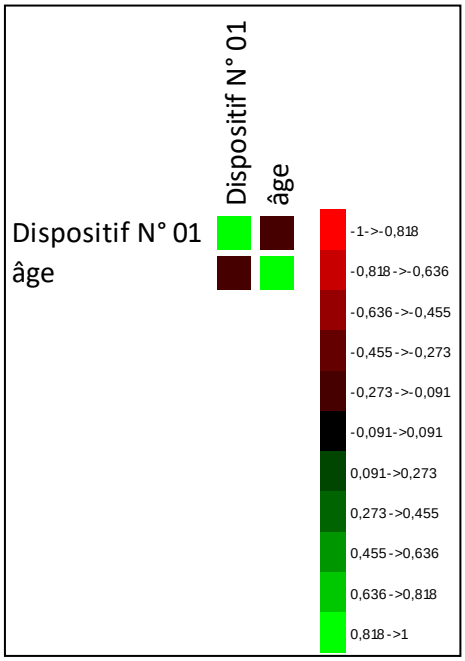


Figure : Image de la matrice de corrélation



Annexe N° 24.01.2. : Influence de l'âge sur le dispositif N° 02

Matrice de corrélation (Spearman) :

Variables	Dispositif N° 02	âge
Dispositif N° 02	**1**	0,306
âge	0,306	**1**

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Intervalles de confiance (95%) / Borne inférieure :

Variables	Dispositif N° 02	âge
Dispositif N° 02	**1**	-0,236
âge	-0,236	**1**

Intervalles de confiance (95%) / Borne supérieure :

Variables	Dispositif N° 02	âge
Dispositif N° 02	**1**	0,702
âge	0,702	**1**

p-values (Spearman) :

Variables	Dispositif N° 02	âge
Dispositif N° 02	**6,98145E-06**	0,249
âge	0,249	**6,98145E-06**

Coefficients de détermination (Spearman) :

Variables	Dispositif N° 02	âge
Dispositif N° 02	**1**	0,093
âge	0,093	**1**

Figure : Cartes des corrélations :

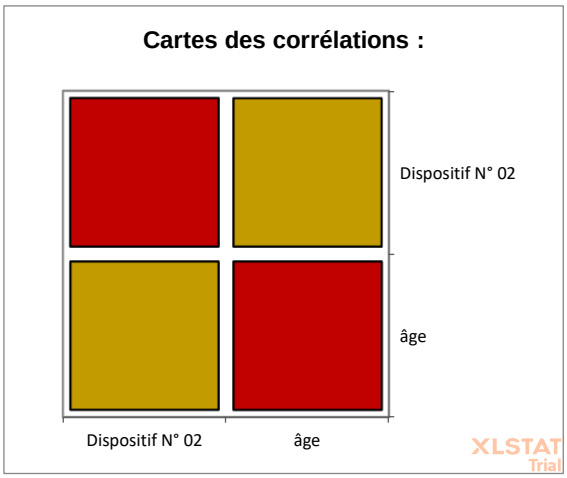
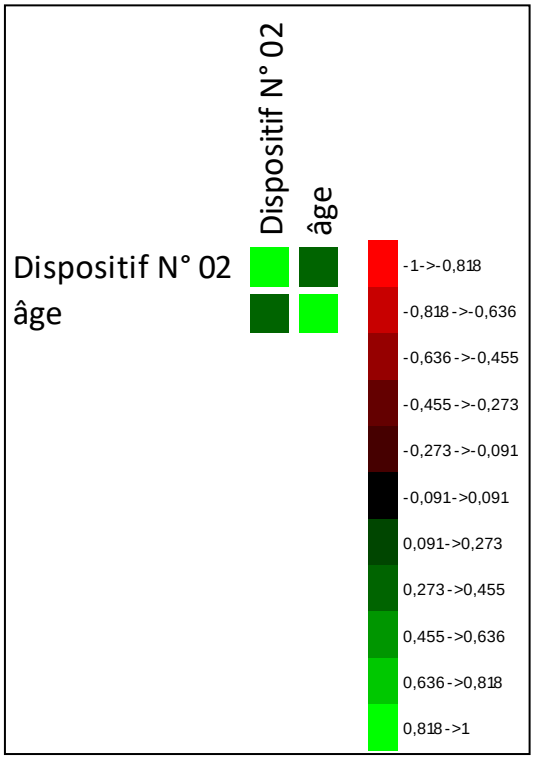


Figure : Image de la matrice de corrélation



Annexe N° 24.01.1. : Influence de l'âge sur l'ensemble du dispositif

Matrice de corrélation (Pearson) :

Variables	Dispositif	âge
Dispositif	**1**	**-0,416**
âge	**-0,416**	**1**
Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05		

Intervalles de confiance (95%) / Borne inférieure :

Variables	Dispositif	âge
Dispositif	**1**	-0,655
âge	-0,655	**1**

Intervalles de confiance (95%) / Borne supérieure :

Intervalles de confiance (95%) / Borne supérieure :

Variables	Dispositif	âge
Dispositif	**1**	-0,102
âge	-0,102	**1**

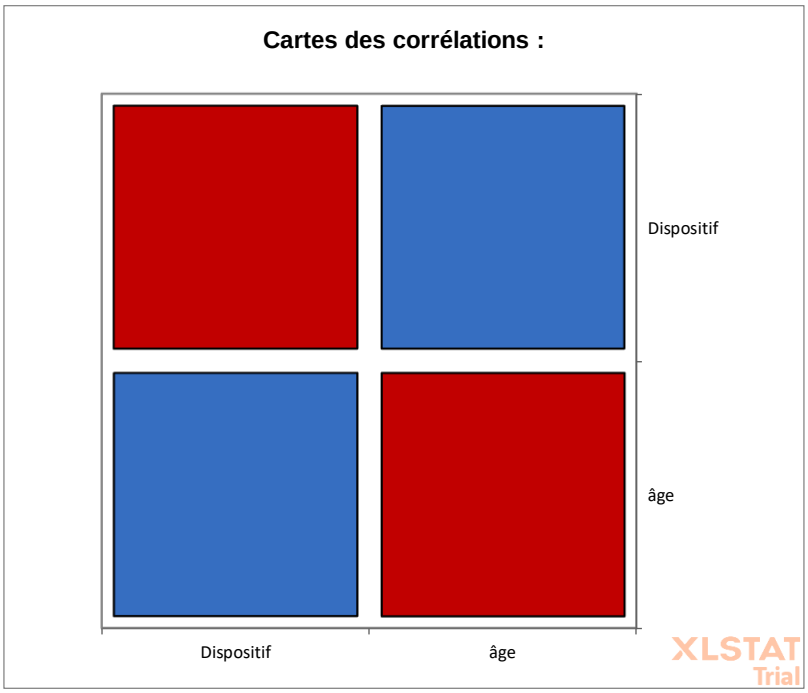
p-values (Pearson) :

