HAL
open science

Exploration de la pédagogie du studio de projet d'architecture : Effet de l'écosystème de représentations du projet sur la situation de la session critique

Julie Milovanovic

To cite this version:

Julie Milovanovic. Exploration de la pédagogie du studio de projet d'architecture : Effet de l'écosystème de représentations du projet sur la situation de la session critique. Architecture, aménagement de l'espace. Ecole Centrale de Nantes, 2019. Français. NNT : . tel-02362485v1

HAL Id: tel-02362485

https://theses.hal.science/tel-02362485v1

Submitted on 13 Nov 2019 (v1), last revised 12 Feb 2020 (v2)

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 - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

THESE DE DOCTORAT DE

L'ÉCOLE CENTRALE DE NANTES
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences pour l'Ingénieur
Spécialité : « *Architecture et études urbaines* »

Par
« Julie MILOVANOVIC »

« Exploration de la pédagogie du studio de projet d'architecture »

« Effet de l'écosystème de représentations du projet sur la situation de la session critique »

Thèse présentée et soutenue à « École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes », le « 25/09/2019 »
Unité de recherche : UMR 1563 AAU-CRENAU

Rapporteurs avant soutenance :

Françoise Détienne	Directrice de Recherche, Telecom Paris
Pierre Leclercq	Professeur, Université de Liège

Composition du Jury :

Président :	François Guéna	Professeur, École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris la Villette
Examinateurs :	Stéphanie Cardoso	Maître de Conférence, Université Bordeaux Montaigne
	John Gero	Professeur, University of North Carolina at Charlotte
Dir. de thèse :	Daniel Siret	Directeur de recherche, École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes
Co-dir. de thèse :	Guillaume Moreau	Professeur, École Centrale Nantes
Co-enc. de thèse :	Francis Miguet	Professeur, École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes

UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE / SCIENCES POUR L'INGENIEUR

CENTRALE NANTES

Titre : Exploration de la pédagogie du studio de projet d'architecture : Effet de l'écosystème de représentations du projet sur la situation de la session critique

Mots clés : pédagogie, studio de projet, sessions critiques, écosystème de représentations, conception

Résumé : La thèse porte sur à la pédagogie en studio de projet dans les écoles d'architecture. Le studio de projet est le lieu d'apprentissage de la conception architecturale et il est au cœur de la formation en architecture. Les sessions critiques hebdomadaires sont un moment d'échange entre enseignants et étudiants, où ces derniers ont l'occasion d'avoir un retour d'expert sur l'avancement de leur projet d'architecture. L'activité de conception est à la fois l'objet d'apprentissage et la manière d'apprendre lors des sessions critiques. Nous définissons cette activité comme pratique réflexive mentorée. Le support de cette pratique réflexive mentorée est l'ensemble des représentations de projet apportées par l'étudiant lors de la critique que nous appelons écosystème de représentations.

La recherche étudie l'effet d'une modification de l'écosystème de représentations sur la pratique réflexive mentorée. Nous avons analysé quatre écosystèmes de représentations différents : traditionnel sur table comprenant des plans, coupes et maquettes d'étude ; maquette grande échelle ; Hyve-3D et Studio Collaboratif Distant. Nous avons utilisé la méthode d'analyse de protocoles vidéo pour étudier l'engagement des participants pendant la critique, leurs collaborations, et leurs manipulations des représentations du projet en fonction de l'écosystème de représentations utilisé. En nous basant sur ces résultats, nous proposons le développement d'un scénario pédagogique intégrant CORAULIS, la nouvelle plateforme immersive de l'Ensa Nantes.

Title : Exploration of architectural design studio pedagogy : Effect of representational ecosystems on design critiques

Keywords : pedagogy, design studio, design critiques, representational ecosystem, design cognition

Abstract : The thesis focuses on design studio pedagogy in schools of architecture. In the design studios, students learn how to design and think architecturally. The studio is the cornerstone of architectural education. The weekly critiques are moments where tutors and students can discuss design issues. During the critiques, students have the opportunity to get an expert's feedback on their design. Designing is both the learning objective and the way to learn in design critiques. We coined this activity a mentored reflective practice. Design representations brought by students support the mentored reflective practice during the critique. Those design representations are named representational ecosystem.

This research work focus on the effect of a change in the representational ecosystem on the mentored reflective practice. We analyzed four different representational' ecosystems : traditional desk critiques composed of plans, sections and mock-ups; large-scale mock-up; Hyve-3D and Digital Collaborative Studio. We exploited the video protocol analysis methodology to study participants' engagement during the critique, their collaboration, and how they interact with design representations depending on the representational ecosystem used. Based on these results, we develop a pedagogic scenario integrating CORAULIS, Ensa Nantes' new immersive platform.

Remerciements

Je tiens à remercier Monsieur Daniel Siret, directeur de recherche de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, qui m'a encadré et guidé tout au long de cette thèse, pour sa grande disponibilité et force de motivation.

Je remercie Monsieur Guillaume Moreau, professeur à l'Ecole Centrale de Nantes, et Monsieur Francis Miguet, professeur de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, qui m'ont co-encadrée tout au long de cette thèse, pour leur soutien et conseils.

J'adresse tous mes remerciements à Madame Françoise Détienne, directrice de recherche à l'Université de Telecom Paris, ainsi qu'à Monsieur Pierre Leclercq, Professeur à l'Université de Liège, de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de cette thèse.

Je remercie Monsieur Tomás Dorta, professeur de l'Université de Montréal, et Monsieur John Gero, professeur de l'Université de Caroline du Nord à Charlotte, pour leur encadrement et collaboration.

Enfin, je tiens à remercier ma compagne Gema, qui m'a accompagnée et soutenue quotidiennement, tout au long de cette thèse.

Table des matières

CHAPITRE 1 INTRODUCTION : VERS UNE INNOVATION PEDAGOGIQUE DE LA CRITIQUE EN STUDIO DE PROJET 23

1.1 CONTEXTE DE LA THESE 23

1.1.1 L'enseignement de la conception en studio d'architecture 23

1.1.2 La plateforme immersive CORAULIS 25

1.2 OBJET D'ETUDE 27

1.2.1 Le studio de projet 27

1.2.2 La session critique en studio de projet 28

1.2.3 L'importance de l'écosystème de représentations du projet 29

1.3 DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE 31

1.4 MOBILITES DE RECHERCHE ET OBSERVATIONS DE CAS D'ETUDE DANS DES LABORATOIRES EXTERNES 32

1.5 POSITIONNEMENT ET METHODE 34

1.6 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE 37

1.7 ORGANISATION DU DOCUMENT 38

CHAPITRE 2 CADRE DE REFERENCES THEORIQUES 41

2.1 APPRENTISSAGE DE LA CONCEPTION EN STUDIO DE PROJET 42

2.1.1 Généralités sur les différentes approches de l'apprentissage 42

2.1.2 Culture et environnement du studio de projet 45

2.1.3 L'apprentissage par projet en studio 46

2.1.4 L'objet d'apprentissage en studio de projet : éléments caractéristiques de l'activité de conception 50

2.1.5 Importance de la critique de projet dans l'apprentissage de studio de projet 52

2.1.5.1 Modalités de la session critique 53

2.1.5.2 Importance de la relation entre enseignants et étudiants 54

2.1.6 Les enjeux de l'écosystème de représentations comme support de la pédagogie du studio 55

2.1.6.1 Description de l'écosystème de représentations 56

2.1.6.2 Support de communication 58

2.1.6.3 Évaluation et proposition de solutions *59*

2.2 ÉTUDES EMPIRIQUES SUR LA SITUATION DE SESSIONS CRITIQUES EN STUDIO DE PROJET **63**

2.2.1 Analyses de sessions critiques traditionnelles sur table 63

2.2.1.1 Études sur les stratégies pédagogiques *64*

2.2.1.2 Étude du processus de conception *66*

2.2.2 Utilisation d'un écosystème de représentations alternatif pour les sessions critiques 69

2.2.2.1 Réalité Virtuelle et studio de projet *72*

2.2.2.2 Réalité Augmentée et studio de projet *76*

2.3 SYNTHESE **81**

CHAPITRE 3 LA SESSION CRITIQUE COMME PRATIQUE REFLEXIVE MENTOREE 83

3.1 LE MENTORAT COMME STRATEGIE PEDAGOGIQUE EN STUDIO DE PROJET **83**

3.2 LA PRATIQUE REFLEXIVE : NOTION CENTRALE DANS L'ACTIVITE DE CONCEPTION **85**

3.3 UN MODELE DE LA PRATIQUE REFLEXIVE **87**

3.3.1 L'ontologie FBS 88

3.3.2 Rendre compte de la pratique réflexive par le modèle situé FBS 89

3.4 LA PRATIQUE REFLEXIVE MENTOREE : PROPOSITION D'UN MODELE DESCRIPTIF DE LA SESSION CRITIQUE **94**

3.4.1 Le modèle de co-conception situé FBS 95

3.4.1.1 Formulation : construction de interpreted Function, Behavior et Structure *95*

3.4.1.2 Co-construction du processus Formulation (F>Be) *97*

3.4.1.3 Co-construction du processus Formulation (F>F) *98*

3.4.1.4 Co-construction du processus Formulation (Be>Be) *99*

3.4.1.5 Co-construction du processus Synthesis *100*

3.4.1.6 Co-construction du processus Analysis *101*

3.4.1.7 Co-construction du processus Evaluation *102*

3.4.1.8 Co-construction du processus Reformulation 1 ..... *104*

3.4.1.9 Co-construction du processus Reformulation 2 ..... *105*

3.4.1.10 Co-construction du processus Reformulation 3 ..... *106*

3.4.1.11 Extrait d'une session critique *108*

3.4.2 Portée du modèle : adaptabilité et évolutivité 111

3.5 LA PRATIQUE REFLEXIVE MENTOREE : CARACTERISATION DES INTERACTIONS ENTRE PARTICIPANTS ET ECOSYSTEME DE REPRESENTATIONS **115**

3.6 SYNTHESE **117**

CHAPITRE 4 ÉTUDE DE CAS PAR L'ANALYSE DE PROTOCOLES : METHODOLOGIE 119

4.1 APPROCHE PAR L'ETUDE DE CAS COMPARATIVE 119

4.1.1 Entretiens et questionnaires 120

4.1.2 L'analyse de protocoles 121

4.1.2.1 Principe 121

4.1.2.2 Exemples de cadre théorique pour l'analyse de protocole 122

4.1.2.3 Cadre analytique et famille de codes 125

4.2 RECUEIL DES DONNEES BRUTES ET ENCODAGE 132

4.3 L'ANALYSE DE PROTOCOLE POUR ETUDIER LA SITUATION DE LA PRATIQUE REFLEXIVE MENTOREE 136

4.3.1 Analyser la variation des modes pédagogiques par la distribution des processus de conception et de co-conception 136

4.3.2 Analyser la pratique réflexive 139

4.3.2.1 Coévolution de l'espace problème et de l'espace solution 139

4.3.2.2 Processus de conception dominants pendant la session et rôle de chaque participant 141

4.3.2.3 Utilisation de l'écosystème de représentations 143

4.4 SYNTHESE 145

CHAPITRE 5 ANALYSE DE LA PRATIQUE REFLEXIVE MENTOREE : LE CAS TRADITIONNEL SUR TABLE 147

5.1 PRESENTATION DES CAS D'ETUDE 147

5.1.1 Le cas traditionnel : studio de projet *Sensory Architecture Sudio* 147

5.1.1.1 Présentation des sessions des étudiantes 149

5.1.1.2 Représentation schématique des cas étudiés 155

5.1.2 Représentation de la situation de la session critique sur le modèle de pratique réflexive mentorée 156

5.1.3 Description de l'écosystème de représentations traditionnel 158

5.1.4 Données temporelles des sessions 158

5.2 RESULTATS 160

5.2.1 Variation des modes pédagogiques liés aux interactions entre acteurs 161

5.2.1.1 Activité de conception individuelle et co-conception 161

5.2.1.2 Évolution de l'engagement de l'étudiant au cours de la session 165

5.2.2 Analyse de la pratique réflexive 172

5.2.2.1 Coévolution de l'espace problème et de l'espace solution 172

5.2.2.2 Dominance des processus FBS 179

5.2.2.3 Rôle de chaque acteur et évolution 183

5.2.2.4 Représentation qualitative des processus cognitifs de conception de chaque acteur ... 186

5.2.3 Utilisation de l'écosystème de représentations dans la critique traditionnelle ... 191

5.2.3.1 Distribution des types d'actions ... 191

5.2.3.2 Navigation dans l'écosystème de représentations : points de vue et dimensions ... 193

5.2.3.3 Relation entre écosystème de représentations et processus de conception ... 195

5.2.4 Bilan des entretiens et des questionnaires ... 197

5.3 RESUME DES RESULTATS ... 199

5.3.1 Les rôles de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ... 199

5.3.2 Actions des participants à la session critique sur l'écosystème de représentations ... 200

5.4 SYNTHESE ... 202

CHAPITRE 6 ANALYSES DE SESSIONS CRITIQUES DANS DES ECOSYSTEMES DE REPRESENTATIONS ALTERNATIFS 205

6.1 PRESENTATION DES CAS D'ETUDE ... 205

6.1.1 Le cas maquette : studio de projet Construction Architecturale ... 206

6.1.1.1 Présentation des sessions des étudiants ... 207

6.1.2 Le cas Hyve-3D : deux studios de projet ... 211

6.1.2.1 Studio Architecture en Représentation de l'Ensa Nantes ... 211

6.1.2.2 Présentation des sessions des étudiants du studio Architecture en Représentation ... 213

6.1.2.3 Studio design industriel Université de Montréal ... 215

6.1.3 Le Studio Digital Collaboratif à l'université de Liège ... 216

6.1.3.1 Présentation des sessions des étudiants ... 218

6.1.4 Synthèse des cas d'étude observés ... 220

6.1.5 Représentation de la situation de la session critique sur le modèle de pratique réflexive mentorée ... 221

6.1.6 Description comparative des quatre écosystèmes de représentations ... 224

6.1.7 Données temporelles des sessions ... 225

6.1.8 Limites de l'analyse ... 226

6.2 RESULTATS ... 227

6.2.1 Favoriser l'engagement des étudiants dans la session critique ... 228

6.2.1.1 Engagement des étudiants dans les processus de co-conception FBS ... 228

6.2.1.2 Évolution de l'engagement de l'étudiant au cours de la session ... 231

6.2.1.3 Mise en parallèle avec un autre cas d'étude Hyve-3D ... 237

6.2.2 Inciter à l'évaluation, la reformulation des intentions de projet et la formulation de propositions 239
6.2.2.1 Coévolution de l'espace problème / solution 240
6.2.2.2 Processus de conception dominants pour chaque type d'écosystème de représentations 246
6.2.2.3 Différences relatives du rôle de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée 249
6.2.2.4 Représentation qualitative des processus cognitifs de conception de chaque acteur 255
6.2.3 Amplifier les actions sur l'écosystème de représentations 263
6.2.3.1 Actions sur les représentations 264
6.2.3.2 Prévalence des points de vue 266
6.2.3.3 Navigation dans l'écosystème de représentations 268
6.2.3.4 Relation entre écosystème de représentations et processus de conception 269
6.2.4 Bilan des entretiens 276
6.2.4.1 Sur l'utilisation de l'écosystème de représentations pour concevoir 277
6.2.4.2 Sur l'utilisation de l'écosystème de représentation comme support de la session critique 278

6.3 ,RESUME DES RESULTATS 279
6.3.1 Favoriser l'engagement des étudiants dans la session critique 279
6.3.2 Inciter à l'évaluation, la proposition de solutions et la reformulation des intentions 281
6.3.3 Amplifier les actions sur l'écosystème de représentations 282

6.4 SYNTHESE 285

CHAPITRE 7 DISCUSSION ET PERSPECTIVES 287

7.1 CONTRIBUTION THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE : UTILISATION DU MODELE DE CO-CONCEPTION SITUE FBS 287
7.1.1 Portée du modèle de co-conception situé FBS : deux exemples 288
7.1.1.1 Effet du genre sur l'activité de co-conception 288
7.1.1.1 Représentation des processus de co-conception d'une session critique à six participants 290

7.2 CONTRIBUTIONS DE L'ETUDE DE CAS 293
7.2.1 Définition de la pratique réflexive mentorée durant les sessions critiques 294
7.2.2 Effet de l'utilisation de l'écosystème de représentations sur la pratique réflexive mentorée durant les sessions critiques 296

7.3 IMPLICATIONS : PROPOSITION PEDAGOGIQUE POUR LA SESSION CRITIQUE EN STUDIO DE PROJET 301
7.3.1 Organisation du studio 301

7.3.2 CORAULIS et le paradigme WIM (*World in Miniature*) 303

7.4 SYNTHESE 311

CHAPITRE 8 CONCLUSION GENERALE 313

BIBLIOGRAPHIE 317

Table des figures

Figure 1 Une configuration possible de CORAULIS (A : projecteurs pour la SAR, B : plan, coupe et maquette augmentés, C : écran immersif) 26
Figure 2 Diagramme d'apprentissage en studio proposé par Monson, 2007 cité dans Brocato (2009) 48
Figure 3 CAP VR (source: https://capvrenvironment.wordpress.com/) 74
Figure 4 IVE (Immersive Virtual Environment) (Sopher, Kalay, & Fisher-Gewirtzman, 2017) 74
Figure 5 Hyve-3D (Dorta, Kinayoglu, & Hoffmann, 2016) 74
Figure 6 Descriptif de la LPT (Ishii & Ben-Joseph, 2002) 78
Figure 7 Proposition pour un futur développement de la LPT (Ishii & Ben-Joseph, 2002) 79
Figure 8 Ontologie FBS basée sur (Gero, 1990) 89
Figure 9 Processus de conception situés basé sur Gero & Kannengiesser, 2004 91
Figure 10 Extrait du protocole de Petra et Quist (Schön, 1981) exploité par Gero & Kannengiesser (2008) pour exemplifier les processus de conception situés FBS. 92
Figure 11 (a) Ontologie FBS, (b) Modèle situé FBS (basé sur Gero and Kannengiesser, 2004) 94
Figure 12 (a) Processus Formulation FBS, R à F (b) Processus Formulation FBS situé, R à F, Be et S. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 96
Figure 13 (a) Processus Formulation de F à Be, (b) Processus situé Formulation de F à Be. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 97
Figure 14 (a) Processus Formulation de F à F, (b) Processus situé Formulation de F à F. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 98
Figure 15 (a) Processus Formulation de Be à Be, (b) Processus situé Formulation de Be à Be. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 99
Figure 16 (a) Processus Synthesis, (b) Processus situé Synthesis. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 100
Figure 17 (a) Processus Analysis, (b) Processus situé Analysis. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 101
Figure 18 (a) Processus Evaluation de Be à Bs, (b) Processus situé Evaluation de Be à Bs. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 102
Figure 19 (a) Processus Evaluation de Bs à Be, (b) Processus situé Evaluation de Bs à Be. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 103
Figure 20 (a) Processus Reformulation 1, (b) Processus situé Reformulation 1. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 104
Figure 21 (a) Processus Reformulation 2, (b) Processus situé Reformulation 2. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 105

Figure 22 (a) Processus Reformulation 3, (b) Processus situé Reformulation 3. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs. 106
Figure 23 (a) Co-construction des processus FBS situés du concepteur A vers B, (b) et Co-construction des processus FBS situés du concepteur B vers A 107
Figure 24 Modèle de co-conception situé FBS 108
Figure 25 Extrait de session critique montrant l'enchaînement de processus cognitifs de conception et leurs représentations sur le modèle de co-conception situé FBS 110
Figure 26 Représentation des processus de conception sFBS dominants pour la session critique donnée en exemple 111
Figure 27 Représentation d'une situation de co-conception pour une équipe de quatre concepteurs 113
Figure 28 Représentation d'une situation de co-conception pour trois équipes de deux (équipe 1), trois (équipe 2) et quatre concepteurs (équipe 3) 114
Figure 29 Représentations des interactions entre participants et écosystème de représentations : processus d'interprétation (a), processus d'action (b) 116
Figure 30 Représentation de l'ensemble de nos cas d'étude. 120
Figure 31 Action de pointer une représentation (a) dans le Hyve-3D, (b) sur la maquette, (c) lors de la session sur table. 127
Figure 32 Action de représenter par un geste. Avec ce geste, l'enseignant représente un type de fenêtre en long, comme une faille dans le bâtiment. 128
Figure 33 Action de dessiner (a) dans l'écosystème de représentations du SDC, (b) sur calque lors d'une session sur table, (c) dans le Hyve-3D. 129
Figure 34 Action de modéliser. Dans cet exemple, l'enseignant modélise par la maquette physique, il teste différentes formes de tours de logements en empilant des blocs. 130
Figure 35 Action de naviguer. Cette action n'est possible que dans le cas où une maquette numérique est utilisée pendant la session critique, comme c'est le cas ici dans le Hyve-3D. 131
Figure 36 Capture d'écran interface Atlas.ti pour codage vidéo des sessions. Dans cet exemple, l'enseignant formule un élément (Bs), tout en pointant une représentation en 3D, avec un point de vue allocentré. 132
Figure 37 Extrait d'un protocole encodé sur tableur Excel. Le tableur Excel reprend dans la première colonne l'identifiant de chacune des verbalisations. Les colonnes 'Actor' (S = étudiant, T = enseignant) et code final sont exportées d'Atlas.ti ainsi que les colonnes 'Action', 'Dimension' et 'Point de vue (PoV)'. La colonne 'Interaction' indique la transition entre les deux participants, 'process' indique les processus de conception, 'Action switch' indique le changement d'action, 'Dimension switch' indique le changement de dimension (2D ou 3D) et 'PoV switch' indique le changement de point de vue. Ces colonnes sont générées par des macros dans Excel. 135
Figure 38 Représentation schématique de l'occurrence cumulée des processus de conception FBS où l'étudiant intervient au cours d'une session critique 138
Figure 39 Exemple de l'occurrence cumulée des processus de conception FBS pour une session critique 138
Figure 40 Distinction entre espace problème et espace solution sur le modèle de co-conception situé FBS 140
Figure 41 Exemple de variation l'indicateur P-S temporel pour une session pour une fenêtre de 20 segments 141
Figure 42 Exemple d'analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions entre acteur et la distribution moyenne des processus de conception FBS 142
Figure 43 Représentation des processus sFBS de co-conception enseignant > étudiante (a) et étudiante > enseignant (b) 143
Figure 44 Exemple d'analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations et la distribution moyenne des processus de conception FBS 144
Figure 45 Exemple de session traditionnelle sur table du *Sensory Architecture Studio*. Nous voyons sur cette photo d'une des sessions critiques les documents apportées par l'étudiante : la maquette, les coupes et les plans imprimés sur papier. 149
Figure 46 Les trois sessions de l'étudiante A : (a) session 1, (b) session 2, (c) session 3 150
Figure 47 Les trois sessions de l'étudiante B : (a) session 1, (b) session 2, (c) session 3 152
Figure 48 Les trois sessions de l'étudiante C : (a) session 1, (b) session 2, (c) session 3 154
Figure 49 Représentations des cas d'études étudiés 155

