Le contexte Sénégalais de formation professionnelle et technique

Dans ce chapitre nous présentons la méthodologie qui a guidé la conduite de ce travail. Rappelons que cette étude exploratoire est menée suivant une approche descriptive corrélationnelle en raison de la nature de notre problématique. Nous nous engageons donc dans une démarche de théorisation enracinée en partant de notre corpus de données. Ce chapitre décrit le milieu d'étude, les outils de collecte, le déroulement du travail de collecte et le traitement des données brutes.

5.1. Milieu d'étude

Le système sénégalais d'enseignement ou de formation dans les disciplines liées à la technologie est structuré selon les niveaux : nous y distinguons le niveau moyen, le niveau secondaire et le supérieur. En plus de la structuration par niveau, le système est caractérisé par une catégorisation selon les finalités de l'enseignement, d'où la distinction faite entre enseignement et formation. Ainsi dans les domaines liés à la technologie, le système d'enseignement technique vise le développement d'une culture scientifique et technologique. Le système de formation professionnelle poursuit, quant à lui, le développement de compétences en lien plus ou moins étroit avec des métiers bien identifiés.

Une structuration plus fine est faite dans la formation professionnelle, où une catégorisation complétant la précédente, et liée aux niveaux de qualification professionnelle, a cours. Elle distingue 5 niveaux de qualification. Le niveau V correspond à une qualification liée à une activité professionnelle d'ouvrier. Le niveau IV renvoie à une qualification de technicien permettant d'exécuter un travail en autonomie ou avec des responsabilités d'encadrement et de coordination. Le niveau lll correspond à une qualification de technicien supérieur avec des compétences de niveau supérieur requérant le recours à des outils scientifiques complexes. Le niveau II se rapporte à des qualifications du niveau de la licence ou de la maîtrise. Et enfin Le niveau I correspond à des qualifications de niveau supérieur à la maîtrise (Loi d'orientation de la formation professionnelle et technique, 2015).

Ces niveaux de qualification peuvent être déclinés en termes de diplômes et titres. Le niveau I renvoyant au diplôme d'ingénieur de conception ou de Master, le niveau II à celui d'ingénieur des travaux ou à un diplôme du second cycle supérieur, le niveau III aux

diplômes de niveau bac+2 (DUT, BTS), le niveau IV au bac et au BT et le niveau V au CAP et au BEP (Goudiaby, 2017).
Ainsi la mécanique se retrouve dans l'enseignement scientifique et technique au niveau moyen, au niveau secondaire et au niveau supérieur ; elle est également présente dans la formation professionnelle, aussi bien au niveau moyen, celui secondaire que celui supérieur.

Les établissements du niveau moyen concernés par la mécanique sont essentiellement des centres de formation professionnelle, du niveau de qualification V, qui visent le développement de compétences propres à des métiers, bien que la technologie mécanique soit enseignée dans les blocs scientifiques et technologiques où les visées relèvent de l'initiation scientifique et technologique. Au Sénégal, les centres de formation professionnelle ont pour tutelle ministérielle la formation technique et professionnelle alors que les blocs scientifiques et technologiques dépendent de l'éducation nationale.

Au niveau secondaire la conception et la technologie mécanique ont cours dans les lycées techniques et dans les centres de formation professionnelle. Ces établissements sont sous la tutelle du ministère en charge de la formation technique et professionnelle. Les niveaux de qualification couverts sont le niveau V avec le BEP, le niveau IV avec le bac et le BT, et le niveau III avec le diplôme du BTS. Le centre pour l'entreprenariat et le développement technique (CEDT) ainsi que le Centre de formation professionnelle et technique (CFPT) dont des apprenants ont pris part à notre étude sont dans cette catégorie, formant aux diplômes nationaux de BTS.

Dans le supérieur, la conception et la technologie mécanique sont des éléments ou des modules constituant les maquettes de formation des techniciens supérieurs (DUT), des ingénieurs des travaux (DIT) ou de conception (DIC), en cours dans les établissements publics. L'école polytechnique de Thiès (EPT), qui forme des ingénieurs de conception et initie à la recherche à travers des diplômes de Master, est l'un de ces établissements. Des établissements privés sont également concernés avec des formations préparant aux diplômes nationaux de BTS, à des diplômes de technicien supérieur (DST ou DTS), de Licence, de Master ou d'ingénieur.