Variables	Dispositif	âge
Dispositif	**0**	**0,012**
âge	**0,012**	**0**

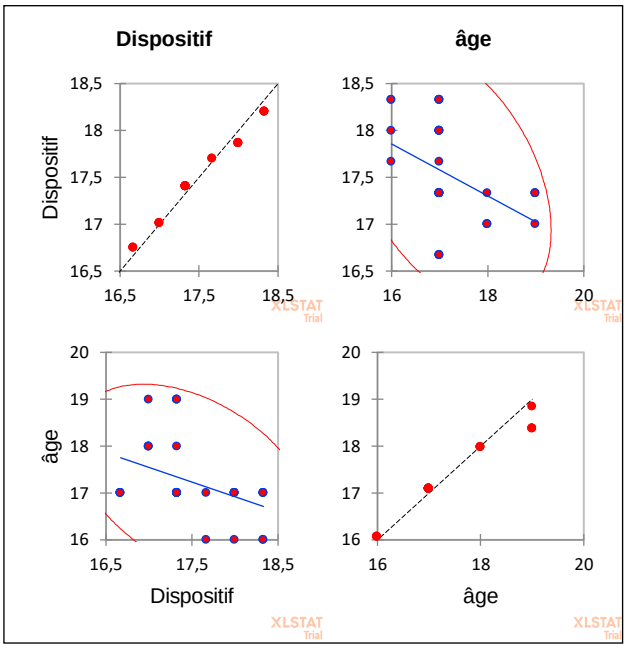
Coefficients de détermination (Pearson) :

Variables	Dispositif	âge
Dispositif	**1**	0,173
âge	0,173	**1**

Figure : Cartes des corrélations :



Nuages de points :



Annexe N° 24.02. : Influence du redoublement sur les différents dispositifs

Annexe N° 24.02.1. : Influence du redoublement sur le dispositif N° 02

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Redoublant	Oui	4	4	25,000
	non	10	10	62,500
	oui	2	2	12,500

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Dispositif N° 02 | Oui	4	0	4	17,330	17,330	17,330	0,000
Dispositif N° 02 | non	10	0	10	16,670	17,330	17,000	0,311
Dispositif N° 02 | oui	2	0	2	17,000	17,000	17,000	0,000

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral (Dispositif N° 02 | non - Dispositif N° 02 | Oui) :

U	32
Espérance	20,000
Variance (U)	39,560
p-value (bilatérale)	0,089
alpha	0,050

La p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo. Temps passé : 0s.

Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :] 0,082; 0,096 [

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral (Dispositif N° 02 | oui - Dispositif N° 02 | Oui) :

U	8
Espérance	4,000
Variance (U)	3,200
p-value (bilatérale)	<0,0001
alpha	0,050

La p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo. Temps passé : 0s.

Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :

] 0,000; 0,000 [

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral (Dispositif N° 02 | oui - Dispositif N° 02 | non) :

U	10
Espérance	10,000
Variance (U)	19,394
p-value (bilatérale)	0,678
alpha	0,050

La p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo. Temps passé : 0s.

Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :

] 0,666; 0,690 [

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Comparaisons par paires (Dispositif N° 02) :

Différences :

	Oui	non	oui
Oui	0	32,000	**8,000**
non	32,000	0	10,000
oui	**8,000**	10,000	0

p-values :

	Oui	non	oui
Oui	1	0,089	**<0,0001**
non	0,089	1	0,678
oui	**<0,0001**	0,678	1

Différences significatives :

	Oui	non	oui
Oui	Non	Non	**Oui**
non	Non	Non	Non
oui	**Oui**	Non	Non

Figure : Box plots (Dispositif N° 02)

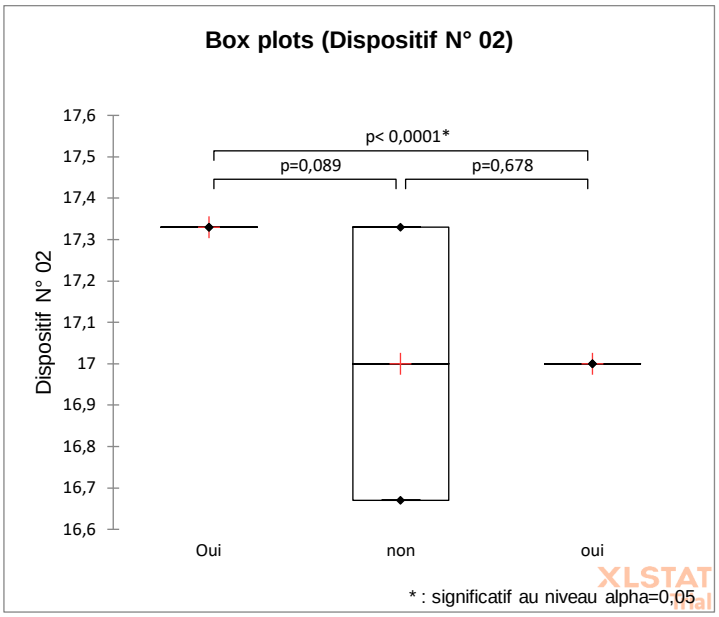
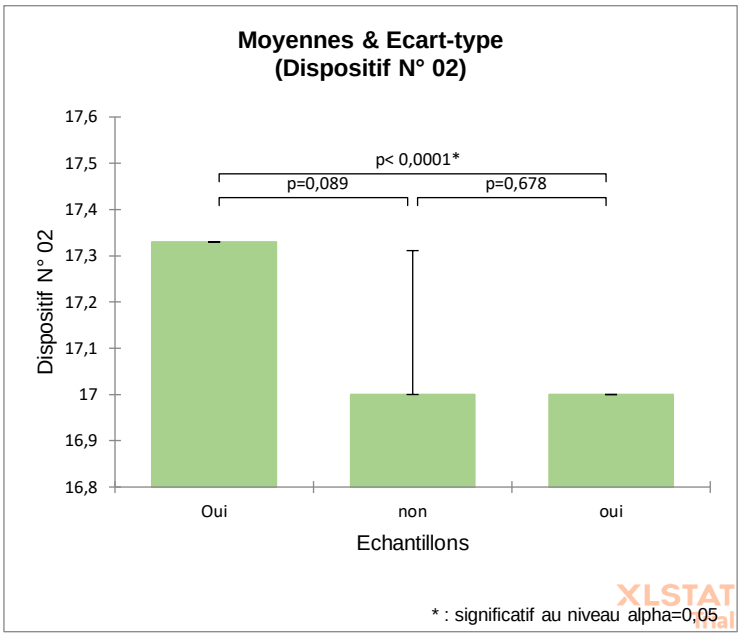


Figure : Moyennes & Ecart-type (Dispositif N° 02)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Oui - non	Oui - oui	non - oui
Dispositif N° 02	0,089	**<0,0001**	0,678

Annexe N° 24.02.2. : Influence du redoublement sur l'ensemble du dispositif

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Redoublant	Oui	4	4	11,111
	non	30	30	83,333
	oui	2	2	5,556

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ens_Dispositif | Oui	4	0	4	17,330	17,330	17,330	0,000
Ens_Dispositif | non	30	0	30	16,670	18,330	17,577	0,559
Ens_Dispositif | oui	2	0	2	17,000	17,000	17,000	0,000

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral (Ens_Dispositif | non - Ens_Dispositif | Oui) :

U	44
Espérance	60,000
Variance (U)	321,283
p-value (bilatérale)	0,409
alpha	0,050

La p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo. Temps passé : 0s.

Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :

] 0,397; 0,422 [

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral (Ens_Dispositif | oui - Ens_Dispositif | Oui) :

U	8
Espérance	4,000
Variance (U)	3,200
p-value (bilatérale)	<0,0001
alpha	0,050

La p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo. Temps passé : 0s.

Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :

] 0,000; 0,000 [

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral (Ens_Dispositif | oui - Ens_Dispositif | non) :

U	50
Espérance	30,000
Variance (U)	157,258
p-value (bilatérale)	0,208
alpha	0,050

La p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo. Temps passé : 0s.

Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :

] 0,197; 0,218 [

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Comparaisons par paires (Ens_Dispositif) :

Différences :

	Oui	non	oui
Oui	0	44,000	**8,000**
non	44,000	0	50,000
oui	**8,000**	50,000	0

p-values :

	Oui	non	oui
Oui	1	0,409	**<0,0001**
non	0,409	1	0,208
oui	**<0,0001**	0,208	1

Différences significatives :

	Oui	non	oui
Oui	Non	Non	**Oui**
non	Non	Non	Non
oui	**Oui**	Non	Non

Figure : Box plots (Ens_Dispositif)

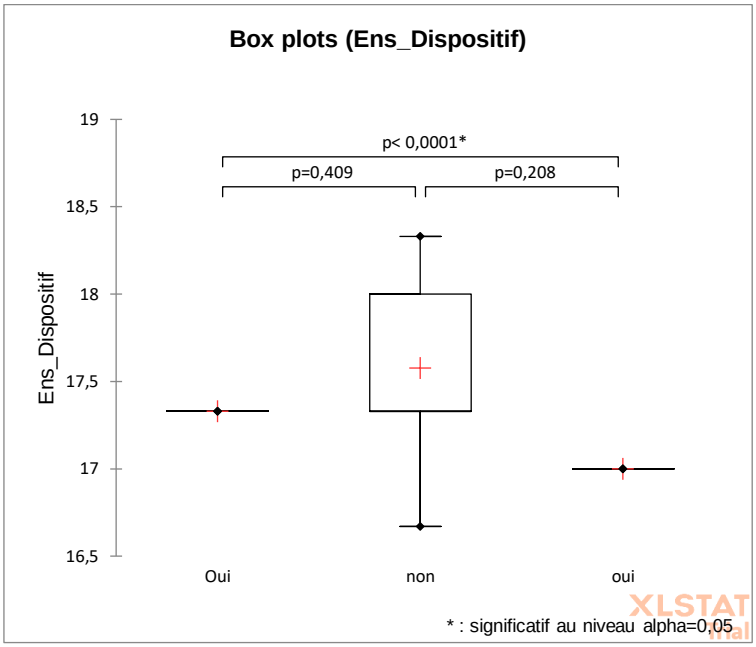
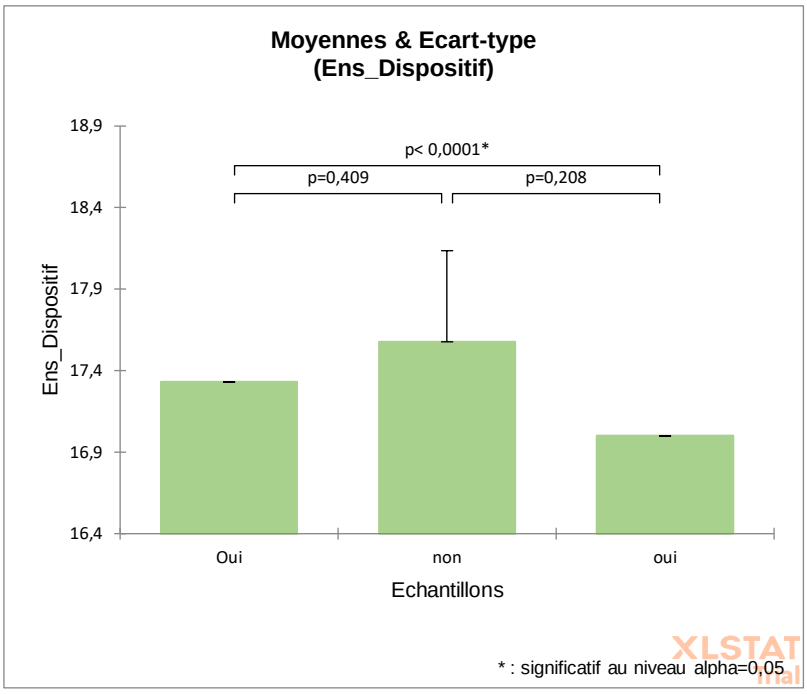


Figure : Moyennes & Ecart-type (Ens_Dispositif)



Synthèse (p-values) :

Variable\Sous-échantillons	Oui - non	Oui - oui	non - oui
Ens_Dispositif	0,409	**<0,0001**	0,208

Annexe N° 24.03. : Influence de l'internat sur les différents dispositifs

Annexe N° 24.03.1. : Influence de l'internat sur le dispositif N° 01

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Interne	non	16	16	80,000
	oui	4	4	20,000

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Dispositif N° 01 | non	16	0	16	17,330	18,330	17,853	0,421
Dispositif N° 01 | oui	4	0	4	17,330	18,330	17,915	0,420

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	30
U (normalisé)	0,000
Espérance	32,000
Variance (U)	103,074
p-value (bilatérale)	0,930
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Dispositif N° 01)

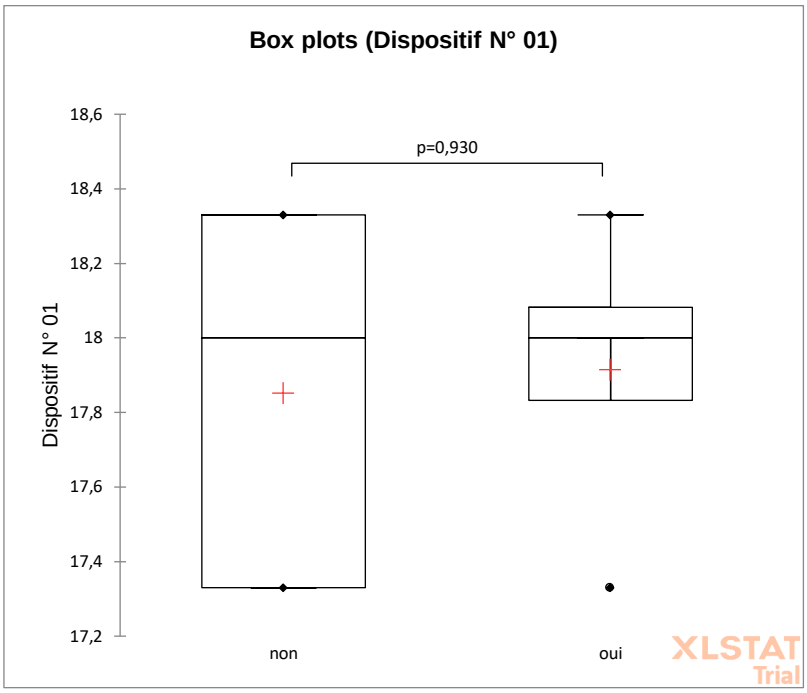
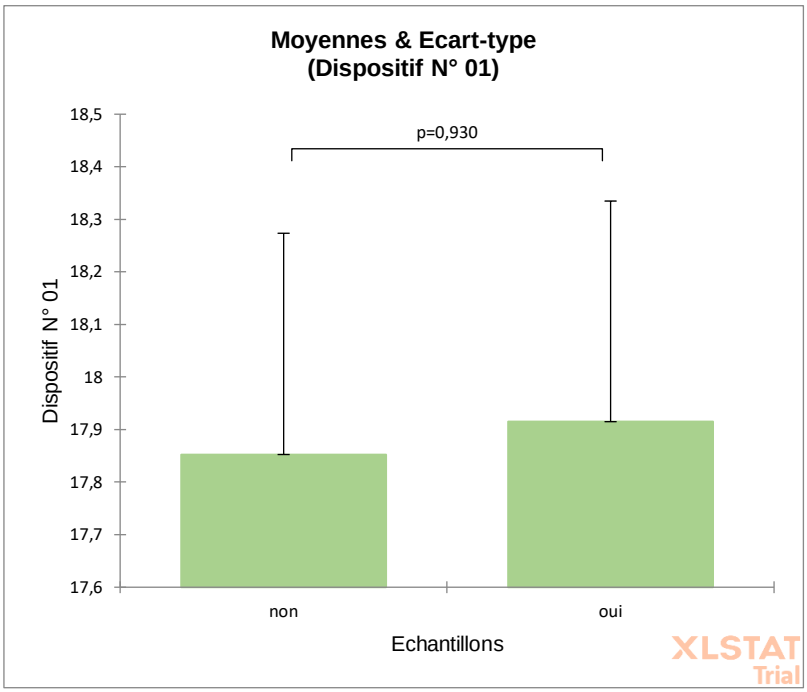