Figure 50 Situation de session critique type A avec un enseignant et un étudiant. Chaque participant possède son espace interne d'interprétation du projet et d'intentions de projet. Le projet, défini par des représentations externes sous la forme de R, F, B et S, est partagé et concentre les interactions entre les participants. 157
Figure 51 Situation de session critique type B avec deux enseignants et un étudiant. Les trois participants agissent sur le projet représenté dans l'espace externe par la formalisation d'éléments du projet sous la forme R, F, B ou S..... 157
Figure 52 Situation temporelle des sessions étudiées sur un semestre de projet de 14 semaines. Les sessions ont été observées vers la fin du semestre. La semaine 13 n'est pas analysée car le format de la session n'est pas celui d'une session critique mais d'un jury. 159
Figure 53 Diagramme en boîte de la distribution (%) des processus de conception FBS par interactions d'acteurs 164
Figure 54 Occurrences cumulées session 1 étudiante A 167
Figure 55 Occurrences cumulées session 2 étudiante A..... 167
Figure 56 Occurrences cumulées session 3 étudiante A..... 167
Figure 57 Occurrences cumulées session 1 étudiante B 168
Figure 58 Occurrences cumulées session 2 étudiante B..... 168
Figure 59 Occurrences cumulées session 3 étudiante B..... 168
Figure 60 Occurrences cumulées session 1 étudiante C 169
Figure 61 Occurrences cumulées session 2 étudiante C..... 169
Figure 62 Occurrences cumulées session 3 étudiante C..... 169
Figure 63 Modélisation des occurrences cumulées des processus de conception où l'étudiante participe 171
Figure 64 Indicateur P-S temporel pour l'étudiante A : session 1 (a), session 2 (b), session 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution. 176
Figure 65 Indicateur P-S temporel pour l'étudiante B : session 1 (a), session 2 (b), session 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution. 177
Figure 66 Indicateur P-S temporel pour l'étudiante C : session 1 (a), session 2 (b), session 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution. 178
Figure 67 Tendance d'indicateur P-S temporel pour une session critique traditionnelle sur table. L'indicateur a tendance à augmenter entre le début et la fin de la session ce qui montre que l'activité est de plus en plus focalisée sur l'espace problème. Ici, nous représentons une oscillation sur une fenêtre de 100 segments (8 minutes) qui indique le phénomène itératif de la coévolution de l'espace problème et de l'espace solution durant l'activité de conception de la session critique. 179
Figure 68 Analyse factorielle des correspondances entre les neufs sessions et les processus de conception FBS. 96,8% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les sessions (rouge) et les processus de conception (noir). 182
Figure 69 Diagramme en boîte de la distribution (%) des processus de conception FBS 182
Figure 70 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions d'acteurs et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour la session 1. 92,3% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions d'acteurs (rouge) et les processus de conception (noir). 184
Figure 71 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions d'acteurs et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour la session 2. 98,1% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions d'acteurs (rouge) et les processus de conception (noir). 185
Figure 72 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions d'acteurs et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour la session 3. 98,3% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions d'acteurs (rouge) et les processus de conception (noir). 185

Figure 73 Représentation des processus sFBS de conception individuels étudiante (a) et enseignant (b) pour la session 1 188
Figure 74 Représentation des processus sFBS de conception individuels étudiante (a) et enseignant (b) pour la session 2 188
Figure 75 Représentation des processus sFBS de conception individuels étudiante (a) et enseignant (b) pour la session 3 189
Figure 76 Représentation des processus sFBS de co-conception enseignant > étudiante (a) et étudiante > enseignant (b) pour la session 1 189
Figure 77 Représentation des processus sFBS de co-conception enseignant > étudiante (a) et étudiante > enseignant (b) pour la session 2 190
Figure 78 Représentation des processus sFBS de co-conception (a) enseignant > étudiante et étudiante > enseignant (b) pour la session 3 190
Figure 79 Distribution normalisée (%) des actions de chaque acteur sur l'écosystème de représentations pour chaque session 192
Figure 80 Distribution normalisée (%) de l'utilisation de la dimension de la représentation pour chaque session 194
Figure 81 Distribution normalisée (%) de l'utilisation du point de vue de la représentation pour chaque session 194
Figure 82 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions avec l'écosystème de représentations et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour l'ensemble des sessions. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir). 196
Figure 83 Exemple de session critique avec l'écosystème maquette grande échelle (1/100ème) 207
Figure 84 Session critique maquette de l'étudiante D. Pour cette session la maquette de l'étudiante représente le concept de paysage qui définit le parti pris du projet. Le travail en triangle est un des essais de formalisation du concept. Un test en maquette en bande est également apporté pour la session critique. 208
Figure 85 Session critique maquette de l'étudiant E. Les cinq séquences du projet de l'étudiant E apparaissent entre les blocs de circulations du projet, représentés en carton gris sur la maquette. 209
Figure 86 Session critique maquette de l'étudiant F. La maquette au 1/100ème représente le dernier projet de l'étudiant. La maquette au 1/500ème, posée sur un des bâtiments du contexte urbain, illustre un des tests de projet réalisés par l'étudiant durant les sessions précédentes. 210
Figure 87 Exemple de session Hyve-3D. Le Hyve-3D se compose d'un écran immersif courbe où le projet de l'étudiant est projeté à l'échelle 1, et d'une interface de dessin et de navigation appelée Curseur 3D (Ipad). 212
Figure 88 Session critique Hyve-3D de l'étudiant G. Le bâtiment en long définissant le projet de l'étudiant est visible à l'échelle 1 sur l'écran immersif courbe. 213
Figure 89 Session critique Hyve-3D de l'étudiante H. Sur la maquette du projet, nous voyons le mur de portes au fond du lobby. L'enseignant dessine un nouvel emplacement du bureau d'accueil dont les traits de dessin apparaissent en jaune sur la droite de la photo. 214
Figure 90 Session critique Hyve-3D de l'étudiant I. La proposition de décor fermé, placé au centre du bâtiment, est visible sur l'image. L'étudiant dessine en rouge une bande de passage sur un des côtés du bâtiment, comme le suggère l'enseignant. 215
Figure 91 Exemple de session SDC sur le site de Liège. Les documents des étudiants (plans, coupes, images) sont projetés sur la table, et chacun des participants peut dessiner ou annoter les documents présentés. Les éléments projetés sont partagés avec l'équipe de Nancy, qui est connectée par Skype et que l'on aperçoit sur l'écran d'ordinateur. 217
Figure 92 Session critique SDC du groupe J. Au début de la session critique, l'enseignant passe en revue les changements opérés concernant les accès aux bâtiments et l'organisation du parking sur le plan masse. 218
Figure 93 Session critique SDC du groupe K. Les traits en rouge sur le plan et la coupe indiquent l'emplacement possible de la circulation verticale au centre du bâtiment. 219
Figure 94 Session critique SDC du groupe L. Sur les plans affichés, l'organisation spatiale du bâtiment est lisible : une circulation libre en façade et des blocs aux centres. 220
Figure 95 Représentations des cas d'études étudiés 221

Figure 96 Situation de session critique type A avec un enseignant et un étudiant. Chaque participant possède son espace interne d'interprétation du projet et d'intentions de projet. Le projet défini par des représentations externes sous la forme de R, F, B et S est partagé et concentre les interactions entre les participants. 222
Figure 97 Situation de session critique type B avec deux enseignants et un étudiant. Les trois participants agissent sur le projet représenté dans l'espace externe par la formalisation d'éléments du projet sous la forme R, F, B ou S. 222
Figure 98 Situation de session critique de type C avec deux enseignants et quatre étudiants. Dans le cas représenté ici, chaque participant peut exprimer ses intentions de projet par une action sur l'espace externe de représentation du projet. Dans le cas de la critique multi-sites, les représentations externes numériques sont dupliquées à l'identique et les actions sur les représentations externes sont perçues en temps réel. 223
Figure 99 Situation temporelle des sessions étudiées sur un semestre de projet de 14 semaines 225
Figure 100 Occurrences cumulées de la session maquette de l'étudiante D 234
Figure 101 Occurrences cumulées de la session maquette de l'étudiant E 234
Figure 102 Occurrences cumulées de la session maquette de l'étudiant F 234
Figure 103 Occurrences cumulées de la session Hyve-3D de l'étudiant G 235
Figure 104 Occurrences cumulées de la session Hyve-3D de l'étudiante H 235
Figure 105 Occurrences cumulées de la session Hyve-3D de l'étudiant I 235
Figure 106 Occurrences cumulées de la session SDC du groupe J 236
Figure 107 Occurrences cumulées de la session SDC du groupe K 236
Figure 108 Occurrences cumulées de la session SDC du groupe L 236
Figure 109 Indicateur P-S temporel pour les sessions maquette : étudiante D (a), étudiant E (b), étudiant F (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution. 243
Figure 110 Indicateur P-S temporel pour les sessions Hyve-3D : étudiant G (a), étudiant H (b), étudiant I (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution. 244
Figure 111 Indicateur P-S temporel pour les sessions SDC : étudiant 1 (a), étudiant 2 (b), étudiant 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution. 245
Figure 112 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'écosystème de représentations et les processus de conception FBS. 94,4% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les types de sessions critiques (rouge) et les processus de conception (noir). 248
Figure 113 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus individuels de l'étudiant pour chaque type d'écosystème de représentations 251
Figure 114 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus individuels de l'enseignant pour chaque type d'écosystème de représentations 251
Figure 115 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus collaboratifs étudiant > enseignant pour chaque type d'écosystème de représentations 253
Figure 116 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus collaboratifs enseignant > étudiant pour chaque type d'écosystème de représentations 253
Figure 117 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions par écosystème de représentations et les processus de conception FBS. 77,6% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions de participants (rouge) et les processus de conception (noir). 254
Figure 118 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'étudiant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b) 258
Figure 119 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'étudiant pour les sessions Hyve-3D (a) et SDC (b) 258
Figure 120 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'enseignant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b) 259

Figure 121 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'enseignant pour les sessions Hyve-3D (a) et SCD (b) 259
Figure 122 Représentation des processus situés FBS de co-conception enseignant > étudiant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b) 261
Figure 123 Représentation des processus situés FBS de co-conception enseignant > étudiant pour les sessions Hyve-3D (a) et SDC (b) 261
Figure 124 Représentation des processus situés FBS de co-conception étudiant > enseignant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b) 262
Figure 125 Représentation des processus situés FBS de co-conception étudiant > enseignant pour les sessions Hyve-3D (a) et SDC (b) 262
Figure 126 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas traditionnel) 271
Figure 127 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas maquette). 271
Figure 128 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas Hyve-3D). 272
Figure 129 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas SDC). 272
Figure 130 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations traditionnel et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir). 274
Figure 131 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations maquette et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir). 274
Figure 132 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations Hyve-3D et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir). 275
Figure 133 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions avec l'écosystème de représentations SDC et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir). 275
Figure 134 (a) Représentation des processus de co-conception situés FBS pour l'équipe homogène, (b) Représentation des processus de co-conception situés FBS pour l'équipe hétérogène. 290
Figure 135 Représentation du processus co-conçu *Synthesis*. Les participants collaborent à travers le projet représenté dans l'espace externe sous la forme d'une instance de R, F, Be, Bs ou S. 291
Figure 136 Représentation du processus co-conçu *Analysis*. Les participants collaborent à travers le projet représenté dans l'espace externe sous la forme d'une instance de R, F, Be, Bs ou S. 292
Figure 137 Représentation du processus co-conçu *Reformulation 2*. Les participants collaborent à travers le projet représenté dans l'espace externe sous la forme d'une instance de R, F, Be, Bs ou S. 292
Figure 138 Configuration proposé pour CORAULIS (A : projecteurs pour la SAR, B : plans / coupes augmentés et maquette, C : écran immersif) 304
Figure 139 Proposition pour un futur développement de la LPT (Ishii & Ben-Joseph, 2002) 305
Figure 140 (a) Proposition d'utilisation de CORAULIS pour la phase 1 : maquette augmentée, croquis 3D augmentés avec l'interface Hyve-3D, (b) Proposition d'utilisation de CORAULIS pour la phase 2 : plan papier ou numérique, croquis 3D augmentés avec l'interface Hyve-3D. 307

Table des tableaux

Tableau 1 Thématiques et utilisations dominantes de la RV et RA en fonction de leur support 71
Tableau 2 Interprétation de la relation entre processus FBS situés et pratique réflexive 93
Tableau 3 Test kappa entre deux codes pour chaque protocole encodé 133
Tableau 4 Caractérisation de l'écosystème de représentations de notre cas d'étude 158
Tableau 5 Durée des sessions critiques observées 159
Tableau 6 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS (individuels et co-conçus) sur l'ensemble des processus potentiels pour chaque session 163
Tableau 7 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS (individuels et co-conçu) sur l'ensemble des processus potentiels pour chaque session 164
Tableau 8 Mesures liées à l'occurrence cumulée des processus individuels étudiante 170
Tableau 9 Mesures liées à l'occurrence cumulée des processus étu. > ens. 170
Tableau 10 Mesures liées à l'occurrence cumulée des processus ens. > étu. 170
Tableau 11 Évolution du P-S indicateur de session en session 173
Tableau 12 Distribution (%) normalisée des processus de conception FBS pour chaque session 180
Tableau 13 Occurrence des changements de points de vue et de dimension normalisée par session pour un ensemble de 450 segments (environ 30 min) 195
Tableau 14 Caractérisation des écosystèmes de représentations de nos cas d'étude 224
Tableau 15 Durée des sessions critiques observées pour chacune des sessions 226
Tableau 16 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS (individuels et co-conçus) sur l'ensemble des processus potentiels pour chaque session 229
Tableau 17 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS en fonction des interactions des acteurs de la session 230
Tableau 18 Indicateur P-S par type de session 241
Tableau 19 Distribution normalisée des processus de conception FBS pour chaque session 247
Tableau 20 Distribution normalisée (%) des actions des acteurs des sessions critiques sur l'écosystème de représentations 265
Tableau 21 Distribution normalisée des points de vue des représentations du projet utilisées 267
Tableau 22 Distribution normalisée des dimensions des représentations du projet utilisées 267
Tableau 23 Occurrences des changement de points de vue et de dimension normalisées par sessions pour un ensemble de 450 segments (environ 30 min) 269
Tableau 24 Indicateur de navigation dans l'espace de conception en fonction des acteurs du processus et du type de session 284
Tableau 25 Indicateur de relation entre processus de conception et actions sur les représentations 284
Tableau 26 Déroulé général du studio basé sur une synthèse de 4 studios de l'Ensa Nantes 302
Tableau 27 Caractérisation des écosystèmes de représentations de CORAULIS dans les configurations proposées 306

Chapitre 1 Introduction : Vers une innovation pédagogique de la critique en studio de projet

Ce travail de recherche se focalise sur la pédagogie du studio de projet en architecture, plus précisément sur l'effet de l'utilisation de différents types de représentations du projet sur la situation de la session critique.

Dans ce chapitre, nous allons introduire le contexte de la thèse, l'émergence de la problématique, le positionnement et la méthode, ainsi que nos objectifs de recherche.

1.1 Contexte de la thèse

1.1.1 L'enseignement de la conception en studio d'architecture

Le studio de projet est une des pierres angulaires du cursus en architecture. Chaque semaine, les étudiants passent un à deux jours en studio de projet en présence de leurs enseignants. Les modes pédagogiques mis en place sont divers : cours théoriques, workshops, échanges informels, sessions critiques et rendus de projet. L'objectif pédagogique au cœur du studio de projet est de mettre les étudiants en situation de conception. En ce sens, l'enseignant cherchera à transmettre des connaissances et à faire acquérir des compétences à l'étudiant pour qu'il ou elle ait la capacité de concevoir un projet. La conception d'un projet est rarement considérée comme une méthode applicable et répétable. De ce fait, les enseignants sont bien souvent dans l'incapacité d'expliquer méthodiquement aux étudiants la manière dont ils conçoivent et ce qui est attendu en terme de conception. Les enseignants demandent donc aux étudiants de concevoir un projet, activité qu'ils ne maîtrisent pas encore, sans pouvoir formaliser explicitement la manière de répondre à cet exercice. Pour cela, les

enseignants accompagnent et guident leurs étudiants dans leur activité de conception, que nous considérons comme une pratique réflexive (Schön, 1983). Le mode de fonctionnement d'apprentissage par le faire est dominant dans cette situation et souligne l'importance du rapport entre enseignants et étudiants. En effet, les étudiants apprennent en expérimentant la conception, dans un processus d'essais et d'erreurs, par la découverte.

Les représentations du projet forment le support des interactions entre les participants à la session critique en studio de projet. Celles utilisées aujourd'hui par les étudiants varient du schéma, diagramme, et croquis, aux plans, coupes, et perspectives en passant par la maquette physique et numérique, parfois animée ou immersive. Ces représentations sont également exploitées dans le monde professionnel et sont cadrées par un langage particulier. La communication entre étudiants et enseignants passe par l'ensemble de ces représentations qui servent de support d'échanges concernant l'avancement du projet de l'étudiant. Les représentations du projet ont une triple valeur pendant la session critique :

- elles sont le support de la communication permettant aux étudiants de s'exprimer sur leurs projets et de se faire comprendre par leurs enseignants,
- elles sont le support de collaboration où les participants à la critique pourront argumenter, expliquer des concepts, trouver des compromis par la co-construction d'une idée et d'un raisonnement,
- elles sont le support de la conception dans le sens où enseignants et étudiants pourront proposer une solution entière ou partielle à un problème de conception non résolu, en redessinant sur un plan ou une coupe, ou par un autre moyen de communication.

Les pratiques en architecture et les représentations du projet sont influencées et modelées par des facteurs tels que l'évolution des technologies du numérique. Mario Carpo nous parle de plusieurs tournants numériques en architecture (Carpo, 2013, 2017). Le premier aurait changé nos manières de produire par l'exploration formelle grâce à la conception paramétrique et par la participation collective au processus de conception soutenue par un système comme le *Building Information Modeling* (BIM). Le deuxième tournant numérique modifierait nos modes de pensées, tendant vers une démarche de *mass produce variation*, soutenue par la culture des *makers* et des *fablabs*. L'évolution des technologies du numérique modifie nos processus de conception, les outils et représentations de ce processus de conception et son résultat, le projet. Ces tournants numériques s'invitent bien

évidemment dans les studios de projet et l'émergence d'outils de conception et de représentations alternatifs, immersifs et interactifs pose de nombreuses questions par rapport à l'intégration de ces outils dans le cadre pédagogique de l'enseignement de l'architecture.

L'angle d'approche pédagogique et l'angle d'approche numérique se rejoignent au cœur du travail présenté ici.

1.1.2 La plateforme immersive CORAULIS

Le questionnement sur l'outil numérique et son intégration en studio de projet est soulevé dans le cadre de cette thèse de manière concrète, en lien avec le projet de construction de la plateforme CORAULIS[1] (Centre d'Observation en Réalité Augmentée et Lieu d'Immersion Sonore) à l'école d'architecture de Nantes (construction en 2019). La particularité de CORAULIS est de proposer un environnement de représentation du projet d'architecture immersif, interactif et synchronisé utilisant des technologies de réalité virtuelle (RV) et augmentée (RA) (Figure 1). Le concept de réalité mixte (Milgram & Kishino, 1994) illustre une échelle de réalités allant de l'environnement réel à l'environnement virtuel, incluant la réalité virtuelle et la réalité augmentée. L'un comme l'autre offrent une alternative de représentations des projets et détiennent un potentiel de support de communication du projet, d'évaluation du projet et de conception du projet. L'utilisation de ces outils dans un cadre pédagogique est variée, allant de la volonté d'augmenter la collaboration entre les étudiants, de favoriser la conception immersive et l'évaluation des projets ou encore de promouvoir la conception sur site grâce à des applications en réalité augmentée sur tablette ou smartphone (Milovanovic *et al.*, 2017). CORAULIS inclura une représentation immersive du projet en réalité virtuelle grâce à un écran à 360° et une représentation du projet en réalité augmentée spatiale (Raskar, Welch, & Fuchs, 1998), où des éléments physiques réels, comme des maquettes, seront augmentés par des informations numériques.