5.1.2. Description du terrain d'étude

Notre étude a eu pour cadre deux écoles de formation de techniciens supérieurs de l'agglomération Dakaroise : Le centre pour l'entreprenariat et le développement technique (CEDT) ainsi que le centre de formation professionnelle et technique (CFPT), et une école de formation d'ingénieurs située dans la région de Thiès à 70 km à l'Est de Dakar : l'école polytechnique de Thiès (EPT). Le parcours de formation de cette population comprend des modules relatifs à la conception de systèmes ou sous-systèmes mécaniques et à la mise à contribution d'outils de CAO/DAO. Notre travail de recherche s'est intéressé de manière spécifique aux apprenants : élèves techniciens supérieurs et élèves ingénieurs.

L'étude que nous avons menée a impliqué dans sa première phase, relative au recueil des données sociodémographiques, du parcours éducatif et à la mesure des capacités visuo-spatiales par le biais de tests, 63 apprenants répartis comme suit :

- d'une part, 45 élèves techniciens supérieurs en 2ème année de BTS électromécanique. La 2ème année de BTS correspond à BAC+2. Il faut préciser que certains élèves techniciens supérieurs ont un parcours qui les a conduits à l'obtention du brevet de technicien, qui correspond au baccalauréat professionnel, avant d'intégrer cette formation.
- d'autre part, 18 élèves ingénieurs électromécaniciens en 5ème année de formation, donc de niveau bac+5.

La seconde phase de l'étude a impliqué, dans une activité de co-conception, 12 apprenants volontaires regroupés dans 6 binômes. Ces derniers sont tous en 2ème année de BTS électromécanique.

5.2. Outils de recueil des données

5.2.1. Questionnaire de recueil du parcours éducatif

Ce questionnaire comporte des questions relatives à l'état civil, à l'adresse physique, téléphonique et électronique, au parcours éducatif en termes de diplômes obtenus et aux logiciels utilisés ainsi que le niveau de maîtrise déclaré[8]. Les données collectées au moyen de cet outil permettent de renseigner les variables extrinsèques relevant de la dimension

[8] voir annexe A.5-2, page 261

sociocognitive individuelle. Il s'agit du genre, de l'âge, du niveau de maîtrise des outils numériques de modélisation et du diplôme secondaire obtenu.

5.2.2. Tests de mesure des capacités visuo-spatiales

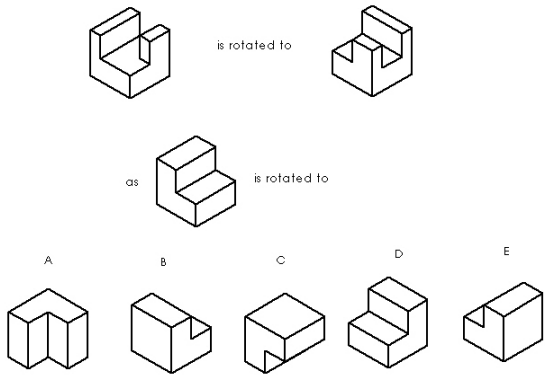
Les tests de mesure des capacités visuo-spatiales (Sorby & Baartmans, 2000) constitués de formulaires papier, comprennent :

- Le Purdue Spatial Visualisation Test- Mental Rotation – PSVT-R – (Bodner & Guay, 1997)

Il comporte 30 questions traitées en 20 minutes consistant à retrouver la bonne représentation, parmi cinq propositions, d'un objet en 3D ayant subi la même rotation qu'un objet témoin.

La figure 5-1 présente une question type du test de visualisation spatiale de Purdue.