Figure : Moyennes & Ecart-type
(Dispositif N° 01)



Annexe N° 24.03.2. : Influence de l'internat sur le dispositif N° 02

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Interne	non	14	14	87,500
	oui	2	2	12,500

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Dispositif N° 02 | non	14	0	14	16,670	17,330	17,047	0,285
Dispositif N° 02 | oui	2	0	2	17,330	17,330	17,330	0,000

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	6
U (normalisé)	0,000
Espérance	14,000
Variance (U)	33,600
p-value (bilatérale)	0,367
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Dispositif N° 02)

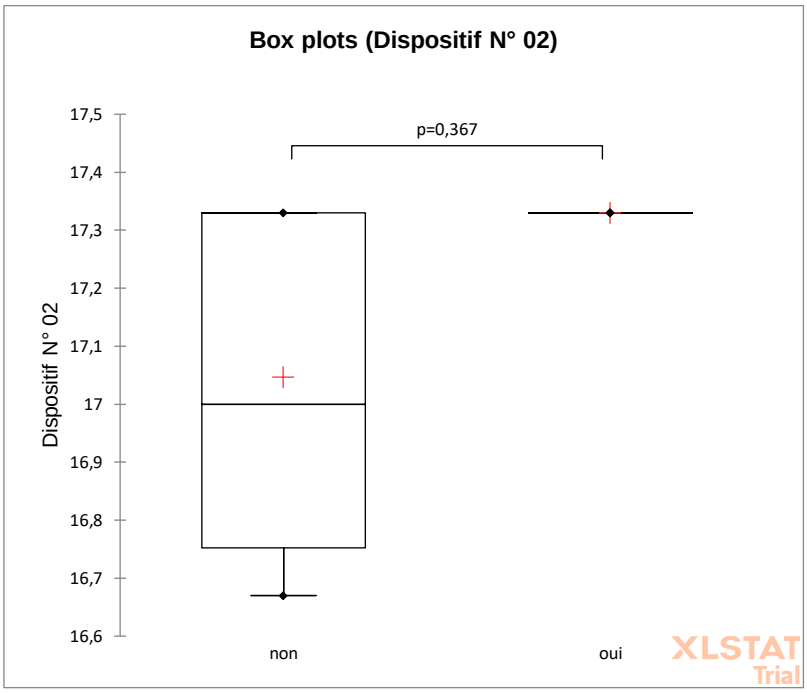
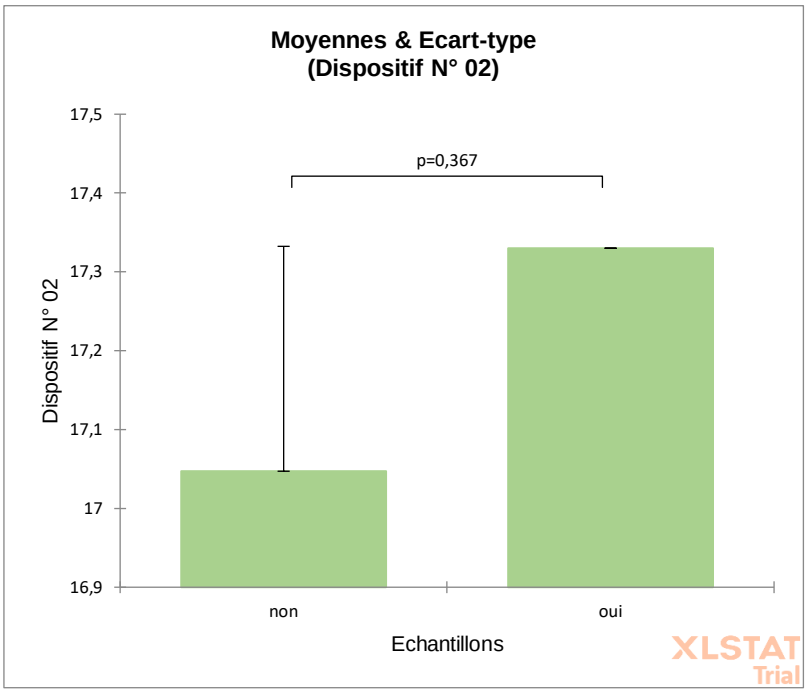


Figure : Moyennes & Ecart-type

(Dispositif N° 02)



Annexe N° 24.03.3. : Influence de l'internat sur l'ensemble du dispositif

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Interne	non	30	30	83,333
	oui	6	6	16,667

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ens_Dispositif | non	30	0	30	16,670	18,330	17,477	0,543
Ens_Dispositif | oui	6	0	6	17,330	18,330	17,720	0,444

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	66
U (normalisé)	0,000
Espérance	90,000
Variance (U)	516,000
p-value (bilatérale)	0,303
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Ens_Dispositif)