[1] https://aau.archi.fr/contrat-de-recherche/coraulis-centre-dobservation-en-realite-augmentee-et-lieu-dimmersion-sonore/ consulté le 11/05/2019

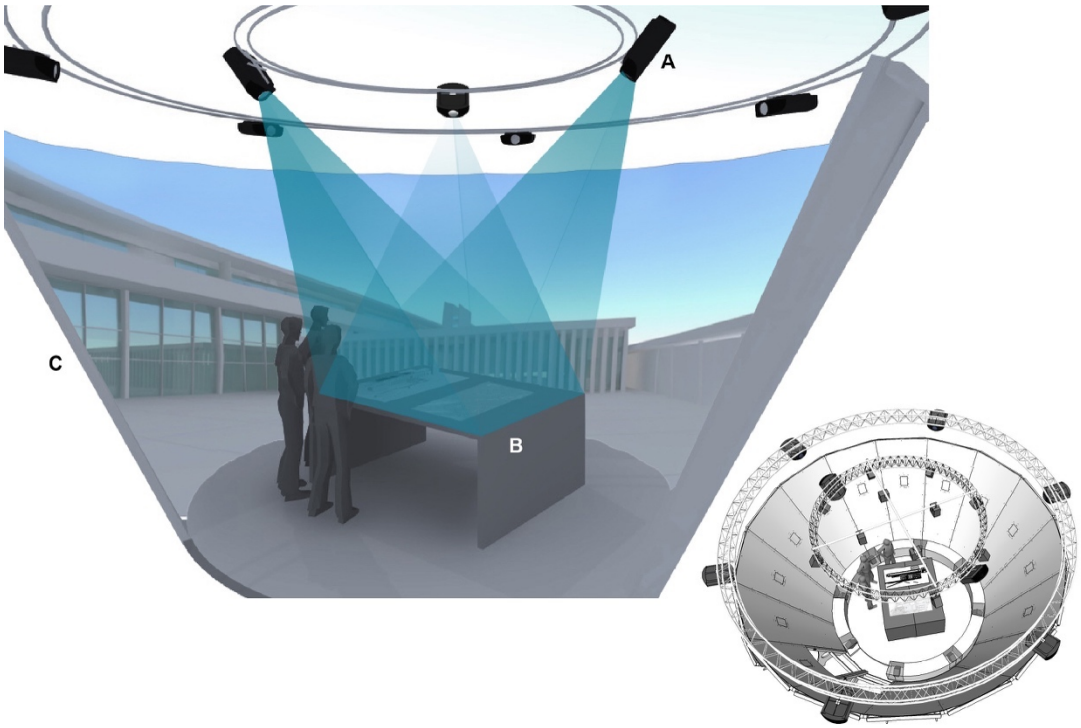


Figure 1 Une configuration possible de CORAULIS (A : projecteurs pour la SAR, B : plan, coupe et maquette augmentés, C : écran immersif)

Le développement du projet CORAULIS a été une raison du financement de cette thèse, ayant pour objectif d'explorer l'apport potentiel de cette plateforme dans la pédagogie du studio de projet. Les délais de réalisation de CORAULIS n'ont pas permis la mise en place d'un studio de projet l'utilisant. Des alternatives ont donc été explorées pour mener ce travail de thèse sur l'apport de l'utilisation de différents écosystèmes de représentations dans le cadre de la session critique en studio de projet. Ce contretemps concernant la construction de CORAULIS a été un moteur pour le développement d'échanges avec d'autres laboratoires de recherche travaillant sur ces questions. Plusieurs mobilités de recherche et observations de cas d'études dans des laboratoires externes ont été effectuées pour construire la recherche présentée ici (cf 1.4., p.32).

Dans la suite de cette partie introductive, nous présenterons notre objet d'étude, l'émergence de la problématique et nos questions de recherche, notre positionnement, ainsi que les objectifs de ce travail.

1.2 Objet d'étude

Avant de définir la problématique de cette thèse, nous allons introduire notre objet d'étude. Nous étudions l'effet de l'écosystème de représentations sur la situation de la session critique en studio de projet en école d'architecture.

1.2.1 Le studio de projet

Dans les premières pages de *The Design Studio*, Schön (1985) propose une définition du studio de projet en école d'architecture comme un prototype d'apprentissage par le faire, collectif et individuel, influencé et guidé par les critiques d'un praticien expert. Le studio de projet est une des pierres angulaires de la formation d'architecte et vise à mobiliser un ensemble de connaissances sur la conception architecturale, acquises par les étudiants pendant et en dehors du studio. L'intégration de ces connaissances se synthétise à travers la production d'un projet architectural.

En France, l'institutionnalisation de la pratique architecturale est apparue avec la création de l'Académie Royale (1671), visant à proposer une formation des architectes par la simulation de la réalité du terrain à travers des exercices de projet (Tapie, 1996). Ce modèle pédagogique est conservé dans les ateliers des Beaux-Arts, et transparait aujourd'hui dans le modèle actuel du studio de projet. L'école du Bauhaus en Allemagne a également eu une influence sur la culture du studio. Ces deux approches se distinguent par leurs considérations artistiques et par leurs fonctionnements et pédagogies. Chaque atelier des Beaux-Arts était dirigé par un maître. Les étudiants postulaient pour apprendre à concevoir à la façon du maître d'atelier. Dans les ateliers du Bauhaus, les étudiants étaient poussés à la créativité et à l'expérimentation. L'art et l'artisanat y étaient explorés en utilisant de nouvelles technologies et méthodes industrielles. La pédagogie du studio de projet aujourd'hui se situe au croisement de ces deux modèles d'atelier et fait écho à la définition proposée par Schön (1985).

La littérature sur le studio de projet fait état de ses qualités en terme d'apprentissage ce qui motive son application en dehors des domaines de l'architecture, de l'art et de l'ingénierie comme la formation des enseignants (Brocato, 2009). Cependant, la pédagogie du studio comporte aussi des limites et des ajustements sont à tester par itérations pour saisir quelles stratégies pédagogiques seraient les mieux adaptées à chaque situation. Récemment, de

nouveaux programmes ou organisations du studio de projet sont proposés pour améliorer l'apport pédagogique. L'apprentissage expérientiel (Kolb, 1984) propose un cadre théorique pour discuter l'intégration d'une commande d'un projet réel dans le curriculum du studio à la place d'un projet imaginaire sans contrainte de budget et sans interaction avec un commanditaire (Symposium EXPLEARN 2016 [2]). Dans les séminaires du Réseau PA-Pier [3] (Pédagogie Architecture et Paysage), la question de l'évaluation des compétences, le format de la critique de projet et la rétroaction (le *feedback*) ou l'apprentissage de la collaboration sont abordés dans le contexte du studio de projet et donnent des clés pour améliorer sa pédagogie.

1.2.2 La session critique en studio de projet

Les sessions critiques de projet ou revues de projets rythment la temporalité du studio qui s'étend généralement sur un semestre. Elles sont l'occasion pour les étudiants de présenter leur projet et d'avoir un retour de leurs enseignants sur leur avancement, ce qui en fait un moment clé dans leur apprentissage de la conception. Parue en 1981, « *Architectural Education Study* » offre une des premières études complètes sur l'enseignement en studio de projet intégrant 350 heures d'enregistrements de sessions en studio et d'entretiens (Porter & Kilbridge, 1981). Cette étude s'organise autour d'observations ethnographiques d'étudiants et d'enseignants lors de sessions critiques en studio dans plusieurs universités américaines.

L'exemple souvent utilisé par Schön (1981, 1983, 1984, 1985) de l'enseignant Quist et de l'étudiante Petra est tiré de ce corpus. Il s'appuie sur ce cas pour illustrer la stratégie pédagogique de l'enseignant pendant la critique qu'il définit comme *coaching artistery*. Selon Schön, deux situations pédagogiques s'imbriquent dans le déroulement de la session critique. L'explication et la démonstration sont associées à deux types de langage, le langage à propos de la conception (*language about designing*) et le langage de la conception (*language of designing*) (Schön, 1981). Dans l'exemple référence de Schön, l'étudiante Pétra commence par expliquer qu'elle bloque sur l'implantation de son bâtiment, une école, sur le site de projet qui est irrégulier. Elle ne parvient pas à fixer un concept à développer et

[2] https://explearn2016.sciencesconf.org/ consulté le 27/05/2018
[3] https://reseaupapier.org/ consulté le 27/05/2018

peine à dépasser la phase de travail en diagrammes déterminant l'emprise bâtie de son projet. Pour commencer, Quist reformule le problème de l'étudiante et lui propose d'appliquer une règle d'organisation sur le site, bien qu'arbitraire, quitte à la déconstruire plus tard. Par cette remarque, Quist se place dans une position d'explication à propos du processus de conception (*language about designing*). Il commence ensuite à redessiner sur le plan de l'étudiante, tout en verbalisant son processus de pensée, pour accompagner son dessin (*language of designing*). Cette activité de conception est définie par Schön comme pratique réflexive, qui est une forme de réflexion située dans l'action de conception (Schön, 1983).

1.2.3 L'importance de l'écosystème de représentations du projet

Lors de son intervention, Quist se sert d'un langage spatial de conception (*spatial-action language*) à la fois verbal et graphique. Par ce langage spatial de conception, l'enseignant propose une configuration spatiale du projet tout en y incluant une projection de l'expérience d'une future utilisation (*felt-path*). Le langage spatial de conception est central dans l'activité de conception et son utilisation durant la session critique illustre le mode pédagogique par la démonstration mise en place par l'enseignant. Lorsque Quist commence à dessiner des lignes directrices sur le site pour tester une implantation de projet, il commente en parallèle à l'étudiante son processus de réflexion. Des éléments qu'il n'avait pas anticipés apparaissent dans son dessin, ce qui le force à rebondir par rapport à cette nouvelle situation de conception. Selon Schön (1981), Quist manipule l'espace réel de la feuille de papier où il dessine, en même temps qu'un espace virtuel où il se représente le projet de Petra.

Cette simulation graphique (Lebahar, 1983) dans l'espace virtuel permet de valider le projet ou non, d'interroger dans une démarche heuristique l'impact d'une décision sur le projet. Les représentations de projet de Petra, un plan sur une feuille de papier et une coupe longitudinale sur le site dessinée pendant la session, sont à la fois le médium de communication de son projet, le support d'échange critique sur son projet et l'outil d'investigation et de propositions de projet. Dans ce contexte, cet ensemble de représentations devient l'environnement de l'interaction entre Pétra et Quist, de l'interaction entre Petra et son projet, et de l'interaction entre Quist et le projet de Pétra. Cet ensemble de représentations est un

élément clé de la situation pédagogique de la session critique par cette triple qualité de support de communication, d'évaluation critique et de conception.

L'exemple de Quist et Petra a aujourd'hui presque 40 ans (Schön, 1981), cependant le problème rencontré par Pétra et l'intervention de Quist sont représentatifs d'une situation courante de session critique en studio de projet et de sa pédagogie de type mentorat. Cette même scène aujourd'hui serait sans doute différente dans la diversité des représentations de projet apportées par Petra. En effet, les outils numériques offrent des représentations du projet diverses, qui complètent les représentations analogues couramment utilisées en studio de projet, comme le plan, la coupe et la maquette physique.

À la différence d'autres domaines en design, la conception en architecture ne permet pas de tester à échelle réelle le projet en conception et le premier prototype est en réalité le bâtiment livré. La conception en architecture implique et nécessite la manipulation de multiples types de représentations à des échelles architecturales (1/50ème, 1/100ème, 1/200ème, 1/500ème) relatives aux phases d'avancement du projet. Les architectes travaillent simultanément de manière synthétique et analytique, ce qui explique leur besoin d'utiliser une variété de représentations de leur projet. La diversité des points de vue et des échelles de représentation leur permet de traiter des détails spécifiques en parallèle de concepts globaux. Les connaissances en conception sont intégrées dans les représentations externes du projet, et leur manipulation influence l'orientation prise au cours du processus de conception.

Schön (1992) parle de conversation réflexive du concepteur avec la matière de la situation de conception, qui est l'ensemble des représentations du projet, externalisés par le concepteur. Nous appellerons cet ensemble écosystème de représentations, faisant référence aux croquis, diagrammes, plans, coupes, maquettes physiques, maquettes numériques, simulations et animations représentant le projet, ainsi que les outils qui produisent ces représentations (Dorta & Kinayoglu, 2014; Dorta, Kinayoglu, & Boudhraâ, 2016). Le terme écosystème de représentation est proposé par Dorta, Kinayoglu, & Boudhraâ (2016) car les représentations de projet sont multiples et en interrelation.

Les architectes expérimentés possèdent des compétences en représentation spatiale qui leur permettent de passer naturellement d'une représentation en plan 2D d'un espace à une représentation en 3D du même espace. Lors de la conception d'un projet dans un espace plan, les architectes experts construisent mentalement et de manière naturelle la représentation spatiale de cet espace. Les compétences de l'architecte résident dans sa capacité à anticiper

l'expérience sensible, réel et physique d'un espace conçu sans possibilité d'en tester l'effet, ce que Schön appelle les *felt-paths* (Schön, 1981). L'expérience de l'architecte lui donne cette capacité à faire une connexion entre trois lignes sur une feuille de papier et une intention de projet incluant des qualités spatiales et des expériences sensibles associées. Les étudiants en architecture sont encore novices dans la manipulation des représentations spatiales et manquent d'expérience pour associer ce qu'ils projettent à une expérience sensible d'espace réel.

1.3 Définition de la problématique

Durant les sessions critiques de projet, l'écosystème de représentations est manipulé par les enseignants et les étudiants. Comme nous l'avons évoqué, il sert à la fois de support de communication du projet, de support d'évaluation du projet et de support de conception, pour explorer des propositions de projet. Deux questions apparaissaient : 1) comment mesurer l'impact d'un changement d'écosystème de représentations sur la situation de la session critique et 2) comment évaluer ses qualités comme outil pédagogique pour accompagner l'apprentissage durant la session critique ?

Cette thèse traite de ces deux questions et vise à enrichir nos connaissances sur :

- la situation pédagogique de la session critique par la description des processus de conception et co-conception entre étudiants et enseignants, que nous définissons comme pratique réflexive mentorée (Chapitre 3 p.83).
- les effets produits par l'utilisation de différents écosystèmes de représentations sur la situation de session critique.

La portée prospective de ce travail est d'informer le développement d'une stratégie pédagogique suivant l'évolution numérique de nos écosystèmes de représentations. Cette proposition pédagogique, adaptée à la plateforme CORAULIS, est basée sur les résultats de notre étude exploratoire de la pédagogie du studio de projet articulée autour de plusieurs cas d'études, tirées de cinq studios de projet différents et de notre corpus de références.

Les deux premières questions de recherche, auxquelles nous souhaitons répondre, sont liées à la modélisation de la pratique réflexive mentorée dans les sessions critiques de projet :

- Quels sont les rôles de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?
- Quelles sont les actions des participants sur l'écosystème de représentations ?

En répondant à ces deux questions, notre intention est de proposer un cadre de référence quantitatif et qualitatif de la situation de la session critique avec l'utilisation d'un écosystème de représentations traditionnel. Ensuite, nous visons à évaluer les effets de l'utilisation d'écosystèmes de représentations alternatifs durant les sessions critiques sur le rôle de chaque acteur durant la session critique et leurs actions sur l'écosystème de représentations. Ainsi, nous nous demandons :

- Quel est l'effet de l'utilisation d'écosystèmes de représentations alternatifs sur la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?

Comme nous l'avons introduit dans la section 1.1.2 (p. 25), l'enjeu initial de cette thèse était de tester l'utilisation de CORAULIS comme écosystème de représentations alternatif. Cependant, les délais de réalisation de la plateforme n'ont pas permis la mise en place d'un studio de projet l'utilisant, ce qui a été le moteur du développement de plusieurs mobilités de recherche.

1.4 Mobilités de recherche et observations de cas d'étude dans des laboratoires externes

Comme nous le verrons dans les chapitres 5, 6 et 7, la thèse s'articule autour de plusieurs cas d'études, dont certains ont été observés dans d'autres universités ou laboratoires que mon laboratoire d'affiliation, lors de séjours courts.

Deux mobilités de recherche ont été mises en place dans le courant de cette thèse. La première avec l'Hybridlab[4], à l'université de Montréal, sous la supervision du Professeur Tomás Dorta (3 mois et demi de mobilité financés par la bourse MITACS Globalink, du 15 mai au 1er septembre 2017) et la seconde avec le HCI lab[5], à l'Université de North

[4] http://hybridlab.umontreal.ca/ consulté le 11/05/2019
[5] http://hci.uncc.edu/ consulté le 11/05/2019

Carolina à Charlotte (UNCC), sous la supervision du Professeur John Gero (3 mois et demi, du 13 novembre au 3 mars 2018).

La première mobilité de recherche a été effectuée après une visite de deux semaines dans le laboratoire Hybridlab pour découvrir le Hyve-3D [6], un outil de co-conception en coprésence et/ou distante, offrant une interface d'esquisse immersive en 3D (Dorta, Kinayoglu, & Hoffmann, 2014, 2015). Le Hyve-3D est utilisé depuis plusieurs années à l'université de Montréal en studio de projet de co-design et en studio de projet de design industriel. L'enjeu du séjour de recherche a été de découvrir les outils méthodologiques exploités à l'Hybridlab pour étudier la co-conception dans le Hyve-3D par l'analyse des *Design Conversations* (Dorta *et al.* 2011b) et du *design flow* (Dorta, Pérez, & Lesage, 2008). La question de la pédagogie du studio est également au cœur des travaux de recherche de l'Hybridlab, avec la mise en place en studio d'une pédagogie dite de co-design, supportée par des outils de représentations adaptés à la co-conception (Dorta, Kinayoglu, and Boudhraa, 2016). Lors de ma mobilité, nous avons analysé sous un nouvel angle des sessions critiques de projet en design industriel menées dans le HIS (Hybrid Ideation Space, un prototype du Hyve-3D). Les résultats de ce travail sont publiés dans (Boudhraa *et al.* 2019) et seront développés dans le chapitre 6.

La deuxième mobilité à l'HCI lab de l'Université de North Carolina à Charlotte (UNCC) a été motivée par le développement du cadre théorique de l'étude présentée dans le corps de la thèse. Ce cadre, décrit dans le chapitre 3, se base sur l'ontologie *Function Behavior Structure* (Gero, 1990) visant à décrire les processus cognitifs de conception. Dans le cadre de ma mobilité, nous avons travaillé sur le développement du modèle de co-conception situé FBS (Gero & Milovanovic, 2020). Ce modèle est central dans la méthodologie mise en place pour étudier la situation de sessions critiques dans le cadre de cette thèse. Durant cette mobilité, nous avons également analysé un cas d'étude de sessions critiques en architecture observées dans le cadre d'une expérience menée à l'Université de Ghent sous la supervision du Dr Pieter Pauwels (Pauwels, Strobbe, & De Meyer, 2015). L'étude de ce cas, publié dans (Milovanovic & Gero, 2018), a permis de tester l'outillage méthodologique mis en place par la suite.

[6] http://www.hyve3d.com/ consulté le 11/05/2019

Un de ces cas d'étude a été observé à l'Université de Liège dans le cadre du Studio Collaboratif Distant, mis en place par le laboratoire LUCID [7], supervisé par le Professeur Pierre Leclercq. Un second dans le cadre d'un déplacement à la Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine, où le laboratoire LID [8], avec le soutien de Dr Stéphanie Cardoso, nous a invité à utiliser leur Hyve-3D dans le cadre d'un workshop de deux jours avec des étudiants de l'Ensa Nantes (École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes).

1.5 Positionnement et méthode

La première motivation derrière ce travail de thèse fut le développement d'un cadre théorique et méthodologique pour avoir une meilleure compréhension de la situation des sessions critiques en studio de projet et être en mesure d'évaluer l'effet de différentes propositions pédagogiques d'enseignement de la conception. Ce cadre théorique doit être général et flexible pour pouvoir s'adapter à différentes situations de sessions critiques. Il doit être accompagné d'un cadre méthodologique pour pouvoir décrire de manière quantitative et qualitative les interactions entre enseignants, étudiants et écosystème de représentations ainsi que les processus de conception qu'ils mettent en place. L'enjeu est de pouvoir comparer différentes situations de sessions critiques, dans notre cas liées à une modification de l'écosystème de représentations.

Le cadre théorique que nous proposons pour aborder l'évaluation de la situation des sessions critiques en studio de projet est la pratique réflexive mentorée. Ce cadre théorique s'appuie sur la notion de pratique réflexive de Schön (1983) qu'il définit comme étant le mode de pensée du concepteur, situé dans l'action actuelle et situé par rapport aux expériences passées du concepteur. La pratique réflexive englobe les processus de conception tacites mis en place par le concepteur pour répondre à une situation de conception en plaçant la réflexion au centre de ce processus. Schön (1992) révèle l'importance des interactions entre le concepteur et son concept lors de la pratique réflexive qu'il définit comme conversation réflexive avec les éléments de la situation de conception. Ces éléments sont les représentations externalisées du projet présents dans l'écosystème de représentations mais aussi les représentations mentales du projet, internes et personnelles au concepteur.

[7] http://www.lucid.ulg.ac.be/www/welcome/ consulté le 11/05/2019
[8] https://lab-design-pedagogie.com/ consulté le 11/05/2019

La pratique réflexive est l'objectif d'apprentissage du studio de projet et par sa nature implicite soulève un réel enjeu pédagogique.