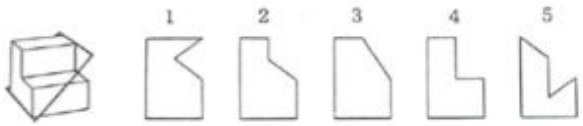
figure 5-1 : Exemple du type de question du PSVT-R



- Le Mental Cutting Test – MCT – (CEEB, 1939),

Le test du MCT traité en 20 minutes consiste en 25 questions de reconnaissance, parmi cinq choix possibles, d'une section plane d'un objet représenté en 3D comme présenté sur la figure 5-2.

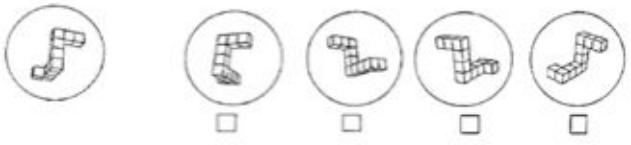
figure 5-2 : Exemple présentant le type de question du MCT



- Le Mental Rotation Test – MRT – (Vandenberg & Kuse, 1978).

Pour le MRT, il s'agit de répondre à 20 questions consistant à retrouver deux représentations, sur quatre proposées, du même objet dans des positions différentes. Elles sont traitées en six minutes au total, soit deux séries de 10 questions d'une durée de trois minutes chacune. La figure 5-3 en présente un type de question.

figure 5-3 : Exemple présentant le type de question du MRT



Les données recueillies au moyen de ces outils renseignent la variable intrinsèque indépendante liée aux capacités visuo-spatiales qui participe à la dimension sociocognitive individuelle.

5.2.3. Composantes de l'activité de conception collaborative

Cette activité s'appuie sur les plans et schémas cinématiques, d'une rectifieuse de soupapes et d'un étau orientable. Ces derniers sont remis sur support papier (figure A.5-1 et figure A.5-2, page 260 ; figure A.5-3 et figure A.5-4, page 261) et sur support numérique (voir figure A.5-5 et figure A.5-6, page 262). Les équipes d'apprenants sont ensuite appelées à expliciter la constitution et le fonctionnement de ce qui est représenté sur les supports remis, enfin il leur a été demandé de concevoir des solutions d'amélioration des systèmes mécaniques représentés.

L'activité de conception permet de renseigner les variables relevant de la dimension sociotechnique interactionnelle. Il s'agit d'une part des variables en lien avec les actions de synchronisation cognitive, de synchronisation opératoire, de production graphique de solution, d'explicitation de solution, d'évaluation de solution. D'autre part les variables ayant trait au support, à la stéréoscopie, à la nature et au dynamisme des représentations externes sont également renseignées par ces données.

5.3. Organisation de la collecte de données

5.3.1. Accès au terrain

L'accès au terrain a nécessité la sollicitation des directeurs des écoles constituant notre terrain d'étude dans le but d'obtenir l'autorisation de recueillir les données. Un courrier a

alors été adressé aux autorités de ces établissements dans cette optique. L'annexe 4 aux pages 255 et suivantes présente les correspondances échangées à cette fin. L'accès au terrain a constitué une contrainte majeure pour notre travail ; Il nous a fallu près de 10 mois pour accéder aux élèves ingénieurs de l'école polytechnique de Thiès, qui en définitive n'ont participé qu'à la phase de recueil des données sociodémographiques et celles liées à la visualisation spatiale. Aucun étudiant de l'EPT n'ayant souhaité participer à la seconde phase de collecte des données.

5.3.2. Les phases de la collecte

La collecte des données s'est faite en deux phases. Une première consistant au recueil des caractéristiques sociocognitives individuelles des participants, plus précisément les caractéristiques sociodémographiques, le parcours éducatif, le niveau de maîtrise des outils numériques de modélisation et la visualisation spatiale. Cette première phase a impliqué 63 apprenants de trois établissements Sénégalais. Ces derniers sont répartis comme suit : 18 élèves ingénieurs (niveau bac+5) de l'école polytechnique de Thiès et 45 élèves techniciens supérieurs (niveau bac+2) du centre pour l'entreprenariat et le développement technique (CEDT) et du centre de formation professionnelle et technique (CFPT).