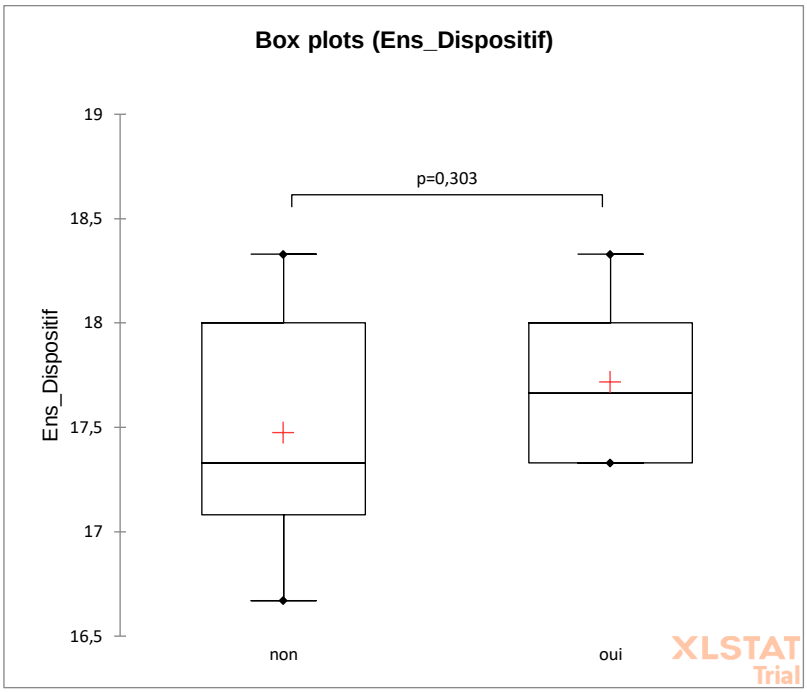
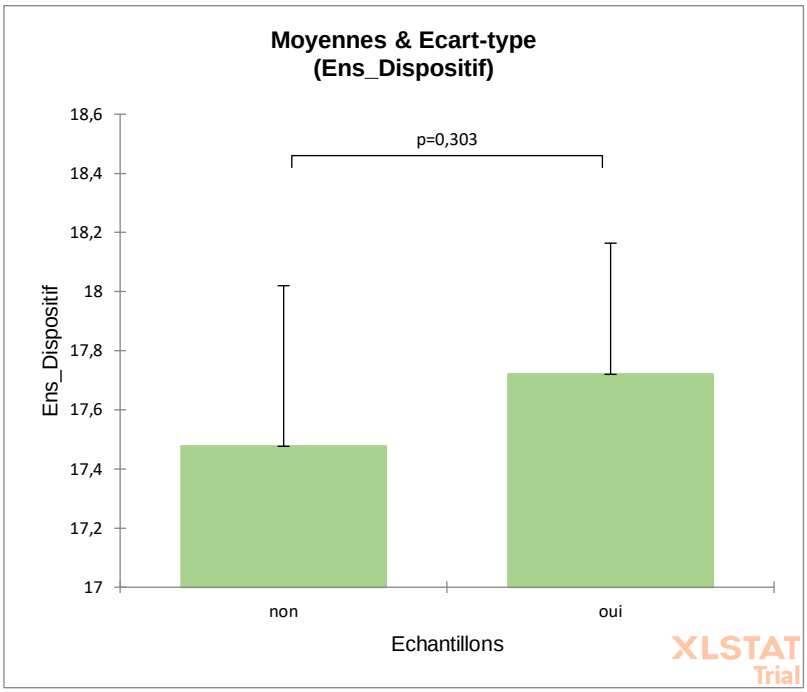


Figure : Moyennes & Ecart-type (Ens_Dispositif)



Annexe N° 24.04. : Influence de l'ordinateur personnel sur les différents dispositifs

Annexe N° 24.04.1. : Influence de l'ordinateur personnel sur le dispositif N° 01

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Ordinateur_P	non	10	10	50,000
	oui	10	10	50,000

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Dispositif N° 01 | non	10	0	10	17,330	18,330	17,865	0,422
Dispositif N° 01 | oui	10	0	10	17,330	18,330	17,865	0,422

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	50
U (normalisé)	0,000
Espérance	50,000
Variance (U)	161,053
p-value (bilatérale)	0,913
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Dispositif N° 01)

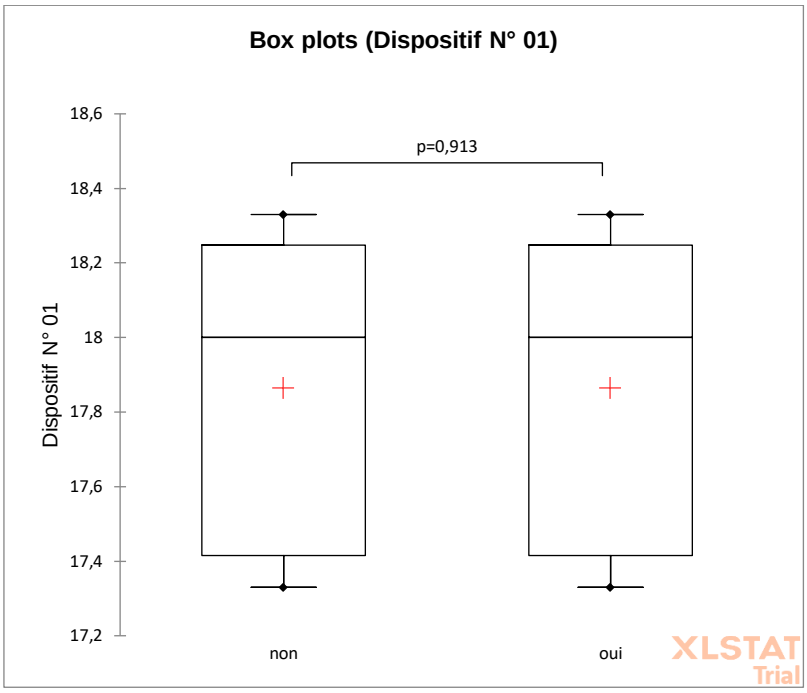
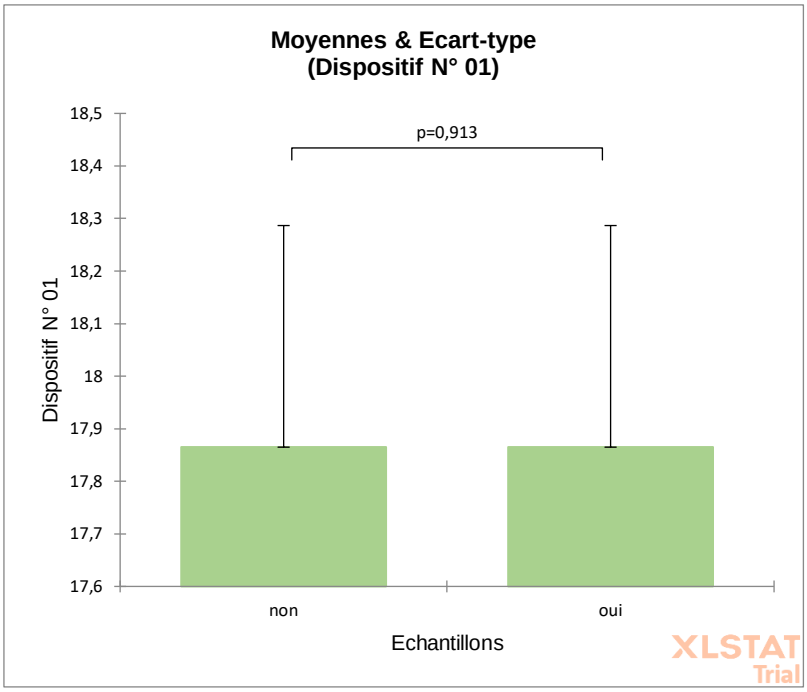