La dimension située et implicite de la pratique réflexive appelle à une stratégie pédagogique spécifique de type mentorat (Cross, 2006; Lawson & Dorst, 2009; Schön, 1985). Le mentorat illustre une situation où un professionnel expérimenté (enseignant en studio de projet) guide un novice (étudiant) dans la tâche que ce dernier doit accomplir (Dennen & Burner, 2008). Le mentor combine théorie et pratique dans la démonstration (*modeling*) de son expertise au mentoré. L'approche de l'apprentissage par le mentorat est représentative de la situation de sessions critiques en studio de projet.

Le mentor (enseignant) met en place des stratégies pédagogiques s'appuyant sur le modèle d'apprentissage cognitif [9] (*cognitive apprenticeship*) (Collins, Brown, & Newman, 1987 ; Collins, Brown, & Holum, 1991). Collins, Brown, & Holum (1991) se sont appuyés sur l'approche de l'apprentissage situé de Lave & Wenger (1991) pour développer leur approche pédagogique. Lave (1990, 1996) exploite des cas d'étude d'apprentis dans un magasin de tailleurs de vêtements sur mesure pour théoriser le concept d'apprentissage dans une CoP (*Community of Practice*). La pédagogie d'apprentissage cognitif propose une adaptation de l'apprentissage situé en entreprise à un apprentissage de compétences cognitives complexes dans un cadre académique, non professionnel.

En résumé, la notion de pratique réflexive mentorée que nous proposons, définit le contenu de l'apprentissage en studio et l'approche pédagogique utilisé. Le contenu de la critique est la pratique réflexive (Schön, 1983) et l'approche pédagogique est le mentorat où les stratégies du modèle d'apprentissage cognitif sont exploitées (Collins, Brown, & Newman, 1987; Dennen & Burner, 2008).

Schön (1992) propose un modèle situé de la pratique réflexive soulignant l'interaction entre le concepteur et l'externalisation de son concept par des représentations tangibles, symboliques ou iconiques. La situation de la pratique réflexive apparaît également à un niveau cognitif interne, personnel et unique, dépendant de l'expérience du concepteur. L'ontologie *Function-Behavior-Structure* située (Gero, 1990; Gero & Kannengiesser, 2004) propose un modèle descriptif de la pratique réflexive incluant la notion de situation (*situatedness*) de

[9] Ici, le terme apprentissage fait référence à l'apprentissage professionnel, formation réalisée en alternance entre université et entreprise, et non à la notion générale d'apprentissage.

l'activité de conception à un niveau personnel (autoréflexion) et à un niveau social (réflexion avec l'environnement externe du projet) (Gero & Kannengiesser, 2008). La pratique réflexive définie par Schön (1983) représentée dans le modèle situé FBS de Gero & Kannengiesser (2004) représente la situation d'un concepteur seul. Pour pouvoir utiliser le modèle situé FBS dans la situation de la pratique réflexive mentorée en studio, il est nécessaire d'étendre le modèle à au moins deux concepteurs, pour représenter *a minima* un enseignant et un étudiant. En utilisant l'ontologie située FBS, nous avons développé le modèle de co-conception situé FBS (Gero & Milovanovic, 2020) que nous utilisons pour analyser et représenter la pratique réflexive mentorée pendant la session critique.

La pratique réflexive de Schön intègre également la notion d'interaction entre concepteur et représentations externes du projet comme conversation réflexive entre le concepteur et les éléments de la situation de conception (Schön, 1992). Dans le modèle de co-conception situé FBS, l'interaction entre concepteur et représentations externes du projet est prise en compte mais n'est pas caractérisée en terme d'actions sur l'écosystème de représentations. Les actions sur l'écosystème de représentations sont par exemple, faire un dessin, pointer un objet ou naviguer dans une maquette numérique. Pour cela, nous avons enrichi le cadre analytique en y incluant la spécification du type d'actions des participants à la critique sur l'écosystème de représentations de manière à analyser l'utilisation des différentes représentations du projet qui sont concourantes à la formalisation de processus de conception (*spatial action-language*).

La pratique réflexive mentorée représentée par le modèle de co-conception situé FBS et la caractérisation des interactions entre concepteurs et écosystème de représentions forment notre cadre théorique pour explorer de manière empirique les sessions critiques en studio de projet dans différentes situations pédagogiques. Le cadre théorique que nous proposons, ancré dans des théories et ontologies existantes, nous donne une base pour explorer différentes pédagogies en studio de projet et les comparer. En effet, ce modèle est indépendant de la situation du studio et permet de qualifier et quantifier le type de pratique réflexive mentorée relatif à chaque situation de session critique.

Nous abordons l'étude de la pratique réflexive mentorée par une étude de cas comparative, où chacun de nos cas sera une situation différente de session critique. La différence de situation est déterminée par rapport à l'écosystème de représentations utilisé. Nous avons observé quatre situations de sessions critiques : la situation traditionnelle sur table, la

situation de critique en utilisant une maquette grande échelle (1/100ème), la situation de critique dans le Hyve-3D (Dorta, Kinayoglu, & Hoffmann, 2014, 2015), et la situation de critique du Studio Distant Collaboratif (Elsen & Leclercq, 2008; Safin & Leclercq, 2009). Nous utilisons la méthode de *protocol analysis* (Ericsson & Simon, 1984) ou analyse de protocole pour explorer les processus cognitifs de pratique réflexive mentorée présents dans la session critique. La méthode d'analyse de protocole consiste en l'analyse des processus cognitifs développés par un sujet lorsqu'il effectue une tâche déterminée. L'enjeu est d'analyser et de décrire le processus de réflexion du sujet, soit par l'analyse des processus de réflexion qu'il verbalise durant la tâche (*concurent protocol*) soit par l'analyse des processus de réflexion qu'il verbalise après la tâche (*retrospective protocol*) (Ericsson & Simon, 1984; Van Someren, Barnard, & Sandberg, 1994). Nous utilisons le protocole concourant à la session critique, appelé *discussion protocol* dans notre cas, car la situation comporte plusieurs participants (Jiang & Yen, 2009). Nous utilisons cette méthode en nous basant sur le cadre théorique de pratique réflexive mentorée pour analyser les processus de conception et de co-conception des étudiants et enseignants durant la session critique, ainsi que leur interaction avec l'écosystème de représentations.

1.6 Objectifs de la recherche

Nos objectifs de recherche sont apparus en filigrane dans notre positionnement. Tout d'abord, il s'agira de développer et d'appuyer de manière théorique notre cadre analytique pour décrire et analyser la situation des sessions critiques. Ensuite, nous viserons à valider l'utilisation de notre modèle pour définir la pratique réflexive mentorée par la description de l'interaction entre enseignant, étudiant et écosystème de représentations pendant les sessions critiques et leur rôle en ce qui concerne l'activité de conception et co-conception. Nous expliciterons l'intérêt de l'utilisation de ce modèle comme outil de comparaison de différentes situations pour aborder la question du format des sessions critiques, plus particulièrement l'évolution des écosystèmes de représentations du projet. Pour explorer le potentiel d'utilisation de différents écosystèmes de représentations, nous en avons étudié trois, cités plus haut, en complément du cas traditionnel sur table. Utilisés dans différents studios de projet, ces écosystèmes de représentations détiennent des caractéristiques analogues à celles que pourrait avoir CORAULIS.

Le cadre théorique de pratique réflexive mentorée que nous avons défini nous a donné une base pour analyser les effets de changement de situation sur l'interaction entre enseignants, étudiants et écosystèmes de représentations et les processus de conception définissant l'activité cognitive durant la critique. Cette étude exploratoire a une visée prospective de proposition d'un usage de CORAULIS dans le cadre d'un studio de projet à l'Ensa Nantes basé sur les résultats de nos analyses. La finalité est de définir un scénario pédagogique en studio de projet intégrant CORAULIS comme écosystème de représentations, et de formuler les hypothèses à tester pour évaluer ce scénario pédagogique (Chapitre 7).

1.7 Organisation du document

Dans le chapitre 2, nous développerons notre cadre de références théoriques selon deux axes : l'apprentissage de la conception en studio de projet et l'enjeu de l'utilisation de l'écosystème de représentations. La dernière partie de chapitre synthétisera les résultats d'études empiriques sur la situation des sessions critiques. Dans le chapitre 3, nous développerons notre modèle théorique de pratique réflexive mentorée contextualisé par rapport aux travaux de Schön (1981, 1983, 1985) sur la pratique réflexive, avec le support de l'ontologie FBS définie par Gero, (1990) et Gero & Kannengiesser (2004). Nous présenterons ensuite notre méthodologie (chapitre 4). Les deux chapitres suivant comprennent les résultats de notre analyse. Le premier (chapitre 5) étudie la pratique réflexive mentorée dans le cas d'un studio de projet utilisant un écosystème de représentations traditionnel sur table. Dans le second, nous soulignerons les potentiels d'utilisation d'écosystèmes de représentations alternatifs pour favoriser l'engagement des étudiants durant les sessions critiques, inciter à l'évaluation, la reformulation des intentions de projets et la formulation de propositions de projet, et pour amplifier les actions des participants à la session critique sur l'écosystème de représentations (chapitre 6). La discussion (chapitre 7) et la conclusion (chapitre 8) mettront en avant les contributions de ce travail par rapport au cadre méthodologique et analytique, par rapport à la situation pédagogique des sessions critiques en studio de projet et par rapport au développement d'une pédagogie de studio de projet intégrant CORAULIS comme écosystème de représentations.

Chapitre 2 Cadre de références théoriques

L'objectif de ce chapitre est de présenter notre cadre de références théoriques. Dans un premier temps, nous définirons les processus d'apprentissage de la conception dans le cadre des sessions critiques en studio de projet, pour ensuite questionner l'innovation pédagogique par l'intégration de représentations du projet immersives, interactives et synchronisées dans la situation de sessions critiques en studio de projet. Pour cela, nous définirons la notion d'écosystème de représentations et explorerons les enjeux de l'utilisation des représentations pour la co-conception et pour la pédagogie durant les sessions critiques en studio de projet.

Dans la littérature, l'apprentissage en studio est défini comme un apprentissage par le faire, par essai et erreur, et par le mentorat (Cross, 2006; Lawson & Dorst, 2009; Schön, 1985). L'apprentissage s'apparente à un changement du comportement de l'individu, dans une situation particulière, et qui est lié à ses expériences (Hergenhahn & Olson, 1997; Phillips & Soltis, 2009). Le format pédagogique du studio de projet en école d'architecture est défini par des caractéristiques proches des principes de différentes théories de l'apprentissage, telles que les approches cognitiviste, constructiviste, sociale, située et expérientielle que nous allons examiner selon trois angles : la culture du studio, l'apprentissage par projet en studio et le format de la session critique de projet comme stratégie pédagogique. Nous définirons également les caractéristiques saillantes de l'activité de conception, qui est l'objet et le moyen d'apprentissage durant le studio de projet. Après une description des types de représentations composant l'écosystème de représentations, nous pointerons son importance pendant la critique de projet par rapport à trois dimensions : la communication, l'évaluation et l'exploration de solutions de projet. Nous présenterons enfin des études empiriques d'analyse de sessions critiques de projet, dans un cadre traditionnel, c'est-à-dire sur table avec un écosystème de représentations composé de plans, coupes, maquettes

numériques, et dans un cadre alternatif, où l'écosystème de représentations utilisé inclut des technologies de réalité virtuelle ou de réalité augmentée.

2.1 Apprentissage de la conception en studio de projet

2.1.1 Généralités sur les différentes approches de l'apprentissage

L'approche cognitiviste de l'apprentissage est associée au mouvement de la *Gestalt*. Pour les gestaltistes (entre autres M. Wertheimer, W. Khöler et K. Koffka), l'expérience est considérée comme un tout et non comme une somme d'éléments discrets. Leur concept central soutient que l'expérience en tant tel est différente de la somme de l'expérience des éléments qui composent l'expérience. L'information sensorielle perçue par les individus lors d'un évènement est transformée par le cerveau pour donner un sens à l'évènement. Le verbe *gestalten* signifie donner une forme structurée, s'organiser. Une distinction est faite entre l'environnement géographique, c'est-à-dire le monde physique et l'environnement comportemental, qui est la réalité subjective (Koffka (1963) cité dans Hergenhahn & Olson (1997). Le premier environnement contient le stimulus de l'expérience, et le deuxième environnement représente l'expérience organisée. Par conséquent, le comportement est modifié par la réalité subjective de chaque individu, et non par l'environnement physique.

L'apprentissage y est associé à la construction de cartes mentales, à travers le raisonnement, la résolution de problèmes et la découverte. L'émergence d'un problème constitue la motivation de l'apprentissage, car elle crée un déséquilibre dans la structure cognitive de l'apprenant. La solution doit être vue ou perçue dans les éléments du problème, pour que le problème soit résolu par une réorganisation de ses éléments. L'intuition déclenche la résolution de problème en devenant une pré-solution. Une fois qu'un problème est résolu, il laisse une trace dans la mémoire de l'apprenant qui influencera ses futures activités de résolution de problèmes. Les phénomènes mentaux sont décrits comme un réseau connecté, un système d'informations et la cognition est considérée comme une manipulation de symboles dans ce réseau. L'enseignant a pour rôle d'aider l'apprenant à organiser et faire des liens entre ses connaissances préalables et celles qu'il est en train d'acquérir, autrement dit il l'accompagne pour qu'il connecte et structure son réseau de connaissances. L'interaction

avec les autres, comme dans le cas de l'apprentissage au sein d'un groupe à travers un échange avec des pairs, est important dans cette approche.

Le constructivisme et le cognitivisme partagent certains concepts. Les deux reconnaissent l'importance de l'apprenant en tant que participant actif au processus d'apprentissage. Les apprenants font l'expérience d'événements qui façonnent leur structure cognitive. La principale différence entre les cognitivistes et les constructivistes est leur point de vue sur le développement de la structure cognitive. Dans la perspective cognitiviste, l'apprentissage est basé sur des intuitions, il est instantané, alors que du point de vue constructiviste, l'apprentissage est séquentiel, ce qui signifie qu'il y a un développement progressif des structures cognitives de l'apprenant. Piaget (1975), l'une des figures majeures du constructivisme, explique que nous possédons un ensemble réduit de schémas innés qui expriment notre potentiel à agir sur notre environnement. La combinaison de tous ces schémas forme notre structure cognitive. Celle-ci change au fil du temps, de même que nos actions potentielles sur notre environnement, puisque la structure cognitive affecte la manière dont nous nous comportons.

Piaget définit deux processus relatifs au développement de la structure cognitive : l'assimilation et l'accommodation. L'assimilation correspond à l'association entre la structure cognitive et l'environnement, que l'on peut représenter par l'action de connaître ou reconnaître. L'accommodation déclenche un changement dans la structure cognitive qui se produit lorsqu'un événement dans l'environnement ne correspond pas exactement aux schémas de la structure cognitive actuelle. Lorsque l'événement n'est pas reconnu, il crée un déséquilibre dans les structures cognitives, qui vont s'adapter pour trouver un nouvel équilibre. Piaget a formalisé l'importance de la relation individuelle entre les enseignants et les étudiants afin que l'information présentée aux étudiants soit appropriée à l'état actuel de leur structure cognitive. L'approche constructiviste se définit par un apprentissage par le faire, par l'expérience et par la découverte, à travers une interaction avec l'environnement, ce qui correspond la situation pédagogique en studio de projet.

Les principes de l'apprentissage social reprennent les principes de l'approche constructiviste, en prenant en compte l'impact de l'environnement social sur le développement de l'apprenant. L'environnement social intègre enseignants, pairs, collaborateurs ainsi que le contexte culturel de l'apprenant. Vygotsky (1978) parle plutôt de potentiel d'apprentissage, que d'apprentissage. En effet, pour Vygotsky, une caractéristique de l'apprentissage est la

construction de la zone de développement proximal (ZDP). La ZDP illustre les capacités des apprenants lorsqu'ils sont guidés. Le développement réel est ce que les apprenants sont capables de faire par eux-mêmes, et la ZDP représente les capacités de l'apprenant qui ne sont pas encore matures. Les connaissances se distinguent de ce que l'apprenant peut construire seul, celles pour lesquelles il s'appuie sur ses pairs et celles pour lesquelles il a besoin de l'enseignant. Les interactions entre les apprenants et leur environnement social façonnent leur ZDP. Pour cela le langage de communication est un outil important pour acquérir de nouvelles connaissances. Les notions d'apprentissage par imitation, de collaboration et de coopération sont des caractéristiques saillantes de l'approche sociale de l'apprentissage.

L'apprentissage situé se base sur les principes de l'apprentissage social et y intègre la notion de situation dans la pratique professionnelle plutôt que d'expérience sociale (Lave & Wenger, 1991 ; Lave, 1996). L'apprentissage passe par l'engagement dans une communauté d'exercice professionnel : la CoP (Community of Practice). La situation est le contexte de l'apprentissage professionnel, où des évènements poussent l'apprenant à s'engager dans sa communauté. Le professionnel de référence est un modèle pour l'apprenant et il apprend à ces côtés. Les connaissances sont acquises à travers les activités de tous les jours par mimétisme, observations et démonstrations. L'apprentissage situé ne se limite pas seulement à la reproduction d'une pratique, mais permet à l'apprenant d'intégrer des connaissances liées à la pratique comme les interactions sociales avec les acteurs professionnels ou le rapport hiérarchique. Les connaissances et savoirs sont les résultantes de la construction de l'identité de l'apprenant dans la pratique, de sa relation avec sa CoP et de sa participation à la pratique.

Le cadre d'apprentissage que nous exploiterons dans notre cadre théorique est l'apprentissage cognitif ou *cognitive apprenticeship* (Collins, Brown, & Newman, 1987 ; Collins, Brown, & Holum, 1991). Ici, la dénomination apprentissage (*apprenticeship*) fait référence à la formation par l'apprentissage professionnel en entreprise et non à la notion générale d'apprentissage. Dans l'approche de l'apprentissage par l'apprentissage cognitif, il s'agit pour les étudiants d'acquérir une compétence experte, c'est-à-dire des stratégies cognitives appliquées à une situation « réelle ». Collins, Brown, & Holum (1991) se sont basés sur l'approche de l'apprentissage situé décrit par Lave & Wenger (1991) pour définir l'apprentissage cognitif (*cognitive apprenticeship*). Dans l'apprentissage professionnel traditionnel, l'apprenti acquiert des compétences par l'observation d'une tâche, qu'il doit imiter. Quatre

moments y sont clés : *modeling* (démontrer), *scaffolding* (étayer les connaissances), *fading* (effacer) et *coaching* (accompagner). Dans ce cas, l'apprenti pourra apprendre par l'observation et l'imitation. L'observation est importante pour que l'apprenti génère un modèle conceptuel de la tâche à accomplir avant même de faire la tâche (Lave, 1996).

Collins, Brown, & Holum (1991) mettent en avant trois différences entre l'apprentissage situé et l'apprentissage cognitif. Dans l'apprentissage situé, l'apprenti est en mesure d'observer l'expertise qu'il doit acquérir. Dans le cas de l'apprentissage cognitif, l'enseignant expert doit rendre visible ses processus cognitifs experts et à l'inverse l'étudiant doit aussi être capable de partager les processus cognitifs qu'il utilise. La deuxième différence est liée à la contextualisation de l'expertise. En effet, dans le cas d'une situation en entreprise, les processus sont contextualisés dans la réalité d'un projet alors que dans le cas du studio de projet en école, l'enseignant doit faire l'effort de situer le projet dans un contexte réel. Enfin, la troisième différence entre les deux est en relation avec le transfert de connaissances. Dans le cas de l'apprentissage en entreprise, l'apprenti a une tâche ciblée et concrète, alors que l'apprentissage cognitif a pour enjeu de proposer une variété de projets pour encourager les étudiants à articuler leurs connaissances et compétences acquises sur chacun des projets. Nous décrirons par la suite (section 3.1, p.83) les stratégies pédagogiques définies par Collins, Brown, & Holum (1991) que nous pouvons appliquer à la situation du studio de projet.

2.1.2 Culture et environnement du studio de projet

L'environnement d'apprentissage du studio de projet fait écho à la définition de l'apprentissage social et situé. La culture du studio est l'ensemble des valeurs héritées de la culture du domaine de l'architecture. Elle s'illustre à travers les savoir-faire de la conception architecturale mais aussi les savoir-être qui forment l'*ethos* (normes et manière d'être) de la profession (Cuff, 1991). Le studio est centré sur un partage des mêmes valeurs architecturales et d'une même base de connaissances en conception. L'*ethos* des étudiants architectes naît dans cette culture du studio. Le contexte social et communautaire du studio favorise le sentiment d'appartenance à un groupe, l'immersion et l'appropriation de la culture architecturale. La notion de CoP est présente dans le studio à travers la dimension professionnelle du studio, la collaboration entre les différents acteurs du studio (enseignants, étudiants, invités) et le développement d'un jargon architectural (Cennamo & Brandt, 2012; Shaffer, 2007).

Le sentiment de communauté est accru par le partage du même espace physique. Lawson & Dorst (2009) soulignent l'importance de la localisation en un endroit physique d'une source d'expertise (l'enseignant), des conseils de leurs pairs et des références communes en conception avec l'installation d'une bibliothèque de studio par exemple. L'accessibilité au studio est flexible, il est ouvert en permanence et s'adapte à la temporalité des activités. L'organisation des meubles du studio n'est pas figée ce qui permet à chaque étudiant d'avoir un espace individualisé. La configuration spatiale du studio peut aussi s'adapter pour les moments de mise en commun (Cennamo & Brandt, 2012; Shaffer, 2007). Il y a une forme de contrôle graduel de l'espace du studio en lien avec ses activités : privé lors des sessions hebdomadaires de critique de projet et semi-public lors des rendus et jurys.