Les tests de mesure des capacités visuo-spatiales (Sorby & Baartmans, 2000) sous format papier, comprennent : le Purdue Spatial Visualisation Test - Mental Rotation – PSVT-R – (Bodner & Guay, 1997), le Mental Cutting Test – MCT – (CEEB, 1939), et le Mental Rotation Test – MRT – (Vandenberg & Kuse, 1978). Le tableau A.6-9 de la page 278 résume les données issues de ce recueil.

La mesure des capacités visuo-spatiales en lien avec la visualisation spatiale se fait essentiellement au moyen de tests psychométriques qui, selon Carroll (1993), consistent en : la reconstitution d'objets sur formulaires papiers, la reconnaissance et le comptage de blocs identiques, l'identification de positions d'objets en rotation, la localisation de positions de marques sur la représentation de papier plié, l'identification de correspondances en développant des surfaces entre représentations en 3D et en 2D, la reconnaissance d'images selon les points de vue, la compréhension de mouvements mécaniques. Les tests qui suivent figurent parmi les plus couramment utilisés en ingénierie mécanique, d'après Kelly Jr, Branoff, & Clark (2014) et Sorby & Baartmans (2000) :

- le test de rotation mentale - MRT[9], composé de 20 questions où il faut retrouver deux représentations, sur quatre proposées, du même objet dans différentes positions ;
- le test de coupe mentale - MCT[10], comportant 25 questions de reconnaissance, parmi cinq choix possibles, d'une section plane d'un objet représenté en 3D ;
- le test de visualisation spatiale en rotation de Purdue - PSVT-R[11], qui comporte 30 questions consistant à retrouver la bonne représentation, parmi cinq propositions, d'un objet en 3D ayant subi la même rotation qu'un objet témoin.

5.3.3. Organisation matérielle pour l'activité de co-conception

Dans la seconde phase ont été engagés, sur une base volontaire, 6 binômes composés d'élèves techniciens supérieurs ayant participé à la première phase. Cette seconde phase consistait en une activité filmée de conception collaborative d'amélioration d'un système mécanique présenté sous différentes formes (Voir tableau 5-1 de la page 74).

La constitution des groupes, la nature des supports qui leur sont fournis, la nature des supports et outils de production ainsi que le matériel de prise de vue et de son, sont synthétisés à la page 74, dans le tableau 5-1. Les équipes 9a5a, 15a19a, 11b1b, 9b15b et 12b19b produisent leurs solutions avec des outils numériques alors que le binôme 17b20b présente la sienne sur support papier.

Les équipes sont formées de manière spontanée selon les affinités des apprenants. Il a été remis aux apprenants membres des binômes 9a5a et 15a19a les plans d'une rectifieuse de soupapes sur support papier (figure A.5-1 et figure A.5-2, page 260). Chacun des binômes est d'abord interpellé quant à la constitution et au fonctionnement de ce qui est représenté sur les supports remis, ensuite leur a été confiée la tâche consistant à concevoir des solutions d'amélioration de la rectifieuse de soupapes (voir les consignes aux pages 264 et 265). Aux binômes 11b1b, 9b15b, 12b19b et 17b20b ont été remis les plans, modèles et schémas cinématiques d'un étau orientable, sur support papier (figure A.5-3 et figure A.5-4, page 261) ou numérique (figure A.5-5 et figure A.5-6, page 262). Ces quatre équipes sont appelées à expliciter la constitution et le fonctionnement de ce qui est représenté sur les supports

[9] Mental rotation test
[10] Mental cutting test
[11] Purdue spatial visualization test - rotation

remis, enfin il leur a été demandé de concevoir des solutions d'amélioration de cet étau orientable (voir consignes aux pages 266, et 267).

tableau 5-1 : Organisation et logistique de prise de données de l'activité de co-conception