Figure : Moyennes & Ecart-type

(Dispositif N° 01)



Annexe N° 24.04.2. : Influence de l'ordinateur personnel sur le dispositif N° 02

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Ordinateur_P	non	8	8	50,000
	oui	8	8	50,000

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Dispositif N° 02 | non	8	0	8	16,670	17,330	17,083	0,293
Dispositif N° 02 | oui	8	0	8	16,670	17,330	17,083	0,293

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	32
U (normalisé)	0,000
Espérance	32,000
Variance (U)	76,800
p-value (bilatérale)	0,804
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Dispositif N° 02)

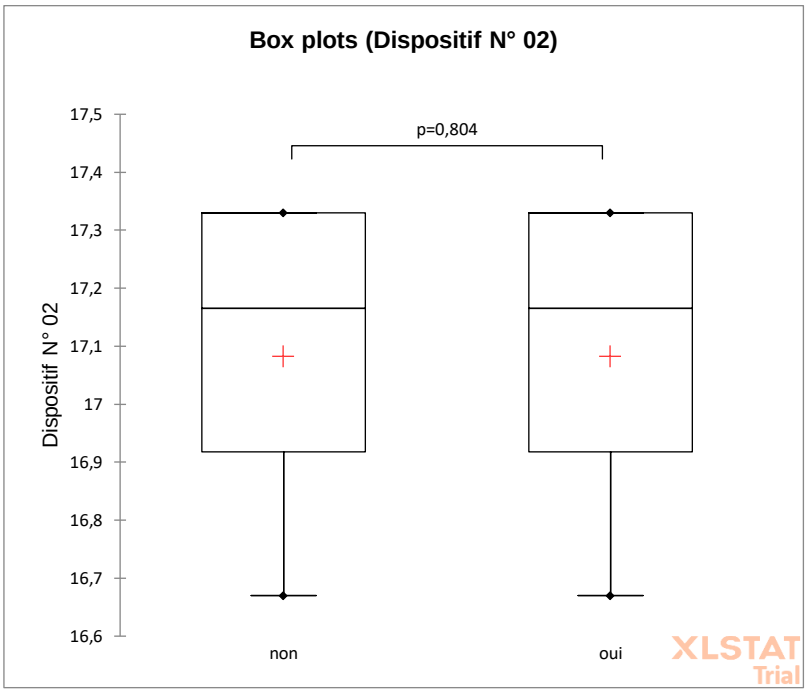
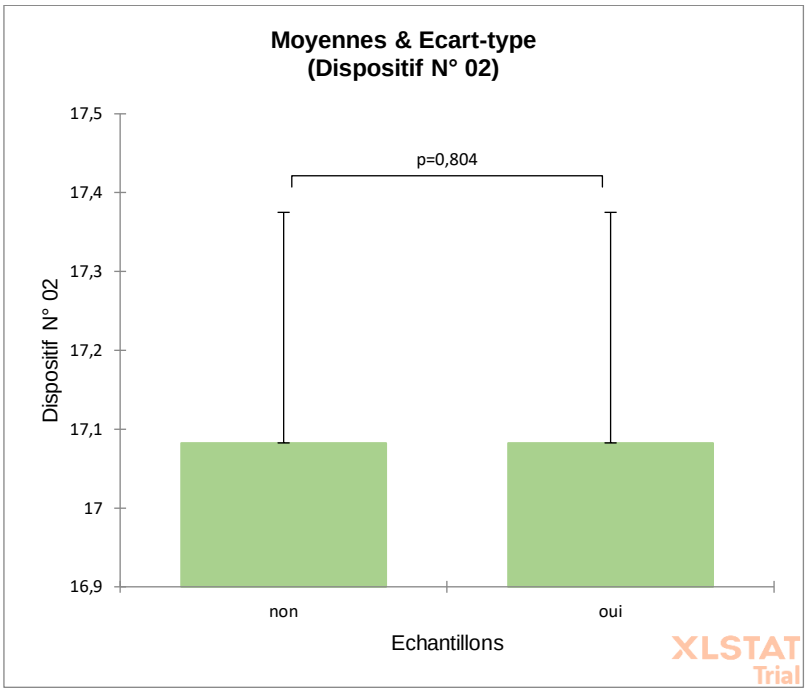


Figure : Moyennes & Ecart-type

(Dispositif N° 02)



Annexe N° 24.04.3. : Influence de l'ordinateur personnel sur l'ensemble du dispositif

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Ordinateur_P	non	18	18	50,000
	oui	18	18	50,000

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ens_Dispositif | non	18	0	18	16,670	18,330	17,517	0,538
Ens_Dispositif | oui	18	0	18	16,670	18,330	17,517	0,538

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	162
U (normalisé)	0,000
Espérance	162,000
Variance (U)	928,800
p-value (bilatérale)	0,983
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Ens_Dispositif)

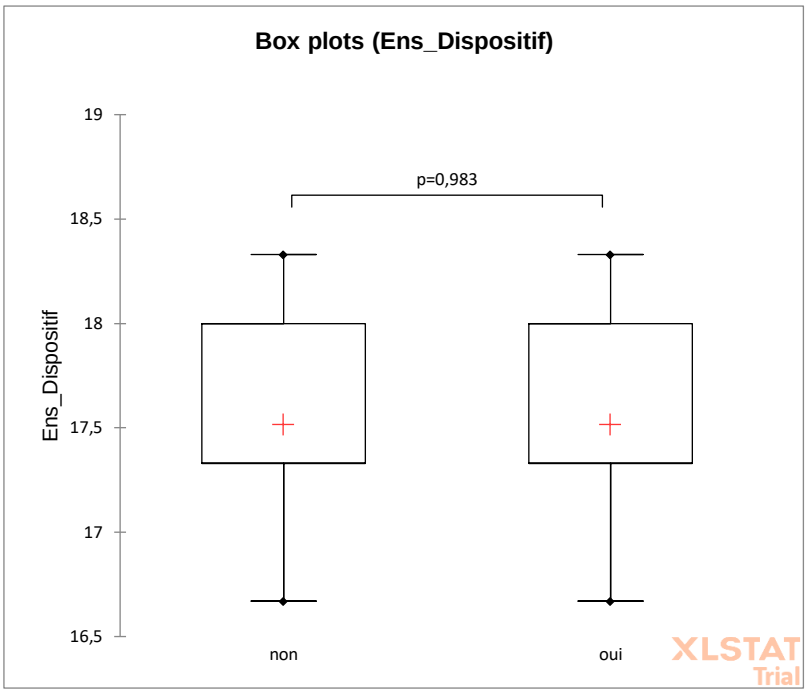
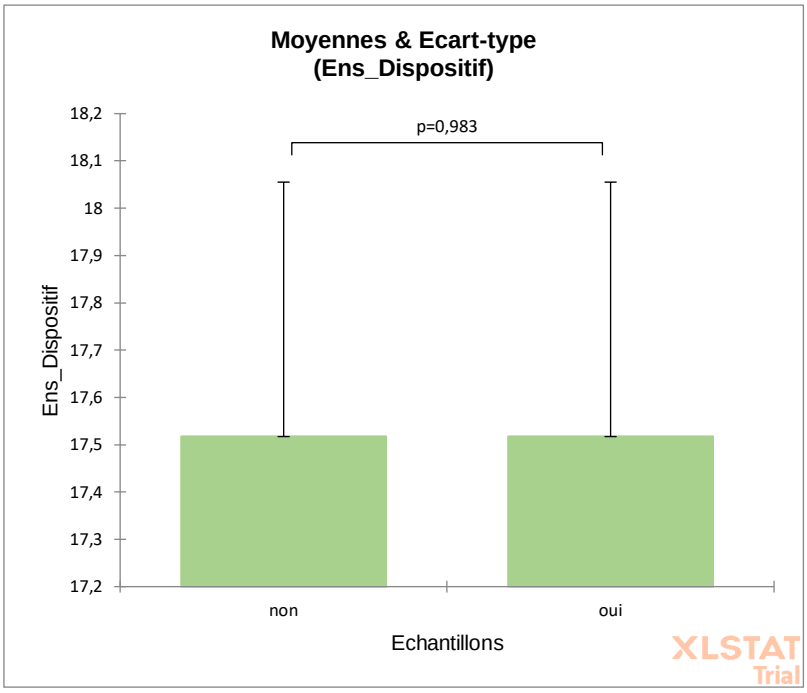