Brandt *et al.* (2013) propose le concept de *practice community* pour définir la culture du studio, entre la notion de CoP de l'apprentissage situé et le système universitaire. Le studio de projet propose une imitation de la pratique en agence d'architecture. L'enseignant principal peut être assimilé à un chef de projet, les étudiants partagent le même espace de travail, le cahier des charges peut être réel, tout comme le site. Brandt *et al.* (2013) rappellent les similitudes entre le studio et la CoP : les étudiants et enseignants partagent le même vocabulaire, les mêmes ressources et le projet à concevoir a une dimension réaliste et gagne progressivement en complexité. De plus, le studio favorise un environnement communautaire où la collaboration entre les enseignants, les étudiants et leurs pairs est favorisée. Même si ces caractéristiques correspondent aux principes de l'apprentissage situé, elles ne répondent pas entièrement à certaines de ses considérations (Lawson & Dorst, 2009; Nicol & Pilling, 2000). Le studio manque de qualités réalistes d'une pratique architecturale, car le monde de l'université a lui aussi des règles, valeurs et pratiques. La temporalité du projet est différente car elle doit suivre celui du semestre académique. Le client est la plupart du temps un personnage fictif qui n'interfère pas dans le processus de conception, de même que d'autres acteurs du projet (constructeurs, ingénieurs, usagers) et le budget n'est pas cadré. Le studio apparaît donc comme un pont entre la notion de CoP du monde professionnel et la communauté académique.

2.1.3 L'apprentissage par projet en studio

Dans le studio de projet en architecture, les étudiants apprennent à concevoir par le faire, c'est-à-dire par la conception d'un projet d'architecture (Schön, 1985). Le studio favorise

un environnement d'apprentissage par un processus d'essai et d'erreur. La position des enseignants consiste principalement à pousser les étudiants à réfléchir sur la solution qu'ils proposent plus qu'à leur donner une solution toute faite. Le format d'apprentissage par la conception d'un projet en studio peut être calqué sur l'approche cognitiviste et constructiviste de l'apprentissage : les étudiants sont confrontés à une tâche qu'ils ne peuvent pas complètement résoudre (concevoir un projet en fonction des exigences de conception), provoquant un déséquilibre dans leurs structures cognitives. Pendant l'activité de conception, les étudiants se réfèrent à leurs schémas de conception (Lawson, 2004; Piaget, 1975) qui sont leurs structures cognitives actuelles. Ces schémas ne sont pas matures, c'est pourquoi l'enseignant joue un rôle majeur en les accompagnant pour qu'ils assimilent de nouvelles informations sur la conception, ce qui ancre cet apprentissage dans une dimension sociale. Les enseignants prennent le rôle de mentor, de guide, de coach et de modèle pour les étudiants, ce qui les aide à explorer leurs zones de développement proximal (ZDP) pour traiter le problème de conception auquel ils sont confrontés.

Le novice (étudiant), comparé à l'expert (enseignant), aura des difficultés à évaluer son projet et cadrer le problème de conception (Cross, 2004). Cette difficulté peut entraîner une fixation précoce d'un concept qui ne fonctionne pas ou une exploration excessive d'alternatives sans être capable de voir si le concept est pertinent ou non. Le rôle de l'enseignant pendant la critique est d'accompagner l'étudiant dans sa pratique réflexive pour évaluer son projet, reformuler ou détailler ses intentions de projet et concrétiser une proposition.

Les schémas de conception de l'apprenant se développent à travers leurs expériences en studio. Le modèle de l'apprentissage expérientiel de Kolb (Kolb & Kolb, 2005; Kolb, 1984), s'appuyant sur les travaux de Piaget (1975) et de Dewey (1938), représente un cycle d'apprentissage en quatre temps liés à l'expérience : l'expérience concrète (EC), l'observation réflexive (OR), l'abstraction conceptuelle (AC) et l'expérimentation active (EA). L'apprentissage passe par une transformation cyclique de l'expérience entrainant un ajustement des structures cognitives de l'apprenant, qui reflète la notion d'accommodation de Piaget. Ce cycle d'apprentissage s'adapte au modèle du studio avec les activités suivantes : parcours et expérience du site (expérience concrète), réflexion sur le contexte du projet (observation réflexive), travail de conception du projet (conceptualisation abstraite), réflexion sur le processus de conception (expérimentation active) (Khorshidifard, 2011). La multiplicité des activités, visites de site, voyages d'étude, conférences d'intervenants invités,

temps de studio, sessions critiques et jurys, apporte des expériences d'apprentissage riches et diversifiées aux étudiants.

Durant cet apprentissage par le faire, les étudiants développent des intuitions sur la façon de concevoir (Lawson & Dorst, 2009). Les enseignants les aident à ouvrir des possibilités de conception et à synthétiser une solution de conception en les poussant à l'alternance de mode de pensée divergente et convergente (Yilmaz & Daly, 2016). Brocato (2009) définit le processus de projet en studio en trois étapes : la recherche et la proposition d'un projet, l'échange critique et la discussion de groupe, puis l'itération du processus (Figure 2). L'échange critique prend différentes formes : les sessions critiques en tête-à-tête avec l'enseignant, l'évaluation par les pairs, la discussion de groupe, l'échange avec un panel d'invités. Chacun de ces échanges critiques orientera la suite du processus de projet. Le cycle de courtes itérations sur le projet est mis en avant dans l'activité du studio et cette spécificité est également une caractéristique du processus de conception.

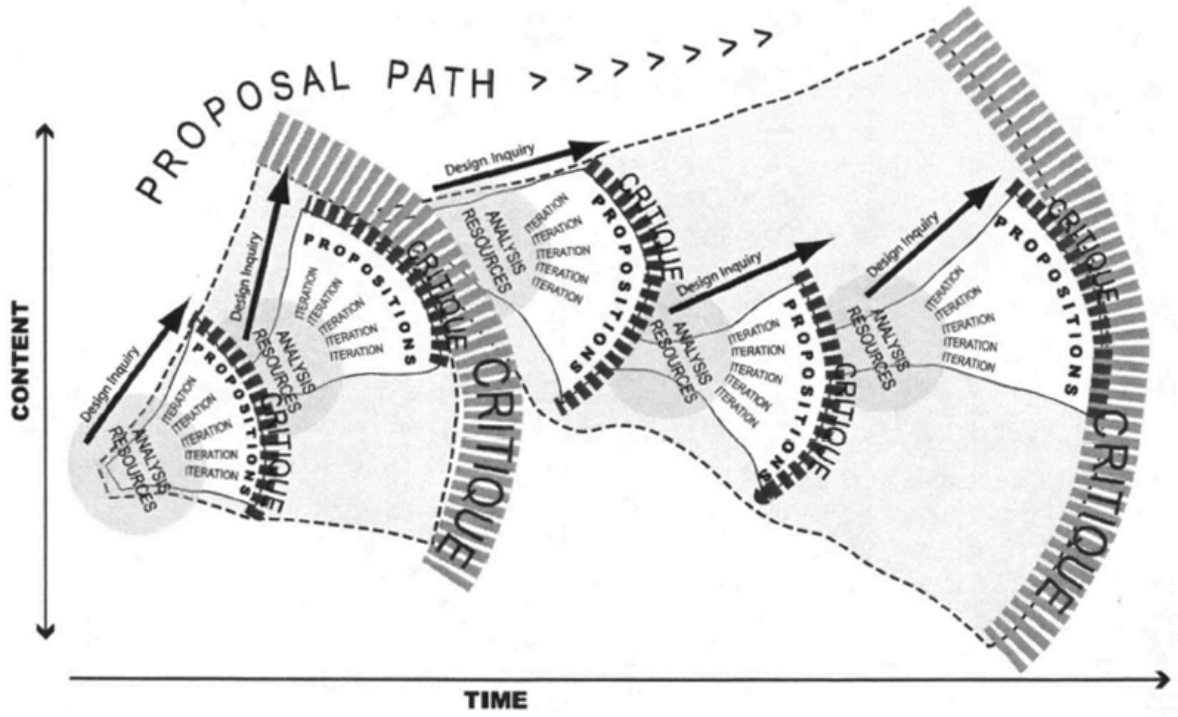


Figure 2 Diagramme d'apprentissage en studio proposé par Monson, 2007 cité dans Brocato (2009)

Les limites du studio comme format pédagogique sont aussi largement discutées par certains auteurs, notamment à cause de sa culture immuable s'organisant autour de valeurs tacites du studio ou *hidden curriculum* (Dutton, 1987). La hiérarchie en studio est très prégnante, due à une asymétrie de pouvoir entre enseignants et étudiants, ce qui ne facilite pas

la collaboration (Dutton, 1987; Sidawi, 2016). De plus, le modèle de *starchitecte* est souvent référencé ce qui augmente l'esprit de compétition et pousse à la performance individuelle. D'autre part, le manque de communication autour des valeurs de l'architecture peut bloquer l'échange entre enseignants et étudiants, notamment lorsque la critique apparaît comme un jugement personnel de la part de l'enseignant, plutôt qu'un commentaire construit et objectif (Sidawi, 2016). La pression autour de la performance des étudiants pendant les rendus entraîne une forme de stress et de peur (Sara & Parnell, 2013), véhiculée par un risque d'humiliation (Sidawi, 2016) et un contenu de la critique plutôt destructif que constructif (Anthony, 1991). Ce type de situation durant les jurys est bien évidemment un frein pour l'apprentissage.

Des changements sont envisageables pour répondre aux limites formulées. En ce qui concerne le projet à concevoir par l'étudiant, il est soulevé l'importance de placer également l'attention sur le processus de conception, et pas seulement sur le projet en tant qu'objet final (Anthony, 1991). L'itération durant l'activité de conception et la multiplication des versions de projet est à inciter pour pousser à l'innovation (Cennamo & Brandt, 2012; Mewburn, 2012). Certains suggèrent d'intégrer des méthodes de conception (*design methods*) ou propositions de stratégies de conception, adaptées au niveau des étudiants pour démystifier le processus de conception (Curry, 2014; Lebahar, 2001; Sidawi, 2016). Cependant, comme le décrit Schön (1981), les compétences en conception ou la notion de pensée architecturale (*thinking architecturally*) ne peuvent pas être discrétisées pour être apprises de manière séquentielle. L'apprentissage de la conception se fait dans une expérience globale où l'étudiant doit réussir à donner un sens (le bon) à cette expérience de conception.

Ledewitz (1985) propose une réorganisation de l'activité de conception actuelle qui est de type analyse de site suivie d'une synthèse de projet. Elle note la discontinuité entre les deux car les étudiants peinent à synthétiser les informations d'analyse, et à les transposer en projet. Les experts formalisent souvent une pré-solution de projet tôt dans la conception, ce qui les aide à réduire et recadrer l'espace du problème de conception (Darke, 1979; Lawson, 2006). Ledewitz (1985) propose donc un modèle de type « concept > test » où les cycles de projet sont très courts. Les étudiants commencent par proposer des esquisses, des pré-solutions. Ensuite ils les analysent pour réajuster leur concept. L'enjeu est pour les

étudiants de développer des compétences en évaluation de solutions par rapport au contexte de projet, d'explorer le problème de conception posé par une pré-solution parfois arbitraire.

Un autre changement impactant le format du studio est l'intégration d'une commande réelle, un client avec qui l'étudiant pourrait négocier, ce qui apporterait plus de réalisme au contexte du projet et favoriserait le développement de compétences en collaboration (Parnell *et al.* 2007). De plus, le mode d'évaluation peut être partagé entre auto-évaluation et évaluation par les enseignants, ou fonctionner par une évaluation par les pairs (Dutton, 1987). L'auto-évaluation, la collaboration et la négociation autour du projet dans l'échange avec les pairs pendant le studio permettent le développement d'un regard critique et réflexif sur le projet (McClean, Lamb, & Brown, 2013; Mewburn, 2012). Des alternatives sont proposées dans la variation de l'environnement de la critique, par exemple mener la critique dans l'agence de l'enseignant pour enrichir cette expérience avec une ambiance professionnelle (exemple du studio de projet de Peter Corrigan du Royal Melbourne Institute of Technology décrit par Mewburn (2012)). La limite de la culture du studio est son ancrage dans un système hiérarchique et asymétrique. L'implémentation d'une culture plus démocratique, où la compétition individuelle est mise de côté, au profit d'une meilleur communication entre pairs, et entre enseignants et étudiants serait bénéfique à l'apprentissage (Anthony, 1991; Dutton, 1987; Sidawi, 2016).

2.1.4 L'objet d'apprentissage en studio de projet : éléments caractéristiques de l'activité de conception

L'objet d'apprentissage en studio de projet est la conception architecturale. Nous avons défini l'activité de conception comme pratique réflexive (Schön, 1983), ce qui nous a permis de souligner une caractéristique importante de l'activité de conception comme activité située à un niveau social et personnel. L'objet d'apprentissage en studio de projet, l'activité de conception, se caractérise comme un processus itératif de réflexion soutenu par la navigation entre différentes représentations externes du projet, intégrant une coévolution de l'espace problème et de l'espace solution, situé par rapport à l'expérience du concepteur et par rapport au contexte du projet. Le projet se construit à travers ce processus par une transformation des représentations mentales et externes du projet.

Comparé à d'autres types de problèmes, dans la situation d'un problème de conception, l'état initial du problème n'est pas défini de manière explicite, d'où la nécessité de la mise

en place d'un processus itératif de navigation entre problème et solution de conception. Simon (1969) considère les problèmes de conception comme des problèmes mal-structurés (*ill-structured)*. Il note quatre caractéristiques auxquels le problème de conception architecturale ne répond pas pour faire partie des problèmes structurés : le problème ne possède pas de critères définis qui permettraient d'automatiser le processus de génération de solutions dans le but de toutes les tester ; l'espace problème n'étant pas défini il ne permet pas de représenter les états solutions visés ; la non définition de l'espace problème ne permet pas de représenter les connaissances acquises à travers le problème et il n'y a pas la possibilité de déterminer les changements futurs de la solution produite. L'approche du problème de conception se fait donc par la proposition de solutions.

La notion de *primary generator*, tirée d'études empiriques, soutient qu'une ou plusieurs solutions concepts apparaissent très rapidement dans la temporalité du processus de conception (Darke, 1979). Lawson & Dorst (2009) parlent de la notion de raisonnement parallèle, qui exprime une manipulation simultanée de plusieurs solutions concepts. Ces concepts, souvent visuels, répondent à quelques objectifs définis par le concepteur et permettent la réduction de l'ensemble des solutions possibles. Les solutions concepts permettent de recadrer ou restructurer l'espace problème par l'exploration de solutions. Le modèle de coévolution de l'espace de conception de Maher & Poon (1996) représente ce principe de navigation entre espace problème et espace solution. L'enjeu pour le concepteur est de reconnaitre les éléments liés dans l'espace problème pour structurer partiellement cet espace. Le but est de produire un ensemble connecté entre espace problème et espace solution. L'exploration de l'espace de conception s'effectue par l'itération de processus d'analyse, de synthèse et d'évaluation entre ces deux espaces (Dorst & Cross, 2001; Lawson, 2006). L'activité de conception peut être considérée comme le déplacement de l'effort cognitif entre la considération du problème et la considération de la solution. Le saut ou pont créatif (moment « aha ! ») est associé à cette capacité du concepteur à combiner de manière synchrone un élément de l'espace problème et un élément de l'espace solution (Dorst & Cross, 2001). La coévolution de l'espace problème et de l'espace solution est intégrée dans la notion de pratique réflexive. En effet, la pré-solution ou solution concept (*primary generator*) est bien souvent liée à l'expérience du concepteur.

Les processus de conception s'expriment de différentes manières en fonction du niveau d'expertise du concepteur. Le modèle d'évolution des compétences de Dreyfus & Dreyfus

(1980) est appliqué aux compétences du concepteur par Lawson & Dorst (2005). La manière dont l'expert navigue dans l'espace de conception, sollicite ses schémas de conception ou représentations mentales de conception et s'appuie sur son écosystème de représentations diverge de celle du novice (Cross, 2004). Cet écart représente l'ensemble de connaissances et compétences que les étudiants en architecture visent à acquérir au cours de leur formation dans le cadre des studios de projet et lors de leurs premières années de pratique.

2.1.5 Importance de la critique de projet dans l'apprentissage de studio de projet

Les sessions critiques rythment la temporalité du studio et l'avancement du projet de l'étudiant. Le format des critiques de projet varie de la session en tête-à-tête impliquant un enseignant et un étudiant, à des critiques de groupe, des discussions entre pairs et des jurys de rendu (Anthony, 1991; Oh *et al.* 2013; Parnell *et al.* 2007). Les sessions critiques individuelles sur table offrent, sur une base régulière, un espace où les étudiants peuvent confronter leurs projets à l'expertise de l'enseignant, chercher des conseils et des réponses lorsqu'ils sont confrontés à un problème de conception spécifique ou sont totalement bloqués (Sachs, 1999). D'autres formats de critiques, comme les jurys, permettent aux étudiants d'avoir un retour sur leur projet par un panel plus large d'experts et de s'entrainer à la communication orale du projet. Ils permettent également de valider certaines étapes de conception du projet (jury intermédiaire) et d'évaluer la qualité architecturale des projets en vue de noter la performance de l'étudiant (jury final). La critique en groupe est une bonne alternative car les étudiants apprennent autant par la critique sur leur projet que par celle des autres (Cennamo & Brandt, 2012). Dans ce format, la sollicitation des étudiants à participer est facilitée et l'enseignant peut mettre en place des méta-discussions sur un élément clé d'un ou plusieurs projets. Le rôle de l'enseignant devient celui d'un chorégraphe plutôt que d'un coach, il laisse faire la critique entre pairs et prend un rôle de médiateur pour faciliter la discussion (Mewburn, 2012; Oak & Lloyd, 2016; Parnell *et al.*, 2007). La présentation des projets sous forme d'une exposition est aussi une possibilité. L'importance est de faire varier l'environnement de présentation, physique et numérique, pour diversifier les compétences des étudiants (Anthony, 1991).

Selon le format, non seulement les connaissances et les compétences en matière de conception sont développées, mais aussi les compétences interpersonnelles, c'est-à-dire des compétences liées au savoir-faire relationnel (écoute, dialogue, collaboration). Les objectifs de la critique sont d'évaluer le travail des étudiants, tout en fournissant un retour constructif sur l'avancement du projet. Le contenu de la critique dépend des enseignants du studio et des membres invités durant les jurys. Certains s'impliqueront dans des éléments spécifiques du projet parce qu'ils possèdent des connaissances expertes sur ces éléments (Barrett, 2000; Healy, 2016). Le contenu des critiques des enseignants s'ajuste en fonction des objectifs pédagogiques qui peuvent être centrés sur le processus de projet ou sur le concept, accorder de l'importance à la qualité de la communication, être orientés vers une recherche d'innovation avec une priorité à la créativité ou au contraire mettre l'accent sur le fonctionnalisme (Goldschmidt *et al.* 2014).

2.1.5.1 Modalités de la session critique

Le modèle d'apprentissage expérientiel de Kolb (1984) peut également s'associer aux moments de la session critique (Parnell *et al.* 2007). La présentation du projet est l'expérimentation concrète (EC). La réflexion sur l'échange et la critique avec l'enseignant est considérée comme observation réflexive (OR). La généralisation des informations sur la conception du projet discuté pendant la critique devient la conceptualisation abstraire (CA). L'expérimentation de ces idées dans le projet est décrite comme une expérimentation active (EA). Les deux premières étapes (expérimentation concrète et observation réflexive) sont partagées lors de la session critique entre l'enseignant et l'étudiant alors que les deux dernières étapes (conceptualisation abstraite et expérimentation active) sont effectués par l'étudiant entre les sessions critiques de projet (Milovanovic *et al.*, 2018).

Oh *et al.* (2013) proposent un cadre descriptif de la situation de la session critique, en identifiant onze facteurs divisés en deux catégories. La première catégorie inclut les conditions de la critique : les phases de conception, les différences individuelles entre les étudiants, les connaissances et expériences passées, le type de réponse de l'étudiant, les artefacts du projet, et les objectifs d'apprentissage. Les méthodes de la critique sont la deuxième catégorie, et englobent le type de critique, la relation enseignant / étudiant, les modalités de communication, le contenu de la critique, et la formulation de la critique. Oh *et al.* (2013) ont également observé une organisation séquentielle de la critique se résumant en quelques étapes : les étudiants présentent leur travail, les enseignants écoutent et observent et souvent,

ils peuvent signaler des problèmes potentiels de conception qui conduisent à une discussion ouverte sur ces questions. Ces problèmes peuvent être abordés pendant la session ou simplement pointés aux étudiants pour qu'ils puissent y réfléchir après la critique et adapter leur projet en conséquence (Schön, 1985 ; Oh *et al.*, 2013). L'exploration, la suggestion et la proposition de solutions peuvent être considérées comme un acte de conception, où la parole et l'esquisse s'entremêlent.

Dans *The Design Studio*, Schön (1985) identifie quatre types d'actions dans les sessions critiques qui fonctionnent par paires : expliquer (enseignant) et écouter (étudiant) ; démontrer (enseignant) et imiter (étudiant). Le premier ensemble correspond à la formulation explicite de connaissances en conception, comme des instructions spécifiques à suivre, des solutions théoriques, des exigences concernant le format des représentations ou des références de projet ; et le second se réfère à une situation de conception à travers la démonstration de l'enseignant (Goldschmidt, Hochman, & Dafni, 2010; Heylighen, Bouwen, & Neuckermans, 1999; Schön, 1985).