<table>
<tr><th>Identifiant</th><th>Effectif</th><th>Support fourni</th><th>Système étudié</th><th>Nature et support des solutions produites</th><th>Prise de son</th><th>Prise de vue</th></tr>
<tr><td>Binôme 15a19a</td><td>2</td><td rowspan="2">Dessin plan sur papier</td><td>Rectifieuse de soupapes</td><td rowspan="5">Solutions sous la forme de leur choix avec utilisation d'outils de CAO/DAO de leur choix</td><td rowspan="6">Échanges verbaux enregistrés par le micro intégré de l'ordinateur d'un des apprenants</td><td rowspan="6">Au sein de chaque binôme, 1 caméra USB d'enregistrement de l'espace de travail
+ enregistrement de l'écran d'ordinateur</td></tr>
<tr><td>Binôme 11b1b</td><td>2</td><td>Étau orientable</td></tr>
<tr><td>Binôme 9a5a</td><td>2</td><td>Dessin plan + schéma plan sur papier</td><td>Rectifieuse de soupapes</td></tr>
<tr><td>Binôme 12b19b</td><td>2</td><td>Dessin plan (sur support papier) + schéma cinématique 3D animé (sur support numérique)</td><td rowspan="3">Étau orientable</td></tr>
<tr><td>Binôme 9b15b</td><td>2</td><td>Dessin plan (sur support papier) + dessin 3D animé (sur support numérique)</td></tr>
<tr><td>Binôme 17b20b</td><td>2</td><td>Dessin plan + dessin 3D (sur support papier) + dessin 3D animé (sur support numérique)</td><td>Solutions sous la forme de leur choix sans utilisation d'outils de CAO/DAO</td></tr>
</table>

Afin d'assurer une synchronisation entre l'enregistrement vidéo de l'écran d'ordinateur et la prise de vue provenant de la caméra USB, la précaution qui suit a été prise : sur l'ordinateur de chaque binôme a été préalablement installée une application permettant un montage synchronisé de la vidéo de l'écran d'ordinateur et de celle issue de la caméra USB. Rappelons que la caméra USB, montée sur perche à trépied est destinée à filmer l'espace de travail en le surplombant, selon la disposition spatiale illustrée sur la figure 5-4 qui suit et la figure A.5-7 à la page 268. Le son est enregistré, par le micro intégré de l'ordinateur du binôme, dans le but de saisir les protocoles verbaux lors du processus de conception (Ericsson & Simon, 1980 ; van Someren, Barnard, & Sandberg, 1994).

La disposition matérielle adoptée, avec caméra surplombant l'espace de travail, vise à filmer l'utilisation des différents outils et supports de travail (Veillard, 2013). La capture vidéo de l'écran d'ordinateur permet d'enregistrer le travail du binôme réalisé avec les outils de modélisation ainsi que le visionnage des vidéos de schéma cinématique animé ou de dessin 3D animé qui sont fournies.

figure 5-4 : Dispositif de recueil des données vidéographiques

5.4. Traitement des données brutes

Il convient, avant de présenter les traitements auxquels elles ont été soumises, de rappeler la nature des données qui ont été recueillies. Il s'agit :

- de questionnaires recueillant les données sociodémographiques, le parcours éducatif et la maîtrise déclarée des outils de modélisation graphique des participants à l'étude ;
- de résultats aux tests de mesure des capacités visuo-spatiales, présentés à la page 278, dans le tableau A.6-9 ;
- de représentations graphiques des solutions proposées en conception sur support papier et sur support numérique dont la figure A.5-9 de la page 268 est une illustration ;
- de vidéos représentant six heures d'enregistrement d'écrans d'ordinateurs et d'espaces de travail, soit une heure de travail pour chacun des binômes.

Le traitement de ces données brutes a consisté au dépouillement des réponses au questionnaire soumis, à la détermination des scores aux trois tests de visualisation spatiale et à l'encodage des vidéos enregistrant l'activité des binômes, pour identifier les actions entreprises et les représentations externes mobilisées.

5.4.1. Dépouillement du questionnaire

Ce dépouillement commence par l'attribution d'un identifiant numérique à chacun des répondants, de manière à préserver l'anonymat dans le traitement. Suit alors le relevé de l'âge et du genre du répondant, celui du diplôme secondaire obtenu et de la série ou de la spécialité de ce dernier. Sont enfin notés les outils de conception assistée par ordinateur qui sont couramment utilisés ainsi que le niveau de maîtrise estimé.