Figure : Moyennes & Ecart-type (Ens_Dispositif)



Annexe N° 24.05. : Influence de la salle multimédia sur les différents dispositifs

Annexe N° 24.05.1. : Influence de la salle multimédia sur le dispositif N° 01

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Salle _MM	non	16	16	80,000
	oui	4	4	20,000

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Dispositif N° 01 | non	16	0	16	17,330	18,330	17,853	0,421
Dispositif N° 01 | oui	4	0	4	17,330	18,330	17,915	0,420

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	30
U (normalisé)	0,000
Espérance	32,000
Variance (U)	103,074
p-value (bilatérale)	0,930
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Dispositif N° 01)

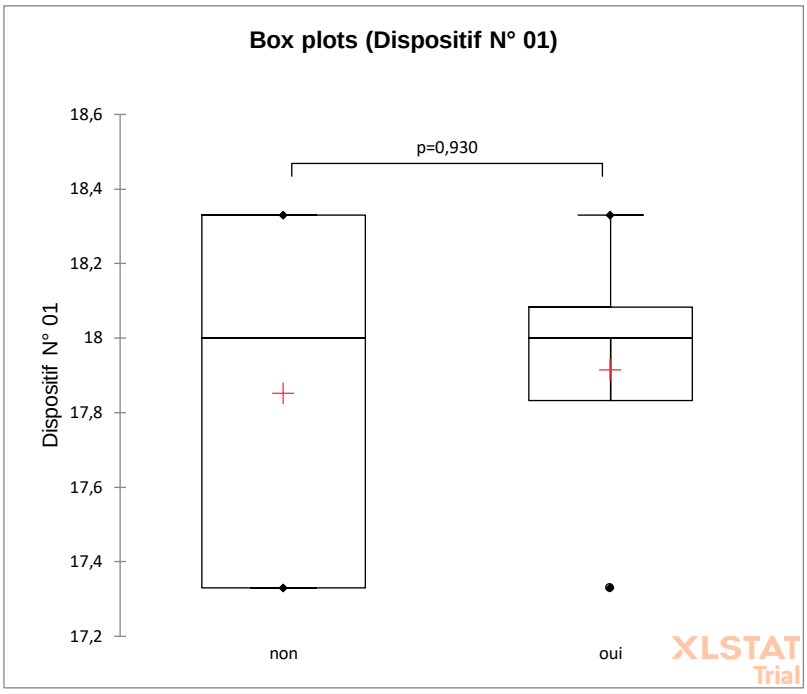
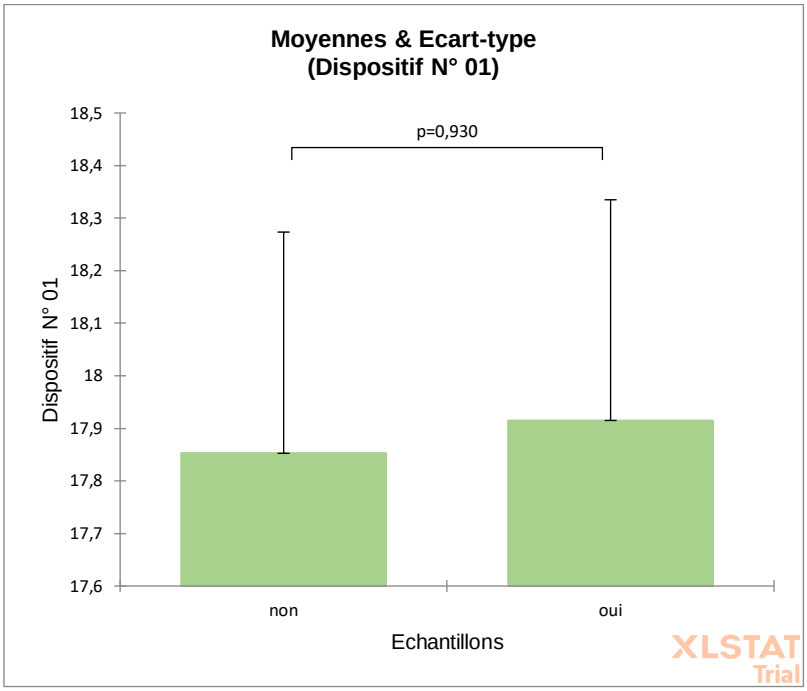


Figure : Moyennes & Ecart-type
(Dispositif N° 01)



Annexe N° 24.05.2. : Influence de la salle multimédia sur le dispositif N° 02

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Salle				
_MM	non	14	14	87,500
	oui	2	2	12,500

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Dispositif N° 02 | non	14	0	14	16,670	17,330	17,047	0,285
Dispositif N° 02 | oui	2	0	2	17,330	17,330	17,330	0,000

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	6
U (normalisé)	0,000
Espérance	14,000
Variance (U)	33,600
p-value (bilatérale)	0,367
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Dispositif N° 02)