2.1.5.2 Importance de la relation entre enseignants et étudiants

Les modalités de communication et la relation entre enseignants et étudiants ancrent le processus critique dans une situation sociale. Pour fonctionner comme un outil pédagogique, certains aspects sociaux des critiques devraient être clarifiés, soulignant la nécessité pour les enseignants de construire une critique constructive et d'apporter de la transparence aux objectifs de la critique (Anthony, 1991; Dinham, 1989). En effet, les étudiants ont parfois du mal à s'émanciper de la subjectivité apparente de la critique. La différence entre les opinions personnelles et la critique analytique de l'enseignant, basée sur son expertise professionnelle, doit être reconnue par les étudiants afin de renforcer la qualité pédagogique des critiques. Les enseignants en studio de projet sont souvent des architectes expérimentés et servent de modèles à leurs étudiants. Schön (1985) décrit l'enseignant comme un coach ou un facilitateur. Goldschmidt, Hochman, & Dafni (2010) approfondissent les définitions du profil de l'enseignant comme source d'expertise, coach, ou « *buddy* » en analysant les sessions critiques de trois enseignants différents, identifiant diverses facettes de la performance de ces enseignants. Un seul enseignant pourra osciller entre ces différents profils pour s'adapter à la situation de la critique. La relation entre l'enseignant et l'étudiant sera affectée par le format de la critique, de formelle à informelle, de personnelle à publique.

Ochsner (2000) propose de considérer l'interaction entre enseignants et étudiants comme un jeu qui se rapproche de la relation entre patients et psychanalystes. Cet angle d'approche fait ressortir quelques éléments qu'il nous semblent intéressant de pointer pour rendre compte de l'importance de cette relation. L'enjeu pour les psychanalystes est de faire découvrir aux patients le plus possible sur eux-mêmes. Analogiquement, dans le studio, les enseignants cherchent à faire découvrir aux étudiants le plus de choses sur la conception de leur projet. Les psychanalystes sont à l'écoute de leurs patients et la même situation peut être transposée dans le studio de projet où les enseignants sont à l'écoute du projet de leurs étudiants, que ces derniers communiquent dans leur écosystème de représentations et par leurs discours. La discussion entre enseignants et étudiants doit au début rester neutre. Si la critique est émise tôt dans l'échange, le risque est que les étudiants se mettent sur la défensive et que cela compromette la possibilité d'une interaction créative et d'un moment pédagogique. Le sentiment de confiance entre enseignants et étudiants permettra à ces derniers de se sentir libre dans leur expression, sans contrainte. Schön (1987) fait aussi référence à ce blocage défensif de l'étudiant. Il décrit deux situations : la première où l'étudiant accepte l'aspect expérimental de la conception et n'est pas bloqué par le risque d'échec et la deuxième où l'étudiant prend une position défensive et ne s'engage pas dans l'expérimentation. Pour Schön, la solution au blocage de l'étudiant est de l'amener dans une position de réflexion sur la conception elle-même.

En résumé, nous avons synthétisé différentes caractéristiques de la situation de critique de projet en studio tout en soulignant leurs relations avec différents cadres pédagogiques décrits dans les approches de l'apprentissage cognitiviste, constructiviste, sociale, située et expérientielle. Nous allons maintenant nous intéresser à un élément de la session critique en particulier, l'écosystème de représentations et l'importance de sa présence dans l'interaction entre l'enseignant et l'étudiant.

2.1.6 Les enjeux de l'écosystème de représentations comme support de la pédagogie du studio

Dans le cas de la session critique, l'écosystème de représentations est le support de communication, d'évaluation du projet de l'étudiant et de l'exploration de propositions de solutions aux problèmes qui peuvent être présents dans le projet. Ces moments durant la session critique sont analogues à une activité de conception ou de co-conception entre

l'enseignant et l'étudiant. En effet, l'approche pédagogique du studio par l'expérience du projet implique que l'activité de conception, qui est l'objet d'apprentissage, est aussi l'activité centrale pendant les sessions critiques.

2.1.6.1 Description de l'écosystème de représentations

L'interaction entre l'étudiant et l'enseignant est verbale, graphique et gestuelle et se canalise autour de l'écosystème de représentations utilisé durant la critique. La notion d'écosystème de représentations intègre l'ensemble des représentations externes du projet telles que les croquis, diagrammes, plans, coupes, maquettes physiques, maquettes numériques, simulations et animations (Dorta & Kinayoglu, 2014; Dorta, Kinayoglu, & Boudhraa, 2016). Quatre caractéristiques le définissent :

- hybride pour permettre des allers-retours entre analogique et numérique,
- intégrant des représentations de dimensions et de types multiples (2D, 3D, 4D),
- comprenant des représentations de différentes échelles, y compris l'échelle 1 (simulation immersive),
- permettant la co-conception intuitive entre les différents participants.

Une cinquième caractéristique importante est sous-entendue dans la notion d'écosystème : la synchronisation de l'ensemble des représentations, donnant une vue complète et unifiée du projet. La synchronisation des représentations implique qu'un changement sur une des représentations du projet apparaisse automatiquement sur une autre représentation du même projet. Nous pouvons aussi rapprocher la notion d'échelle de la représentation avec celle de point de vue, égocentré (immergé, à vue humaine) ou allocentré (vue d'oiseau ou vue d'en haut). Nous proposons de synthétiser ces caractéristiques en cinq critères :

- matérialités,
- dimensions,
- échelles et point de vue,
- actions et manipulation,
- synchronisation.

Les trois premiers critères apportent une grille descriptives des qualités des représentations présentes dans l'écosystème alors que les deux derniers synthétisent les enjeux de l'écosystème de représentations comme support de la conception.

Le dessin d'esquisse ou *sketch* et la représentation en diagramme sont souvent utilisés en phase amont du processus de conception (Purcell & Gero, 1998). Le projet est communiqué par des représentations plus structurées et détaillées par la suite, par des plans, des coupes et des élévations aujourd'hui produits sur des logiciels de CAO. Selon les travaux de Ferguson (1992), le dessin sert au concepteur pour essayer différentes options, différentes idées et possède plusieurs fonctions : un support de réflexion (*thinking sketch*), un support à visée constructive (*prescriptive sketch*) et un support de communication entre les acteurs du projet (*talking sketch*). Chaque projection (plans, coupes) prise séparément décrit des caractéristiques spatiales du projet, ce qui permet une intégration de plusieurs niveaux d'informations lorsque l'ensemble des représentations est considéré. La fragmentation des représentations du projet permet au concepteur de se focaliser sur un élément du projet apparaissant sur un type de représentation, tout en conservant son appréhension synthétique (Estevez, 2001). Cette dissociation entre différents plans de représentation du projet apporte une certaine efficacité au processus de conception.

La représentation en 3D synthétise la correspondance spatiale entre plans, coupes et élévations. Elle peut offrir un point de vue égocentré sur le projet, c'est-à-dire à vue d'homme. Ce type de représentation permet d'ancrer l'utilisateur futur dans la scène et a une qualité synthétique. Selon Elsen & Heylighen (2014), la représentation en perspective à vue d'homme donne une synthèse augmentée d'éléments du projet, représentés de manière fragmentée par les plans et coupes, et qui inclut la dimension d'expérience sensible de l'architecture. L'utilisation de représentations immersives à échelle 1 avec la réalité virtuelle permet une meilleure compréhension de l'impact de l'objet et favorise un processus d'évaluation et de décision intuitif et en temps réel (Dorta, Kinayoglu, & Boudhraa, 2016).

L'écosystème de représentations comme nous l'avons défini, inclut de multiples supports de représentations externes du projet : plans, coupes, maquette physique, maquette numérique, croquis, schémas. Chaque représentation offre différentes échelles, dimensions et points de vue sur le projet et a différentes fonctions dans la communication, l'évaluation et la conception du projet. La manipulation des représentations fait le lien entre le domaine conceptuel de la verbalisation et le domaine visuel de la représentation graphique (Goel, 1995).

2.1.6.2 Support de communication

Pour que la critique ait un sens pour l'étudiant, il est nécessaire qu'il y ait une compréhension commune de la situation de conception entre enseignant et étudiant. Dans l'exemple décrit en introduction de la session critique entre Quist et Petra, l'étudiante commence par expliquer son problème d'implantation de bâtiment sur le site (Schön, 1981). Quist propose à Petra d'explorer l'utilisation d'une grille formant des lignes directrices, qu'il dessine avec un calque sur son plan, pour contourner la forme étriquée de son site et initier une proposition d'implantation. Petra exprime ses doutes par rapport à l'utilisation de ces lignes directrices car elle n'y trouve pas de lien avec le concept général du projet. Quist l'invite à regarder le projet sous un autre angle, et commence à dessiner une coupe longitudinale du site pentu pour qu'elle puisse saisir le lien entre le site, la grille directrice proposée et l'idée générale du projet. Selon l'interprétation de Schön, Quist cherche l'alignement entre son point de vue et celui de Petra avant de continuer sa démonstration. Cet exemple dénote la difficulté éprouvée par les étudiants pour suivre les conseils ou directives de l'enseignant s'ils ne sont pas en mesure de saisir ce que ces directives impliquent à un niveau de conception architecturale. La difficulté pour l'enseignant praticien est d'expliciter et de rendre visible les stratégies de conception qu'il propose pour débloquer une situation problématique. Deux éléments sont à tirer de cet exemple : l'importance de la compréhension mutuelle entre l'enseignant et l'étudiant pour qu'il y ait un apprentissage, et la nécessité d'avoir un écosystème de représentations qui permette la communication à travers, par exemple, un changement d'angle d'approche du concept, qui se traduit ici par un changement de type de représentation du projet, du plan à la coupe.

Dans les situations de sessions critiques, le principe de la responsabilité mutuelle de la conversation collaborative s'applique entre l'enseignant et l'étudiant. Chacun convient que son interlocuteur a une compréhension suffisante de ce qu'il/elle vient de formuler avant de poursuivre son fil de pensée (Clark & Wilkes-Gibbs, 1986). Le couple enseignant / étudiant doit comprendre ce à quoi l'autre fait référence afin de co-construire la critique et la réflexion sur le projet. La communication est essentielle pour permettre la synchronisation cognitive entre les deux. L'objectif est de construire une référence de conception commune ou un *common ground* (Clark & Brennan, 1991). Cette première étape de synchronisation cognitive est importante dans des situations de conception collaborative afin d'intégrer le point de vue et les processus de réflexion de chaque membre de l'équipe pour prendre une

décision collective (Darses, 2009). La situation de la critique est un peu différente car il y a une forme hiérarchique dans la relation entre enseignants et étudiants liée à la situation pédagogique du studio. Le but de la session critique n'est pas la co-conception d'un projet mais l'apprentissage de la conception qui inclut une dimension collaborative.

Le problème de communication et de compréhension entre enseignant et étudiant est soulevé par Schön (1981) qui souligne la différence entre *knowing that* et *knowing how*. Ce n'est pas parce que les étudiants connaissent ou reconnaissent des éléments du langage de conception (*knowing that*) qu'ils sont en capacité de les utiliser pour débloquer la situation de conception dans laquelle ils sont (*knowing how*). La situation de Quist et Petra donne un exemple d'utilisation de l'écosystème de représentations pour débloquer la situation de la critique par un changement de point de vue sur le projet, qui illustre un changement d'angle d'approche.

2.1.6.3 Évaluation et proposition de solutions

L'écosystème de représentations pendant la critique est le support de l'évaluation du projet de l'étudiant et de l'exploration de propositions de solutions aux problèmes apparaissant dans le projet. Ces moments durant la session critique sont analogues à une activité de conception ou de co-conception entre l'enseignant et l'étudiant. En effet, l'approche pédagogique du studio par l'expérience, implique que l'activité de conception, qui est l'objet d'apprentissage, est aussi l'activité centrale pendant les sessions critiques. Pour discuter l'enjeu de l'écosystème de représentations durant la session critique, nous allons donc considérer son rôle dans l'activité de conception en elle-même.

La notion de situation de l'activité de conception est intéressante pour analyser l'interaction entre représentations externes du projet et représentations mentales du projet. Les représentations externes du projet, celles constituées dans l'écosystème de représentations mais aussi celles formulées verbalement et physiquement (gestes), font partie de la situation de conception à un niveau social. Le niveau social de la situation de conception englobe également la contribution des acteurs du projet et le contexte du projet (site, normes, attentes). L'activité de conception est située au niveau personnel et individuel du concepteur, par rapport à ses expériences passées, ses valeurs culturelles et sociales, ce qui forme ses schémas de connaissances en conception lui permettant de se représenter mentalement le projet.

Deux types de représentations se distinguent : externes et internes. Les représentations externes, faisant partie de l'écosystème de représentations, sont partagées par les enseignants et les étudiants et sont influencées par la situation de conception à un niveau social. Les représentations internes ou mentales sont personnelles à chaque concepteur, et sont basées sur son interprétation des représentations externes. Elles sont situées à un niveau individuel en fonction de l'interprétation personnelle de la situation et des expériences passées de chaque participants à la session critique. La collaboration entre enseignants et étudiants pendant la critique sera améliorée par un partage et un alignement de leur interprétation du projet présenté.

La production de dessins pendant la conception, générant des formes et la relation entre ces formes, permet au concepteur d'enrichir son espace de recherche et d'exploration. À la renaissance, les italiens appelaient ces dessins *pensieri* ou « pensées » (Olszewski, 1981 cité dans Goldschmidt, 2011). Ces dessins sont liés au raisonnement et à la réflexion dans l'activité de conception, où représentations externes et internes interagissent dans une forme de conversation réflexive (Schön, 1992) ou de dialectique du croquis (Goldschmidt, 1991). Le concepteur extériorise le concept de son projet pour ensuite le travailler en se basant sur ses connaissances. Si une idée apparaît dans l'écosystème de représentations, elle est ensuite développée, révisée et testée. De nouvelles actions de conception, anticipées ou non attendues, peuvent s'en suivre, que l'on peut associer à l'effet de surprise et de créativité dans l'activité de conception. Lawson and Loke (1997), en prenant l'exemple de dessins de Robert Venturi, expliquent que le dessin pendant la conception permet de considérer des nombreux aspects disparates en relation avec l'objet à concevoir, comme un outil heuristique (« et si… ? »). Dans les dessins apparaissent des réponses à des questions qui ne sont pas encore posées.

Pour les architectes, les dessins externes facilitent l'interaction entre représentations et processus cognitif d'interprétation du concept. L'idée est transposée dans le dessin et l'architecte peut alors l'analyser (Suwa & Tversky, 1997). Les dessins sont propices à la conversation réflexive car ils sont « denses » et « ambigus », c'est à dire qu'ils ne sont ni définis ni figés, et donc ils permettent l'exploration d'idées (Goel, 1995). Dans une étude sur la relation entre processus de conception et manipulation de représentations externes Cardella, Atman, & Adams (2006) ont montré que les concepteurs s'aident du dessin pour cadrer le problème, le reformuler.

Suwa & Tversky (1997) utilisent le concept de changement de focus (*focus shift*) et de continuité (*continuing segment*) pour étudier la conception d'un musée par des étudiants architectes et des architectes en utilisant seulement le dessin comme outil de conception. Le changement de focus fait référence à la transformation latérale de Goel (1995) et il est associé à la proposition d'un nouvel espace, d'un élément émergent dans la conception. L'enchaînement d'actions de conception (*continuing segment*) est caractéristique de l'action de définition de relations spatiales entre les éléments du projet. Dans cette étude il apparaît que le dessin ne sert pas seulement à établir des relations spatiales entre les éléments mais permet aussi le raisonnement abstrait.

Goldschmidt (1991) propose deux modes de raisonnement liés à la manière de voir le projet. Par l'étude empirique de sessions de conception, elle a observé une dialectique entre *seeing as* (voir comme quelque chose d'autre) et *seeing that* (voir la chose en elle-même). Le premier mode de raisonnement *seeing as* s'identifie lorsque le concepteur utilise des arguments figuratifs pendant qu'il dessine. Il propose des attributs ou propriétés du projet en fonction d'analogies basées sur des concepts sémantiques ou des expériences passées. Le deuxième mode de raisonnement *seeing that* est illustré par la formulation d'éléments descriptifs, non figuratifs, liés à l'entité en train d'être projetée. Une forme de rationalisation ou généralisation des décisions prises dans le *seeing as* apparaît dans le raisonnement *seeing that*. Au cours de l'activité de conception, ces modalités de raisonnement s'alternent et plusieurs modes peuvent être contenus dans une seule action de conception.

Dans le schéma de simulation graphique de Lebahar (1983), deux niveaux sont établis, synchronique et diachronique, qui correspondent à deux définitions de l'espace du problème de conception, partiel et global. Dans le premier niveau, le concepteur se situe dans un espace de simulation graphique limité et il traite d'une partie du problème. Cet espace est le lieu de l'autorégulation où il réévalue l'objet architectural à travers ses représentations. Plusieurs itérations sont produites entre concepteur et représentations pour que la solution partielle intègre le projet. L'intégration d'éléments dans la solution provoque un saut diachronique. Chaque élément du système de simulation graphique change d'état au niveau diachronique, donc l'espace de la situation de conception est altéré de manière globale. L'espace de conception mis à jour forme un nouvel espace de simulation graphique synchronique. Ce saut diachronique fait écho à la notion de saut créatif ou d'intuition, où le concepteur voit apparaître l'émergence d'un concept clé.

Visser (2006) propose une approche de l'activité de conception comme une activité de construction de représentations, internes ou externes, privées ou partagées et dont les modalités de représentations sont verbales, graphiques ou gestuelles. Trois moments sont identifiés : la génération, la transformation et l'évaluation. La génération est la représentation de connaissances liées à l'activité de conception. Différents processus et opérations peuvent être mis en place par le concepteur comme l'évocation et la représentation de connaissances. Ce moment fait écho au concept de *seeing* de Schön (1983), impliquant de « voir » le projet pour donner un sens simultané à la situation du problème de conception et à la situation de de la solution de conception. Cette notion de *seeing* peut être déclinée selon les deux modalités, *seeing as* et *seeing that* proposées par Goldschmidt (1991). La transformation est la modification de la représentation de l'état du projet. Elle correspond à la notion de *design move* qui est transversale à un nombre de recherches sur les processus de conception (Cross, 2006; Goldschmidt, 2014; Lawson, 2006; Schön, 1992). Visser propose plusieurs types de transformations qui reprennent des notions de travaux précédents comme ceux de Goel (1995) sur les transformations verticales (détail d'une idée) et latérales (exploration d'une autre idée). Les six types de transformations proposées sont : dupliquer ou reformuler la représentation (similaire à la transformation verticale de Goel (1995)), ajouter une nouvelle information à la représentation, détailler la représentation, concrétiser la représentation (similaire à la transformation verticale de Goel 1995), modifier c'est-à-dire la transformer sans la détailler ni la concrétiser, révolutionner ou remplacer la représentation (similaire à la transformation horizontale de Goel (1995)).

L'approche de la conception comme construction de représentations intègre les deux types de représentations du projet, interne et externe (Visser, 2006). Goel (1995), Goldschmidt (1991), Lebahar (1983) et Schön (1992) mettent en avant l'importance de la manipulation des représentations externes dans l'activité de conception. Goel (1995) et Visser (2006) se sont focalisés sur des transformations de représentations, alors que Lebahar (1983) s'est attaché à un changement d'échelle de manipulation des représentations par la simulation graphique. Goldschmidt (1991) s'est plutôt concentrée sur le type de raisonnement lié à l'interaction entre concepteur et écosystème de représentations. Le dessin est souvent jugé essentiel dans l'activité de conception, bien que certaines études ont montré peu de différences entre une activité de conception individuelle avec ou sans dessin (Bilda, Gero, & Purcell, 2006).

Dans le cadre d'une co-conception, l'externalisation de la représentation mentale du projet de chacun en une représentation externe est importante pour s'assurer d'une compréhension commune de la direction à prendre dans le projet. Le rôle de l'écosystème de représentation est d'autant plus important pour la co-conception que pour la conception individuelle, car il sert à la définition d'un *common ground*. Selon Arias *et al.* (2000), l'externalisation des représentations dans un cadre de conception collaborative permet de :

- laisser une trace de l'effort mental du concepteur dans une représentation externe,
- représenter des éléments qui peuvent nous donner un *feedback* (conversation avec les représentations),
- former une base pour la critique et la négociation.

Dans le cadre de la session critique, s'y ajoute l'enjeu pédagogique de la construction de connaissances en conception.

2.2 Études empiriques sur la situation de sessions critiques en studio de projet

Dans cette deuxième partie de notre cadre de références nous allons présenter plusieurs cas d'études empiriques sur l'analyse des sessions critiques en studio de projet, en architecture ou dans d'autres domaines comme l'ingénierie mécanique ou le design industriel. La première section explore le cas des sessions critiques traditionnelles alors que la seconde s'attachera au cas de sessions critiques avec l'utilisation de représentations du projet en réalité virtuelle ou en réalité augmentée.

2.2.1 Analyses de sessions critiques traditionnelles sur table

Les études empiriques sur la critique en projet se focalisent sur le *quoi*, l'objectif d'apprentissage c'est-à-dire la conception en elle-même, ou sur le *comment*, qui recouvre les stratégies pédagogiques mises en place par les enseignants. Nous verrons que dans les exemples de critique traditionnelle, c'est-à-dire sur table, avec enseignants et étudiants en face à face et l'utilisation de représentations de projet usuelles (plan, coupe, maquette physique et numérique), les deux sont étudiés. Les cas présentés pour la critique traditionnelle sont principalement basés sur une analyse des conversations entre enseignants et étudiants pendant les sessions critiques, plutôt que sur des entretiens ou des questionnaires.