5.4.2. Détermination des scores de visualisation spatiale

Les réponses produites pour chacun des trois tests, que sont le Purdue spatial visualization test (PSVT-R), le mental cutting test (MCT) et mental rotation test (MRT), ont été corrigées. Il a été attribué un point à chaque réponse correcte. Pour chaque test, la somme des points obtenus par chaque répondant a été divisée par le nombre de questions que comporte ledit test, permettant ainsi d'attribuer un score décimal variant de 0 à 1 au répondant concerné.

5.4.3. Encodage des données vidéographiques

Les données vidéographiques ont été encodées à l'aide d'une grille construite a priori puis enrichie et consolidée à postériori.

5.4.3.1. Construction d'une grille d'encodage

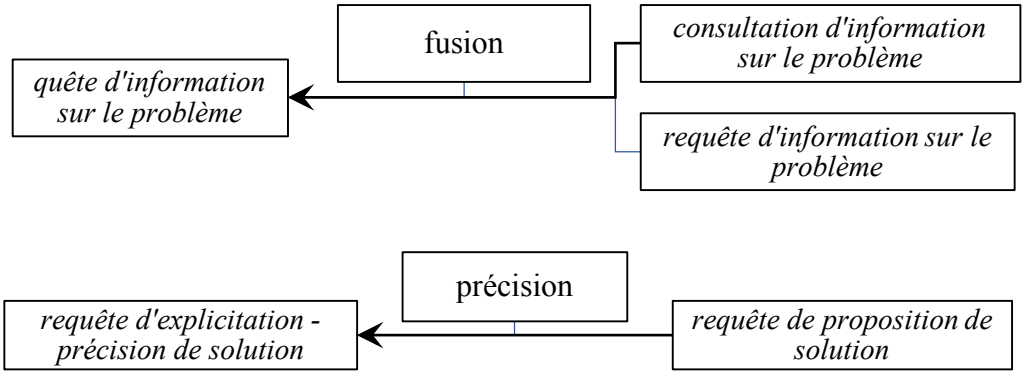
Dans une première approche, les travaux de Purcell et al. repris par Gero & Mc Neil (1998) ont inspiré la construction d'une version initiale de dictionnaire d'encodage. Cette construction a été enrichie par l'intégration de nouveaux codes suite à l'encodage de deux séquences vidéo de 20 minutes chacune en relevant à l'échelle micro les opérations relatives aux éléments de discours et aux gestes et postures du corps. Cela a conduit à plus d'une centaine de codes. Par la suite une catégorisation à la lumière des questions de recherche et des travaux de Falzon, Darses et Munduteguy (2009 ; 2004 ; 1996) conduisit à un dictionnaire plus restreint présenté dans le tableau A.5-3 de la page 273. Cette catégorisation identifie les caractéristiques des représentations externes et les actions des apprenants impliqués dans l'activité.

5.4.3.2. Validation – ajustement du dictionnaire d'encodage avec deux codeurs externes.

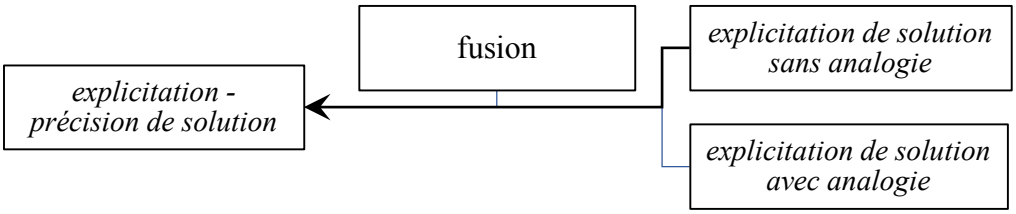
Le processus d'ajustement et de validation de la grille d'encodage a été réalisé sur la base d'un extrait vidéo d'une durée de cinq minutes. Cet extrait accompagné de la première version du dictionnaire a été partagé avec deux codeurs B et C, de manière à en construire une compréhension commune. Le résultat d'un premier encodage réalisé par le codeur B, repris à la page 269, dans le tableau A.5-1, comparé au nôtre, montre un pourcentage de désaccord de 46 % :

Une seconde étape d'harmonisation a conduit à la refonte et la précision de la signification des codes sujets à désaccord. Cette correction a consisté à la fusion de codes ayant une signification proche et à la précision du sens des codes faisant l'objet de désaccord.