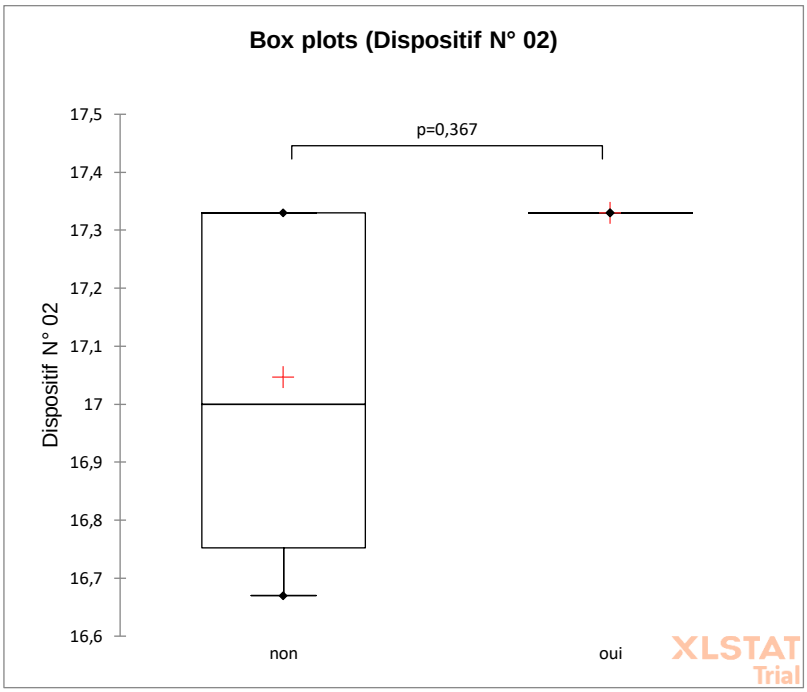
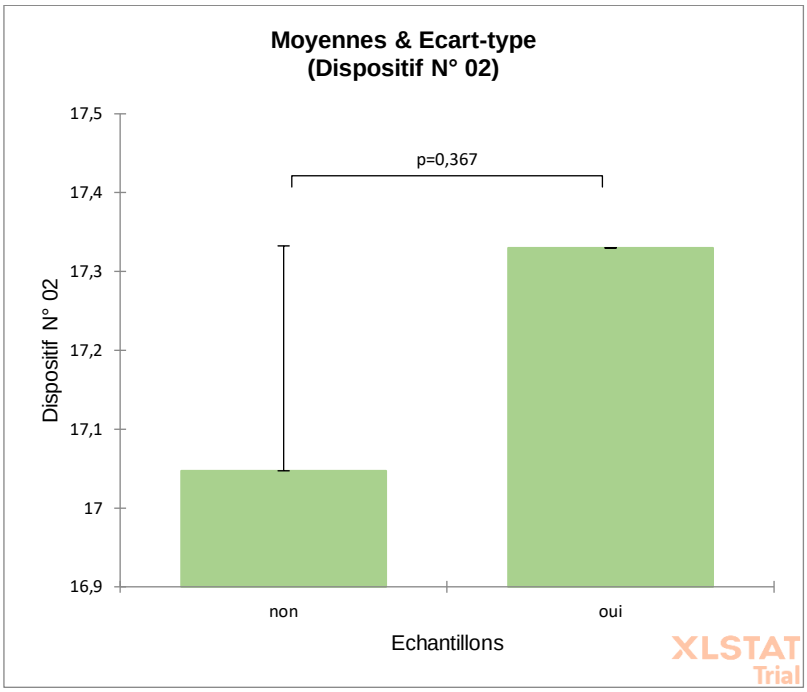


Figure : Moyennes & Ecart-type

(Dispositif N° 02)



Annexe N° 24.05.3. : Influence de la salle multimédia sur l'ensemble du dispositif

Statistiques descriptives (Sous-échantillons) :

Variable	Modalités	Comptages	Effectifs	%
Salle _MM	non	30	30	83,333
	oui	6	6	16,667

Statistiques descriptives (Données / Sous-échantillons) :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ens_Dispositif | non	30	0	30	16,670	18,330	17,477	0,543
Ens_Dispositif | oui	6	0	6	17,330	18,330	17,720	0,444

Test de Mann-Whitney / Test bilatéral :

U	66
U (normalisé)	0,000
Espérance	90,000
Variance (U)	516,000
p-value (bilatérale)	0,303
alpha	0,050

La p-value est calculée suivant une méthode exacte. Temps passé : 0s.

Interprétation du test :

H0 : La différence de position des échantillons est égale à 0.

Ha : La différence de position des échantillons est différente de 0.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Des ex-aequo ont été détectés et les corrections appropriées ont été appliquées.

Figure : Box plots (Ens_Dispositif)

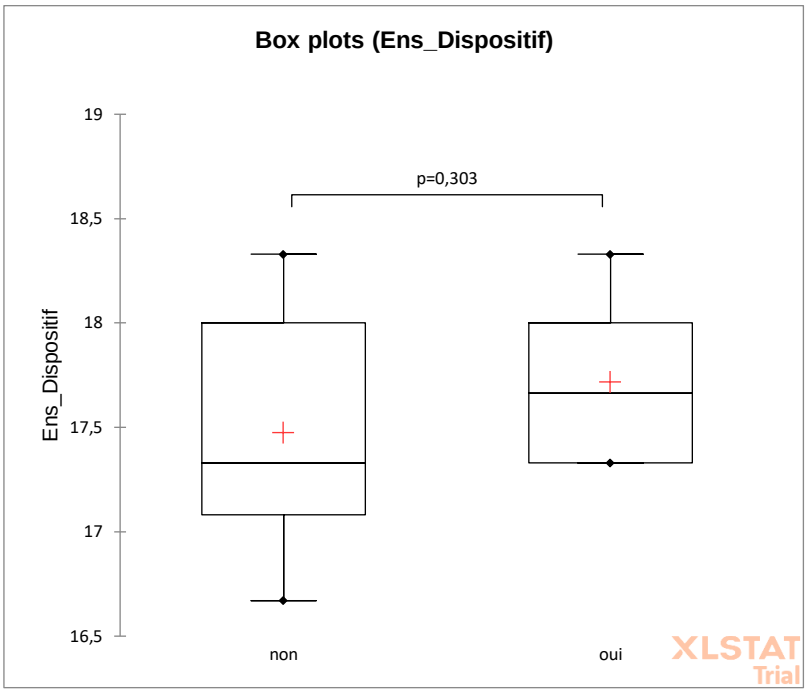
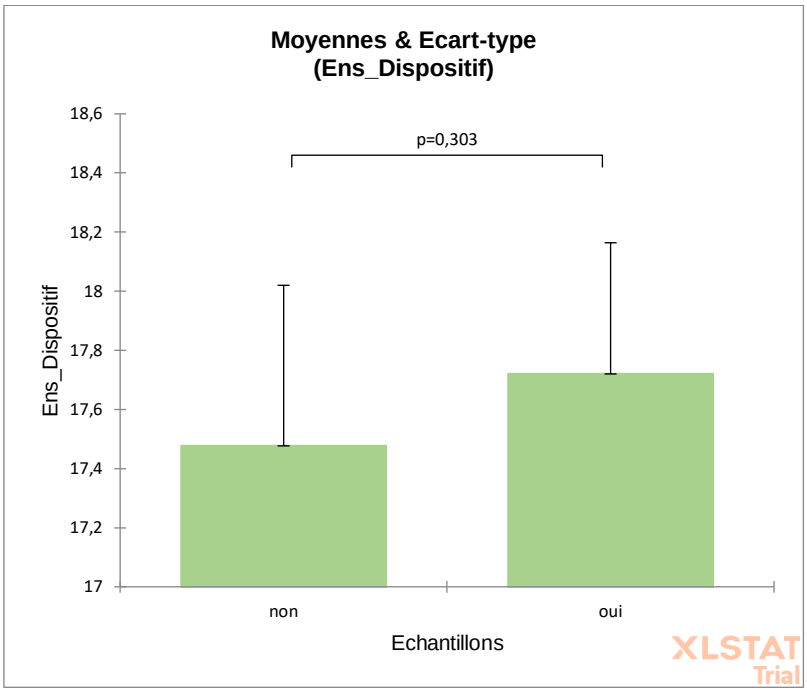



Figure : Moyennes & Ecart-type (Ens_Dispositif)