2.2.1.1 Études sur les stratégies pédagogiques

La distinction entre le quoi (conception) et le comment (stratégie) de la pédagogie en studio est délicate car les deux sont étroitement liés. Schön (1985), Heylighen, Bouwen, & Neuckermans (1999) et Goldschmidt, Hochman, & Dafni (2010) proposent des définitions d'actions pendant les sessions qui différencient apport de connaissances tacites sur la conception par la démonstration et apport de connaissances explicites sur la conception par l'explication. Adams *et al.* (2016a, 2016b) proposent une description détaillée de stratégies pédagogiques et de type de connaissances dans un cadre analytique unique appelé PCK (*Pedagogical Content Knowledge*).

Nous l'avons décrit plus haut, Schön (1985) propose quatre types d'actions dans les sessions critiques : expliquer (enseignant) et écouter (étudiant) ; démontrer (enseignant) et imiter (étudiant). Deux stratégies pédagogiques en ressortent. La première situation suggère une formulation explicite de connaissances sur la conception, comme des instructions spécifiques à suivre, des concepts théoriques, et la seconde se réfère à une situation où la conception se fait par la démonstration de l'enseignant où l'étudiant apprend par imitation. Heylighen, Bouwen, & Neuckermans (1999) ont développé la proposition de Schön, définissant quatre catégories de moments pédagogiques traitant de connaissances en conception : les démonstrations utilisant à la fois le langage verbal et graphique, la description d'un principe de conception, la description d'une référence de projet, la conception par le croquis de l'enseignant. Là encore, nous reconnaissons deux activités principales, la première en relation avec la conception et la seconde qui propose des méthodes, des théories générales ou des références de projet pour nourrir et encourager la conception des étudiants.

Goldschmidt, Hochman, & Dafni (2010) propose une définition de stratégies pédagogiques complémentaires. Les verbalisations des enseignants sont définies par huit catégories : une analyse de l'état du projet ; une demande de clarification ; la proposition d'un changement ou d'une amélioration ; la référence à un précédent de conception ; l'explication d'un problème dans le processus de conception, d'une théorie, d'un principe, d'une norme ; une remarque concernant les représentations ou la méthodologie ; un encouragement ou des félicitations ; la mise en évidence d'un problème dans le projet. Sur les cas étudiés par Goldschmidt, Hochman, & Dafni (2010), un quart des remarques sont focalisées sur l'explication d'un problème de conception, d'une théorie, d'un principe de conception ou d'une

norme. Le deuxième type de remarque le plus fréquent, la mise en évidence d'un problème dans le projet, lui est complémentaire.

Dans leurs études, Adams *et al.* (2016a, 2016b) proposent un cadre théorique PCK (*Pedagogical Content Knowledge*) intégrant stratégies pédagogiques et contenu des verbalisations des critiques (connaissances en conception). Les stratégies pédagogiques sont définies par deux cadres théoriques existants : l'apprentissage cognitif (*cognitive apprenticeship*) et l'enseignement par improvisation (*teaching as improvisation*). Le premier cadre décrit une approche d'apprentissage dans un cadre social et professionnel, où l'enseignant vise à rendre visible à l'apprenant des processus réflexifs tacites (Collins, Brown, & Holum, 1991), comme la conception. L'enseignement par improvisation intègre la dimension adaptive de l'enseignement qui est représentative de la situation et de l'interaction entre enseignants et étudiants (Sawyer, 2011). Les connaissances en conception sont identifiées suivant deux catégories : les connaissances conceptuelles, comme l'esthétique et la faisabilité, et des connaissances procédurales comme le cadrage du problème et la gestion du processus de projet (risque, temporalité).

Malgré l'intégration du comment et du quoi dans le cadre analytique PCK, les résultats des études d'Adams et ses collaborateurs se focalisent principalement sur les stratégies pédagogiques exploitées par les enseignants. L'étude transversale de sessions critiques en design industriel, en chorégraphie et en génie mécanique révèle des variations et des similitudes dans les techniques utilisées par les enseignants pour « coacher » les étudiants dans le développement de leurs concepts. Quatre stratégies, sur les neufs définies dans le PCK, apparaissent dans l'ensemble des sessions. Elles sont proposées comme marqueurs de la pédagogie du studio. La première stratégie est d'étayer et construire les connaissances en encourageant les étudiants à articuler et évaluer leur raisonnement. Une seconde stratégie pédagogique est la prise en main de la critique par l'enseignant pour aider l'étudiant à surpasser un blocage conceptuel. Dans la troisième stratégie pédagogique, l'enseignant vise à transmettre des connaissances tacites en conception en plaçant l'étudiant dans la réflexion-dans-l'action, c'est-à-dire dans une réflexion simultanée à l'activité de conception, ou réflexion-sur-l'action, c'est-à-dire dans une réflexion postérieur à l'activité de conception (Schön, 1983). La dernière stratégie pédagogique est centrée sur la suggestion et le partage d'information avec les étudiants pour qu'ils puissent prendre une décision informée par rapport à la situation du projet.

2.2.1.2 Étude du processus de conception

La critique en studio de projet est souvent focalisée sur l'évaluation du projet de l'étudiant et l'évaluation de son processus de conception. Des études empiriques analysant la conversation dans les sessions critiques révèlent la présence d'activités de conception (Ferreira, Christiaans, & Almendra, 2016; Gero & Jiang, 2016) ou de marqueurs verbaux liés au raisonnement et à la réflexion (Cardoso *et al.* 2014; Dong, Garbuio, & Lovallo, 2016; Wolmarans, 2016). La dominance de certains types de *feedbacks* est étudiée par Dannels & Martin (2008) et l'implication de ces *feedbacks* d'un point de vue de la réflexion convergente ou divergente est explorée par Yilmaz & Daly (2016).

Ferreira, Christiaans, & Almendra (2016) ont développé un outil de visualisation des interactions enseignants / étudiants basé sur le modèle *Design Grammar* (DG). La conversation entre enseignants et étudiants durant la critique est étudiée en relation avec la fonction du projet, sa forme ou encore ses principes d'organisation spatiale. Sur le diagramme du modèle, le focus de la session par rapport aux catégories de DG et l'apport de chaque acteur est facilement appréhendable. De plus, la temporalité des actions et interactions peut être représentée sur une série de diagrammes ce qui donne une information qualitative sur le déroulé de la session en terme de focalisation de l'activité de conception.

La thématique de la 10éme conférence DTRS (*Design Thinking Research Symposium*)[10] fut centrée sur la critique de projet dans différents domaines de conception : chorégraphie, entreprenariat, design industriel, ingénierie mécanique et *service-learning* (Adams & Siddiqui, 2016). Le même ensemble de données a été utilisé et analysé avec différentes approches. L'étude de Gero & Jiang (2016) se base sur l'ontologie *Function Behavior Structure* (Gero, 1990) pour explorer les différences de processus de conception entre une session critique en ingénierie mécanique et une session critique dans un studio de design industriel. Les deux critiques sont axées sur une réflexion sur la solution plutôt que sur le problème de conception. La session en ingénierie mécanique est légèrement plus focalisée sur le problème que la solution de projet proposée, ce qui est en accord avec d'autres études sur les différences d'activité de conception en fonction du domaine de design (Gero & Kannengiesser, 2014).

[10] https://docs.lib.purdue.edu/dtrs/2014/ consulté le 4 février 2019

Les propositions de Wolmarans (2016), Dong *et al.* (2016) et Cardoso *et al.* (2014) étudient le raisonnement pendant la session critique. Wolmarans (2016) a utilisé le concept de *Semantic Gravity* (SG) de *Legitimation Code Theory* (Maton, 2014) pour catégoriser l'organisation des connaissances entre le raisonnement abstrait et le raisonnement concret dans les sessions critiques en ingénierie mécanique. La *Semantic Gravity* est définie par la relation entre les connaissances formulées pendant la critique et leur contexte. La SG sera importante (SG+) si le sens de la réflexion est contextualisé et sera plus faible (SG-) lorsque la réflexion est plutôt abstraite. Sur ces cas d'étude, l'alternance graduelle de différentes séquences de raisonnement pendant la critique est bénéfique à l'amélioration de la qualité des projets des étudiants.

Dong, Garbuio, & Lovallo (2016) se sont attachés à l'importance de la sélection du concept, de son analyse, sa comparaison avec d'autres concepts pendant des sessions critiques en design industriel. Leur focus est sur la qualité de la décision analysée à travers le concept de *generative sensing*. Le *generative sensing* est associé au raisonnement par abduction où des hypothèses sur le contexte d'utilisation du projet, son fonctionnement ou son type d'utilisation sont formulées en réponse à la situation actuelle. Cette action est complémentaire de l'évaluation du projet par un raisonnement déductif. Il est noté que les inférences de *generative sensing* et d'évaluation diminuent avec l'avancement du projet. Les auteurs mettent en avant l'importance du *generative sensing* dans les premières sessions critiques pour pousser les étudiants à l'exploration de solutions alternatives.

Une réflexion sur le raisonnement pendant les sessions critiques est aussi apportée par Cardoso *et al.* (2014) à travers l'analyse du type de questions posées au cours d'un ensemble de sessions critiques en design industriel. Sept étudiants sont suivis sur cinq sessions consécutives, dont certaines se déroulent en présence du client. Trois niveaux de questions sont définis en se basant sur les travaux de Graesser & Person (1994) : questions *low-level* qui sont des questions sur des faits connus ; questions *deep reasoning*, qui amènent à une solution par un raisonnement et questions *generative design*, qui poussent à la génération de réponses encore inconnues et s'assimilent à la réflexion divergente. Les questions *low-level* dominent l'ensemble des sessions critiques. Les enseignants et clients, lorsqu'ils sont présents, sont auteurs de plus de questions *deep reasoning* et *generative design* que les étudiants. Ils ont dans l'ensemble formulé des commentaires constructifs et positifs aux étudiants. Selon les auteurs, ils auraient pu challenger un peu plus les projets des étudiants par

le bais de questions *deep reasoning* et *generative design* afin que ces derniers soient plus dans un discours réflexif que descriptif à propos de leur projet.

Dannels & Martin (2008) se sont concentrés sur l'analyse du contenu des *feedbacks* des enseignants qu'ils ont définis au cours de l'analyse d'un large ensemble de données provenant de différents studios en design industriel, infographie, paysage et Beaux-Arts. Au total, 47 étudiants ont été suivis sur un ensemble de quatre sessions. Neufs types de *feedbacks* sont apparus dans leur analyse avec des fréquences variables en fonction des studios. En moyenne sur l'ensemble des sessions, le *feedback* le plus fréquent est l'évaluation de la qualité du projet, suivis de questionnement sur le processus de conception de l'étudiant et d'une forme de *brainstorming* où les enseignants posent des questions heuristiques (« et si…? ») accompagnées de propositions ou solutions partielles. Yilmaz & Daly (2016) ont repris la catégorisation de Dannels & Martin (2008) pour étudier certaines sessions critiques du jeu de données de DTRS10, notamment en chorégraphie, ingénierie mécanique et design industriel. Dans leur étude, à chaque *feedback* est associé un type de réflexion caractéristique de l'activité de conception, convergent ou divergent. Les sessions ont dans l'ensemble une dominance de *feedbacks* poussant à la réflexion convergente, c'est-à-dire que l'étudiant est orienté vers une décision précise. Les sessions en chorégraphie ont une fréquence plus élevée de *feedback* soutenant la réflexion divergente, où les étudiants sont incités à explorer des solutions et faire leur propre choix, par rapport aux sessions en ingénierie mécanique et en design industriel.

Nous avons vu que l'étude de la conception pendant la critique peut prendre plusieurs formes, de l'analyse de marqueurs de processus de conception à l'étude du raisonnement dans le processus de conception (abstrait, concret, divergent, convergent).

En résumé, nous avons vu que l'analyse de sessions critiques de projet dans un format traditionnel s'intéresse à différents niveaux de la critique. Le premier niveau est la stratégie pédagogique qui est en quelque sorte le mode de partage de l'information entre l'enseignant et l'étudiant, par exemple par l'explication, la suggestion ou encore la conception à visée de démonstration. Certaines de ces stratégies sont spécifiques à l'enseignant qui est généralement dans le contrôle de la session, bien que certaines soient exploitées conjointement par les enseignants et les étudiants. Le contenu de ces modes de partage peut être défini par des connaissances en conception qui se formalisent par des processus de conception comme l'évaluation, la proposition de solution, la réflexion divergente et convergente. Les

processus de conception forment le second niveau d'étude des sessions critiques. Dans ce deuxième niveau, nous pouvons inclure la notion d'évaluation du projet en lui-même défini par exemple par son esthétique, sa forme, sa qualité et sa fonction. Ces niveaux d'analyse de critiques, stratégies pédagogiques et processus de conception, peuvent être étudiés dans le cas de sessions critiques utilisant une pédagogie alternative. Cependant, les cas d'études auxquels nous faisons référence dans ce qui suit s'attachent principalement à l'analyse du processus de conception pendant la critique dans un écosystème de représentations en RV ou RA car l'enjeu décrit est souvent d'améliorer la qualité du projet par la visualisation de simulations, l'évaluation du projet à échelle humaine ou par l'enrichissement de la collaboration.

2.2.2 Utilisation d'un écosystème de représentations alternatif pour les sessions critiques

Avant de décrire des exemples d'utilisation de la réalité virtuelle (RV) et de la réalité augmentée (RA) pour le studio, nous allons définir les caractéristiques de ces technologies et en synthétiser leurs usages en fonction du support utilisé : écran immersif, casque HMD ou tablette / smartphone.

Les deux pierres angulaires de la RV sont l'immersion et l'interaction (Fuchs, Moreau, & Guitton, 2011). Les deux sont rarement complètement atteintes, mais demeurent les objectifs de l'utilisation de la RV. Elles donnent la possibilité d'avoir une expérience sensible dans un environnement artificiel qui est une simulation de certains aspects du monde réel. En ce qui concerne le domaine de l'architecture, les applications de RV sont utilisées pour la conception en elle-même, la communication du projet et la prise de décision collaborative (Bertol & Foell, 1997; Milovanovic *et al.*, 2017). Pour Schnabel *et al.* (2001), la manipulation d'environnements virtuels pendant le processus de conception aide les concepteurs à avoir une meilleur sensation de la spatialité du projet. Les systèmes en RA combinent le réel et le virtuel, et supportent une interaction en temps réel avec des informations numériques positionnées en 3D (Azuma, 1997). Les applications utilisant la RA dans le domaine de l'architecture peuvent être développées par le biais de différents types de systèmes comme par exemple l'utilisation d'un casque HMD, l'utilisation d'une tablette ou d'un smartphone pour la SDAR (*Smart Device AR*) ou l'utilisation de la RA pour la RAS (Réalité Augmentée Spatiale). Dans chacun de ces cas, des informations virtuelles sont

superposées sur un environnement réel. La démocratisation de l'utilisation des smartphones et des tablettes a ouvert la porte à l'utilisation d'application en RA sur site pour des projets d'aménagement intérieur, pour la rénovation de bâtiments ou la gestion des phases de construction. La RAS permet, par exemple, d'expérimenter et de concevoir sur place, à l'échelle 1:1, en affichant des données numériques sur l'espace physique comme les murs, les planchers ou autres objets réels (Raskar, Welch, & Fuchs, 1998).

Pour examiner les utilisations de la RV et de la RA en studio de projet, nous nous sommes basés sur un corpus d'articles de la base de données Cumincad (*Cumulative Index of Computer Aided Architectural Design*) (Milovanovic *et al.*, 2017). En complément, deux autres revues ont été couvertes, à savoir IJAC (*International Journal of Architectural Computing*) et *Design Studies*. Au total, 122 articles ont été sélectionnés selon leur contenu (78 pour VR et 55 pour AR). Tous les articles ont été classés en six catégories différentes. Elles ont été définies avant l'étude et correspondent aux caractéristiques qu'il nous semble important de prendre en compte dans l'élaboration d'une proposition d'utilisation de CORAULIS pour les sessions critiques en studio de projet. Certaines des catégories comme la collaboration ou la pédagogie ont déjà été analysées par Freitas & Ruschel (2013) dans leur étude de corpus. Les thèmes que nous proposons sont les suivants :

- La communication et collaboration où l'utilisation d'une application pour améliorer la conception collaborative et la communication entre les décideurs (concepteurs, clients, usagers) est mise en avant.
- La pédagogie où il y a une proposition d'inclure des applications de RV ou de RA dans un cours ou un studio de projet.
- La représentation où le focus est mis sur l'évaluation du projet par la visualisation alternative offerte par des applications en RV ou RA.
- L'activation sensorielle et la cognition regroupent des articles où les effets de la RV et RA sur la charge cognitive ou sur la multiplicité des sens stimulés simultanément sont mis en évidence.
- La conception fait référence à des systèmes développés pour accompagner le processus de conception et d'idéation.
- La thématique système (matériel ou logiciel) correspond à des articles décrivant précisément le dispositif ou l'application, comme l'architecture du logiciel.

D'après ce corpus nous avons identifié les thématiques dominantes associées à un type de support en particulier, ainsi que leurs utilisations récurrentes (Tableau 1).

Tableau 1 Thématiques et utilisations dominantes de la RV et RA en fonction de leur support

	Support	*Thématiques dominantes*	*Utilisations*	*Exemples*
RÉALITÉE VIRTUELLE	Casque HMD	• Conception • Activation sensorielle et cognition • Pédagogie • Représentation	• Dessin et conception immersive • Expérience sensible • Collaboration à distance • Évaluation de l'espace	• (Donath & Regenbrecht, 1999) • CAP VR (Angulo, 2015)
	CAVE	• Système • Conception • Représentation	• Conception échelle 1:1 • Évaluation de l'espace • Visualisation de simulations	• (Kieferle & Herzberger, 2002; Kieferle & Woessner, 2015)
	Écran immersif	• Conception • Activation sensorielle et cognition • Pédagogie • Représentation	• Dessin et conception immersive • Collaboration locale et à distance • Évaluation de l'espace	• HYVE-3D (Dorta, 2007; Dorta, Kinayoglu, & Hoffmann, 2014; Dorta, Pérez, & Lesage, 2008) • VizLab (Sopher, 2015; Sopher, Kalay, & Fisher-Gewirtzman, 2017)
RÉALITÉ AUGMNETÉE	Casque HMD see-through	• Conception • Communication	• Visualisation de simulations • Collaboration à distance • Superposition du réel et du numérique	• ARTHUR (Fatah gen Schieck *et al.,* 2004; Penn, Mottram, & Fatah gen Schieck, 2004) • BenchWork (Seichter, 2004, 2007) • MxR (Belcher & Johnson, 2008)
	Smart-device AR ou écran	• Conception • Représentation	• Visualisation de simulations • Réduction de la charge cognitive • Gestion de projet • Conception sur site • Visualisations de données techniques sur site	• (Gül & Halici, 2016) • (Yusuke *et al.,* 2016) • video-datAR (Chung *et al.*, 2009; Moloney, 2007)
	RAS (Réalité Augmentée Spatiale)	• Conception • Représentation	• Conception échelle 1:1 • Conception sur site • Évaluation simultanées de plusieurs propositions • Superposition du réel et du numérique	• SARDE (Tonn, Donath, & Petzold, 2007; Tonn *et al.*, 2008; Tonn, Petzold, & Donath, 2009)

2.2.2.1 Réalité Virtuelle et studio de projet

Nous allons présenter trois cas d'étude dans cette section pour aborder les enjeux et l'impact de l'utilisation de la RV dans le studio de projet. Le premier propose l'utilisation du CAP VR à la Ball State University, où l'utilisateur porte un casque traqué et peut se déplacer dans un espace réel limité pour naviguer dans l'environnement virtuel (Angulo, 2015) (Figure 3). Le point de vue de l'utilisateur portant le casque est projeté sur un écran vertical pour que les autres participants puissent partager son expérience. Le deuxième exemple est l'utilisation du IVE (*Immersive Virtual Environment*) du VisLab de l'université de Technion (Figure 4). L'IVE est composé d'un écran curviligne de 2.4 m sur 7 m (Sopher, Kalay, & Fisher-Gewirtzman, 2017). Dans le dernier cas d'étude avec le Hyve-3D (Dorta, Kinayoglu, & Hoffmann, 2016), le curseur 3D permet la navigation et le dessin, et l'environnement virtuel sont projetés en perspective avec un effet trompe l'œil sur un écran courbe (Figure 5).

Le CAP VR a été utilisé durant plusieurs années à *Ball State University*, dans le cadre de studios de projet d'architecture (Angulo, 2015; Angulo & Vasques de Velasco, 2013; Angulo & Vasquez de Velasco, 2016). Le processus mis en place par les enseignants suit le déroulé suivant : une visite du site est complétée par une introduction au CAP VR où les étudiants parcourent l'environnement virtuel de leur site de projet. Ensuite les étudiants travaillent sur la proposition d'idées par différents modes : dessins, maquettes physiques, volumétries, intentions d'ambiances et simulation en RV. Les étudiants ont accès au CAP VR pendant leurs sessions de conception en autonomie et lors des sessions critiques, ce qui implique que le changement de l'écosystème de représentations a un effet sur l'ensemble des moments d'expérience du cycle d'apprentissage (Milovanovic *et al.*, 2018). Lors des sessions autonomes, les étudiants utilisent le CAP VR pour évaluer leur projet, et pendant les sessions critiques, ils l'utilisent comme support de discussion avec enseignants et pairs.