Ainsi les codes liés à la *consultation d'information fournie sur le problème* et la *requête d'information sur le problème* ont été fusionnés en *quête d'information sur le problème*. De même la *requête de proposition de solution* a été précisée en *requête d'explicitation – précision de solutions* qui est une action de nature verbale sollicitant le canal auditif sachant que nous avons également identifié des actions de *requête de représentation de solution* dont le résultat serait une illustration graphique.



Identiquement l'*explicitation de solution sans analogie qui* relève de l'expression verbale ou imagée précisant des caractères d'une solution sans faire référence de manière explicite à un système existant et l'*explicitation de solution avec analogie* qui consiste en une expression verbale ou imagée précisant des caractères de la solution en faisant référence de manière explicite à un système existant, ont été fondues en *explicitation – précision de solutions*.



Suite à cette refonte, un second encodage réalisé par le codeur C a conduit à une deuxième comparaison (page 269, tableau A.5-1) qui a montré un accord atteignant un pourcentage de 75 %.

Sur cette base le calcul d'un coefficient de fiabilité inter-codeurs nous donne finalement une valeur du coefficient Kappa de Cohen de 0,72.

5.4.3.3. Encodage des vidéos dans Nvivo et construction d'une base de données Excel

Les enregistrements de l'activité de chacun des 6 binômes d'une durée d'une heure ont été scindés en trois vidéos de 20 minutes afin d'en faciliter l'importation, par la réduction de la mémoire mobilisée et par ricochet le temps de réaction du logiciel. L'encodage se focalise sur les actions et les représentations externes mobilisées par chacun des deux co-équipiers.

Dans le but d'éviter les chevauchements lors des requêtes d'encodage, nous avons choisi d'encoder séparément les actions des co-équipiers en dupliquant chacun des extraits de vidéos de 20 minutes importés. Ainsi à titre d'exemple, un même extrait d'enregistrement de 20 minutes de l'activité du binôme 12b19b est importé deux fois dans Nvivo. Le premier extrait est encodé en prenant uniquement en compte les actions de l'apprenant 12b et le second extrait avec une focalisation exclusive sur les actions de l'apprenant 19b. Cette démarche adoptée pour les 6 binômes, conduit à l'importation et à l'encodage de 36 extraits de 20 minutes chacun, soit 6 extraits par binôme.

L'encodage de la totalité des enregistrements a donné lieu à un enrichissement concomitant du dictionnaire avec l'apparition de nouveaux codes liés à des actions non couvertes par les codes déjà existants.

Après l'encodage, a suivi l'exécution de requêtes d'encodage sur Nvivo permettant de ressortir l'ensemble des actions initiées et des représentations externes mobilisées par chacun des apprenants, avec l'instant où elles commencent et prennent fin.

Alors une base de données de l'ensemble des actions survenant durant l'activité des 6 binômes a été construite sur Excel. Elle comporte 4007 lignes, correspondant aux 4007 actions encodées, et 35 colonnes. Les quatre premières colonnes de la base de données renseignent l'instant de survenue de l'action, l'instant où elle prend fin, sa durée, la nature de l'action. Les colonnes 5 à 15 recèlent les éléments relatifs à l'étudiant initiateur de l'action encodée, son genre, son âge, les supports qui lui ont été fournis, la moyenne de scores de visualisation de l'auteur de l'action, son score au PSVT-R, son score au MCT, son score au MRT, son niveau de maîtrise du logiciel Catia, son niveau de maîtrise du logiciel AutoCad et son niveau de maîtrise du logiciel SolidWoks. Les colonnes 16 à 24 livrent la représentation externe mobilisée, le dynamisme de la représentation externe, sa stéréoscopie, la nature de son support, le binôme au sein duquel l'action a lieu, la moyenne de scores du binôme, l'écart de scores entre membres du binôme, le diplôme secondaire de l'auteur, la spécialité de ce diplôme. Dans les colonnes 25 à 30 se trouvent les durées cumulées par chaque apprenant dans chaque type d'action, dans la mobilisation des représentations externes de différentes natures, dans la mobilisation des représentations externes sur supports numériques, dans la mobilisation de supports papiers, dans la mobilisation de représentations externes planes et dans celle de représentations externes spatiales. Les durées cumulées dans le recours à chacun des types de représentation externe et types de supports

durant les différentes actions se retrouvent dans les colonnes 31 à 35. Ces durées cumulées, par chacun des apprenants, ont été calculées pour chaque type d'action et chaque type ou support de représentation externe mobilisée. Il s'agit, à chaque instant où survient une action donnée, de la durée cumulée par l'auteur pour ce type d'action depuis le début de l'activité. Il en est de même pour les différents types de représentations externes et supports ainsi que pour les différentes actions selon les représentations externes et supports mobilisés

Cette base de données a été importée dans R afin de réaliser les différents tests dans le but de valider ou de rejeter les hypothèses émises.

5.5. Les traitements statistiques mis en oeuvre

La distribution de nos données numériques s'éloignant d'une distribution normale, comme l'établissent les tests de Shapiro mis en œuvre au chapitre 6, nous oriente vers des traitements statistiques non paramétriques qui s'affranchissent de tout postulat de normalité de la distribution. Ainsi, afin de répondre aux questions de recherche, qui font l'objet de notre étude, nous avons recours à des tests de comparaison de Wilcoxon-Mann-Wheatney et de Kruskal-Wallis (Corder & Foreman, 2009 ; Deshpande, Naik-Nimbalkar, & Dewan, 2018 ; Hollander & Wolfe, 1999 ; Tang, He, & Tu, 2012), à l'aide du logiciel R (Bonnini, Corain, Marozzi, & Salmaso, 2014 ; Dalgaard, 2008 ; Lafaye de Micheaux, Drouilhet, & Liquet, 2014). Les croisements réalisés par ces traitements sont précisés dans les chapitres qui suivent.

5.6. Synthèse du chapitre 5

45 élèves techniciens supérieurs et 18 élèves ingénieurs participants à l'étude	45 élèves techniciens supérieurs en deuxième année de BTS (bac+2) issus de deux écoles de l'agglomération Dakaroise, et 18 élèves ingénieurs en 5ème année de diplôme d'ingénieur de conception (bac+5) de la région de Thiès, ont pris part à cette étude.

Des données collectées par le biais de trois sources	Un questionnaire qui recueille les caractères sociodémographiques en termes d'âge et de genre, le parcours éducatif, notamment la nature et la série ou la spécialité du diplôme de niveau secondaire obtenu et la maîtrise perçue d'outils de modélisation graphique. Trois tests qui ont permis la mesure de la visualisation spatiale, en l'occurrence le Purdue spatial visualization test, le mental cutting test et le mental rotation test. Les films d'une activité de conception co-localisée de 6 binômes permettant de saisir la nature des actions initiées et des représentations externes mobilisées

Un traitement des données brutes consistant au dépouillement du questionnaire, à la correction des tests et à l'encodage des vidéos	Le dépouillement du questionnaire effectué permit de relever, pour les 63 participants, l'âge, le genre, le diplôme secondaire obtenu, la spécialité ou la série de ce diplôme, le niveau d'études atteint, le niveau de maîtrise des logiciels AutoCad, Catia, et SolidWorks. La correction des tests de visualisation spatiale conduisit à l'attribution de scores, pour le PSVT-R, le MCT et le MRT et d'une moyenne de ces trois scores, à chacun des 63 participants. L'encodage des vidéos enregistrant l'activité, de 12 apprenants répartis dans 6 binômes, a donné lieu à la catégorisation de 4007 actions avec les représentations externes qui y sont mobilisées, les apprenants qui en sont les auteurs et les caractéristiques de ces derniers en

	termes de visualisation.

Des outils numériques de traitement des données	Il a été fait recours au logiciel Excel pour la construction d'une base de données et au logiciel R pour les traitements statistiques tant descriptifs qu'inférentiels.