La visualisation et navigation dans l'environnement virtuel des aménagements proposés par les étudiants a permis de saisir avec efficacité les qualités spatiales des différents projets. L'objectif de l'intégration du système CAP VR était l'amélioration de la qualité de l'objet architectural final et la confrontation des intentions spatiales, esthétiques et d'ambiances des étudiants par rapport à leur formalisation avec l'utilisation de la RV en complément des outils traditionnels. Par rapport au niveau d'analyse de la critique définis plus haut, cette étude a mis en évidence un effet de l'utilisation de cet écosystème de représentations

sur la qualité du projet et sur le processus de conception. Cette expérience montre que l'utilisation du CAP VR par les étudiants leur a permis d'atteindre les objectifs pédagogiques fixés dans le cadre de cette unité d'enseignement de projet. Les étudiants ont eu une perception positive de l'utilisation du dispositif pour accompagner leurs phases de réflexion et conception. De plus, un panel d'experts externes a eu tendance à noter une meilleure qualité spatiale pour les projets où les étudiants avaient utilisé le CAP VR.

L'étude proposant l'utilisation de l'IVE du VisLab de l'université de Technion a été mise en place tout au long d'un semestre où les étudiants observés alternent entre critiques sur table et critiques dans l'IVE (Sopher, Kalay, & Fisher-Gewirtzman, 2017). Le cadre théorique utilisé s'attache à des unités de KCA (*Knowledge Construction Activities*) qui identifient un marqueur d'apprentissage ou d'intégration de connaissances. L'analyse s'attache principalement aux processus de conception à travers la mesure de KCA de synthèse, analyse et évaluation. Un KCA est observé lorsque l'étudiant intègre un commentaire d'une session dans la session suivante. En moyenne, la fréquence des KCA augmente lors de l'utilisation de l'IVE comparé aux sessions critiques sur table. Il est observé que l'utilisation de l'IVE permet la visualisation de plusieurs points de vue différents sur le projet et enrichit la discussion, notamment grâce à la fonction de ballade dans la maquette numérique du projet de l'étudiant.

Un deuxième exemple d'utilisation de RV avec un écran immersif est le Hyve-3D, anciennement le HIS (Dorta & Pérez, 2006), utilisé dans le cadre de studios de co-design et de design industriel à l'Université de Montréal (Dorta, Kinayoglu, & Boudhraa, 2016; Dorta, Lesage, & Bartolo, 2012). Cet écosystème de représentations est exploité sur le temps du studio de projet, durant les sessions critiques. L'environnement immersif s'adapte aux documents produits par les étudiants entre les sessions (dessin 2D ou 3D, maquette numérique ou analogue, animation), qui sont partagés entre les participants lors les sessions critiques. La flexibilité du HIS / Hyve-3D permet de suivre l'évolution des médiums utilisés sur la temporalité du projet (de l'esquisse numérique 2D et 3D à la maquette numérique et aux animations). L'intérêt du dispositif est de proposer un environnement d'esquisse dans un environnement virtuel immersif donnant un retour à échelle réelle sur le projet proposé. En effet, un problème engendré par l'utilisation des logiciels de modélisation utilisés en studio est le rapport à l'échelle du projet.

Figure 3 **CAP VR (source: https://capvrenvironment.wordpress.com/)**

Figure 4 **IVE (Immersive Virtual Environment) (Sopher, Kalay, & Fisher-Gewirtzman, 2017)**

Figure 5 **Hyve-3D (Dorta, Kinayoglu, & Hoffmann, 2016)**

Le dispositif Hyve-3D permet l'extériorisation des représentations du projet, la discussion et l'évaluation des idées ou concepts dans un processus de co-design local et à distance entre les étudiants, tuteurs et collaborateurs engagés dans la session critique. Des sessions critiques dans un studio de design industriel d'étudiants de troisième année utilisant le HIS[11] sont exploitées pour analyser l'engagement des étudiants dans des boucles de conception collaborative (Boudhraâ *et al.*, 2019; Dorta, Kinayoglu, & Boudhraâ, 2016). Dans la première étude, les *Design Conversations* sont étudiées ainsi que l'utilisation de différents médiums de représentations de session en session (Dorta, Kinayoglu, & Boudhraâ, 2016). Dans la deuxième étude, menée dans le cadre de ma mobilité à l'Hybridlab, le focus est sur l'engagement des étudiants dans les conversations de conception et leur expérience à travers la notion de *design flow*.

Une spécificité de ce studio est la collaboration à distance avec un collaborateur à Milan et un collaborateur à Nancy à travers l'interface du HIS. Grâce au HIS, les acteurs de la session critique (étudiants, enseignants, collaborateurs) dessinent dans une vue immersive en perspective perçue à l'échelle 1 par une interface sur tablette. L'idéation collaborative a été mise en œuvre au cours des sessions critiques par le biais d'une pédagogie orientée co-design. Pour la stratégie pédagogique dite de co-design, l'enseignant orchestre la critique de manière à faire participer l'étudiant dans des moments de co-conception (Boudhraâ *et al.*, 2019). Ici, l'analyse des sessions critiques se focalise en partie sur la stratégie pédagogique et sur les processus de co-conception.

Lors de ces sessions critiques, la conception collaborative est analysée avec le cadre théorique des *Design Conversations* (Dorta *et al.* 2011a, 2011b). Ce cadre a été utilisé pour encoder l'échange verbal des sessions critiques en fonction de six éléments clés : *Naming* (définir l'élément au centre de l'activité de conception) ; *Proposing* (exprimer une idée ou un concept) ; *Constraining* (formuler des limites ou exigences encadrant la situation de conception) ; *Negotiating* (discuter un élément spécifique du projet par l'explication ou le questionnement) ; *Decision making* (accord ou désaccord sur une idée) et *Moving* (action actant une étape dans la conception, souvent accompagnée d'une formalisation physique par le dessin). Trois types de conversations sont identifiés : *Collaborative Conversations* (CCs), *Collaborative Ideation loop* (CI loop) et *Collaborative Moving* (CM).

[11] Expériences réalisées avant la mise en place du Hyve-3D

L'identification de ces différents types de conversation dépend du fait qu'une séquence contienne ou non certains des éléments des *Design Conversations* mentionnés ci-dessus. Les CI loops sont définies comme le cœur de l'idéation collaborative, et les deux autres types de conversation font partie de l'ensemble de l'activité de co-idéation. Un engagement des étudiants dans les sessions de critiques est marqué par la présence de séquences de CCs et de CI loops pour chacune des sessions.

En résumé, nous avons vu que chaque exemple cité se focalise sur différents éléments pour analyser les sessions critiques mais ils visent tous à améliorer le processus de conception des étudiants. Dans le cas du CAP VR, l'appréhension spatiale du projet architectural et l'auto-évaluation des étudiants sont centrales. L'enjeu de l'utilisation du CAP-VR est l'amélioration du processus de conception de l'étudiant. L'évaluation de son utilisation se fait au niveau des éléments du projet, par l'appréciation de la qualité du projet (panel expert). L'étude de sessions critiques dans un studio d'architecture utilisant l'IVE se concentre sur la construction de connaissances en conception mesurées par les KCA et montre une augmentation de la fréquence des KCA dans les sessions citriques immersives. L'enjeu était ici aussi d'améliorer le processus de conception de l'étudiant tout en s'attachant à la question de l'intégration des commentaires de session en session, qui est importante dans la pédagogie du studio. L'étude de sessions de design industriel avec le HIS se focalise sur l'analyse de la co-idéation identifiée par l'apparition de CI loops et de CC's durant les sessions critiques. L'engagement des étudiants dans un processus de conception collaborative apparaît dans chacune des sessions, ce qui appuie l'intérêt de la mise en place de la stratégie pédagogique de co-design et de l'utilisation de l'écosystème de représentations proposé, pour soutenir la collaboration pendant la critique.

D'autres utilisations de la RV dans un cadre pédagogique visent à améliorer la compréhension des étudiants des paramètres structurels de leur projet (Garcia, Marquez, & Valverde Vildosola, 2001), à enrichir les modalités de représentations (Kalisperis *et al.*, 2002) ou encore à favoriser la collaboration distante entre des étudiants (Schnabel *et al.*, 2001).

2.2.2.2 Réalité Augmentée et studio de projet

L'utilisation de la RA pour le studio de projet est diverse, de même que le type de support utilisé : table interactive, tablette, casque HMD ou espace physique avec la RAS. Nous allons détailler deux exemples. Le premier est l'utilisation d'une table interactive dans le

cas d'un studio de projet en architecture avec la *Luminous Planning Table* (LPT) (Ben-Joseph *et al.*, 2001; Ishii & Ben-Joseph, 2002). Le second exemple décrit le système BenchWork, fonctionnant avec un casque HMD. BenchWork est exploité dans un studio de conception urbaine pour favoriser la collaboration dans les premières phases de projet (Seichter, 2004; Seichter & Schnabel, 2005). Ce système permet d'associer l'utilisation de la maquette physique et d'une interface de modélisation numérique en RA.

La *Luminous Planning Table* a été utilisée par les étudiants d'un studio de projet en architecture sur l'ensemble d'un semestre, à la fois pour des sessions de conception autonomes et pour des sessions critiques (Ben-Joseph *et al.*, 2001; Ishii & Ben-Joseph, 2002). La LPT est composée d'une table où le plan 2D du projet est projeté sur lequel les maquettes physiques du projet sont placées. Des données supplémentaires sur l'environnement sont projetées comme les flux de vent, ombres, réflexion des parois vitrées, simulation de flux de voitures et la proximité entre les bâtiments. De même, des documents supplémentaires peuvent être visualisés sur la table par un deuxième projecteur et/ou sur un plan vertical (Figure 6). Ce dispositif propose la mise en relation d'éléments 2D (dessins, plans), de maquettes 3D physiques et de maquettes 3D virtuelles, trois médiums de travail et de communication utilisés par les étudiants en architecture. L'enjeu de la LPT est de proposer un espace unique d'utilisation de ces trois médiums de représentations, qui sont généralement exploités dans des temporalités et des espaces distincts. L'objectif de la LPT est de réduire la charge cognitive mobilisée par l'étudiant pendant le processus de conception en rassemblant les étapes de conception liées à l'utilisation des différents médiums dans le même espace.

La visualisation dynamique de l'impact environnemental de la forme des bâtiments a permis aux étudiants de mieux saisir le lien entre spatialité et ambiances. En général, la simulation la plus exploitée est celle des ombres. Les flux de vent et le flux de voiture le sont beaucoup moins. La communication des projets a été jugée plus aisée avec la LPT que dans une configuration traditionnelle. Certains étudiants ont cependant émis la remarque que les décisions concernant le choix morphologique d'un bâtiment ou d'un aménagement urbain ne dépendent pas seulement des conditions d'ensoleillement ou de vent. La LPT, par la projection des simulations environnementales, orientent la conception en fonction des informations projetées.

Les atouts du dispositif sont l'amélioration de la collaboration entre les étudiants, grâce à la dimension de la table, et de l'interface TUI (*Tangible User Interface*) qui au contraire

d'une GUI (*Graphical User Interface*) peut facilement être manipulée par plusieurs personnes, la mise en place d'un espace de travail proposant une transition fluide entre les différents modes de représentations couramment utilisés par les étudiants, la visualisation dynamique en temps réel d'éléments de l'environnement sur la maquette physique (maquette augmentée) et le *feedback* immédiat des choix de conception effectués. Des propositions de nouvelles projections de simulations ont été évoquées par Ishii *et al.* (2002) comme les ambiances lumineuses nocturne, le flux piétons, la végétation mais le projet n'a pas été poursuivi. L'intention était également de proposer la visualisation du point de vue immergé du projet à travers la projection de la vidéo temps réel augmentée de la maquette physique, en plaçant une caméra à l'intérieur de celle-ci (Figure 7).

Figure 6 **Descriptif de la LPT (Ishii & Ben-Joseph, 2002)**

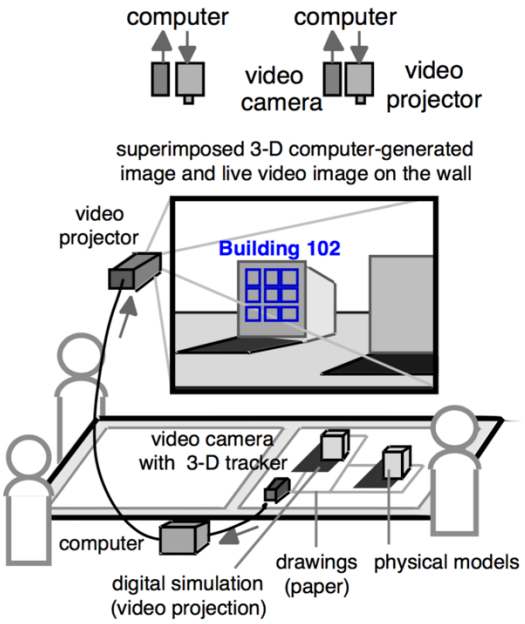


Figure 7 Proposition pour un futur développement de la LPT (Ishii & Ben-Joseph, 2002)

Un exemple d'utilisation de la RA avec un casque *see-through* dans le cadre d'un studio de projet urbain est proposé avec BenchWorks (Seichter, 2004; Seichter & Schnabel, 2005). Pour Seichter & Schnabel (2005), l'utilisation de la RA dans le studio de projet donne de nombreuses possibilités pour l'enseignement. La collaboration entre novices et experts est facilitée par l'outil. Le travail est plus interactif et la compréhension passe par l'action et le feedback en temps réel. Les maquettes physiques sont en général un bon support pour la collaboration mais elles manquent de dynamisme. Pour aider à la compréhension, il est intéressant de pouvoir saisir des éléments, comme les bâtiments. L'intérêt de la RA transparait dans la superposition du réel et du virtuel ce qui permet l'appréhension d'objets physiques tout en proposant une dimension dynamique à la représentation.

Pour utiliser l'application, les étudiants chargent plusieurs esquisses de maquettes numériques dans l'interface de BenchWork. Ils peuvent ensuite observer comment leurs différentes esquisses s'intègrent dans le contexte urbain virtuel (modélisé et visible par le casque *see-through*). La communication est plus directe et rapide avec l'application Benchwork. Les qualités mises en avant dans l'étude sont l'immersion, l'interaction, le dynamisme et la collaboration.

En résumé, nous avons vu que dans ces exemples utilisant la RA comme écosystème de représentations, l'étude s'attache à la pertinence du système pour favoriser le processus de conception. D'autres exemples d'utilisation de la RA pour la conception en architecture,

en dehors d'un cadre pédagogique, sont décrits dans (Milovanovic *et al.*, 2017). L'utilisation de la RA a souvent pour enjeu d'accompagner le processus de conception, notamment par une amélioration de la communication, de la collaboration, ou de la conception sur site.

2.3 Synthèse

La description de notre cadre de référence nous a permis de poser le contexte de la suite de notre travail. Nous avons vu quelles approches de l'apprentissage (cognitivisme, constructivisme, apprentissage social et situé) se retrouvent dans la pédagogie en studio de projet. La culture et l'environnement du studio, l'apprentissage par projet et les sessions critiques sont trois caractéristiques de la pédagogie du studio. Nous avons expliqué en quoi l'écosystème de représentations est important dans la situation de la critique car il supporte la communication et la conception pendant la session critique. La conception est l'objectif d'apprentissage du studio de projet et elle est aussi la stratégie pédagogique mise en place par l'apprentissage par le faire. L'activité de conception se définit comme un processus réflexif itératif de construction de représentations mentales et externes du projet, où le concepteur navigue entre espace problème et espace solution, et entre différents types de représentations externes du projet incluses dans l'écosystème de représentations.

Les études empiriques sur la session critique en projet se focalisent généralement sur le processus de conception et sur des éléments du projet (qualités spatiales, esthétique, matérialité entre autres), ou parfois sur les stratégies pédagogiques mises en place. Nous avons décrit quelques exemples de mises en œuvre de systèmes utilisant des technologies de RV ou RA qui modifient l'écosystème de représentations utilisé durant les sessions critiques de projet. Le focus principal et l'enjeu de l'utilisation de ces systèmes est l'amélioration du processus de conception des étudiants sur la temporalité du studio, en renforçant l'évaluation spatiale de leur projet, l'évaluation simultanée et augmentée de plusieurs esquisses de projet, l'intensification de la collaboration et de l'engagement des étudiants ou encore l'intégration des *feedbacks* des enseignants de session en session.

Chapitre 3 La session critique comme pratique réflexive mentorée

L'objectif de ce chapitre est de poser notre modèle théorique décrivant l'activité de pratique réflexive mentorée lors des sessions critiques. Dans le studio de projet, l'apprentissage passe par le faire, avec un encadrement de type mentorat organisé autour des sessions critiques de projet. La pratique réflexive est l'objectif d'apprentissage du studio de projet et nous verrons que la pratique réflexive est également au cœur de la stratégie pédagogique de type mentorat. En effet, l'ensemble de ces stratégies exploitent un aspect de la pratique réflexive, qui est soit démontrée, observée, imitée ou accompagnée. Sur la temporalité du projet, les étudiants alternent entre sessions autonomes où ils sont en situation de pratique réflexive individuelle et sessions critiques où ils sont accompagnés par leurs enseignants qui prendront le rôle de coach, d'évaluateur et de co-concepteur. La pratique réflexive constituant l'objectif d'apprentissage et étant au cœur de la stratégie pédagogique est notre objet d'analyse. Dans ce chapitre, après avoir articulé les notions de mentorat, d'apprentissage cognitif et de pratique réflexive, nous développerons pas à pas la construction du modèle de co-conception situé FBS représentant la pratique réflexive mentorée durant les sessions critiques. Le modèle sera illustré par un exemple d'une session critique.

3.1 Le mentorat comme stratégie pédagogique en studio de projet

Le mentorat (*mentoring*) offre une situation d'apprentissage où le mentor guide et conseil le mentorée dans la tâche qu'il a à accomplir. Le mentorat implique une relation de

dépendance du mentoré envers le mentor, auprès duquel il cherchera de l'aide, des conseils à suivre et une source d'apprentissage (Merriam, 1983). Le mentor s'appuie sur ces compétences expertes pour accompagner le mentorée dans sa tâche, et il allie théorie et pratique dans ces démonstrations (Dennen & Burner, 2008). Les mentors mettent en place des stratégies pédagogiques telles que le questionnement (*questionning*), la démonstration (*modeling*) et l'accompagnement (*coaching*). Les stratégies du modèle d'apprentissage cognitive (*cognitive apprenticeship*) (Collins, Brown, & Newman, 1987 ; Collins, Brown, & Holum, 1991) sont représentatives de l'approche du mentor (l'enseignant) pour créer une expérience d'apprentissage pour le mentoré (l'étudiant) durant les sessions critiques.

Nous avons introduit dans la section 2.1.1 (p.42), la notion d'apprentissage cognitif. Il s′inspire de l′apprentissage situé défini par Lave & Wenger (1991). L'apprentissage cognitif (*cognitive apprenticeship*) est à dissocier de l'approche cognitiviste de l'apprentissage présenté dans le début de la section 2.1.1 (p.42). La dénomination « apprentissage cognitif » est tiré de la notion d'apprentissage en entreprise (*apprenticeship*) où l'apprenti apprend par l'observation de la tâche à accomplir (Lave, 1996). Le terme « cognitif » (*cognitive*) indique que l'objet de l'apprentissage est l'ensemble des processus cognitifs (dans notre cas, les processus de conception) que l'expert utilise pour accomplir une tâche (concevoir un projet). Quatre moments sont clés dans l'apprentissage traditionnel en entreprise : *modeling* (démontrer), *scaffolding* (étayer les connaissances), *fading* (effacer) et *coaching* (accompagner). Collins, Brown, & Holum (1991) définissent six stratégies liées à la pédagogie par apprentissage cognitif en se basant sur celles de l'apprentissage traditionnel en entreprise que nous pouvons appliquer à la situation de la session critique :

- le *modeling*, où l'enseignant fait une démonstration de pratique réflexive devant l'étudiant et ce dernier l'observe,
- le *coaching*, où l'enseignant observe l'étudiant dans sa pratique réflexive et l'accompagne dans sa tâche,
- le *scaffolding*, où l'enseignant fournit des informations constructives à l'étudiant pour l'aider dans sa pratique réflexive,
- l'*articulation*, où l'enseignant encourage l'étudiant à verbaliser ses connaissances en conception et ses processus de pratique réflexive,
- la *reflection*, où l'enseignant fait référence à d'autres projets pour permettre à l'étudiant de réfléchir par comparaison et analogie,

- l'*exploration*, où l'enseignant invite l'étudiant à formuler et reformuler son problème de conception afin qu'il puisse s'y attacher de manière autonome.

Les trois premières méthodes (*modeling*, *coaching*, *scaffolding*) sont le cœur de l'apprentissage cognitif et permettent aux étudiants d'acquérir des compétences cognitives par l'observation et la pratique mentorée, accompagnée. Les deux suivantes (*articulation* et *reflection*) ont pour objectif de cadrer l'attention de l'étudiant sur son problème de conception pour qu'il formule ses stratégies acquises. La dernière (*exploration*) pousse l'étudiant à l'autonomie dans sa pratique réflexive.

Cette classification de Collins, Brown, & Holum (1991) est exploitée dans le cadre théorique PCK (*Pedagogical Content Knowledge*) développé par Adams et ses collaborateurs (2016a, 2016b). Dans leurs analyses des sessions critiques de studio de projet, plusieurs de ces stratégies sont apparues de manière récurrente comme le *scaffolding* ou le *modeling*.

3.2 La pratique réflexive : notion centrale dans l'activité de conception

La dimension de situation (*situatedness*) de l'activité de conception est apportée par la proposition de Schön (1983) de considérer le concepteur comme praticien réflexif. La pratique réflexive se traduit par une forme de conversation réflexive entre le concepteur et les éléments de la situation de conception (Schön, 1992). Le praticien réflexif manipule plusieurs types de processus tacites liés à la situation de conception : la connaissance-dans-l'action (*knowing-in-action*), la réflexion-dans-l'action (*reflection-in-action*) et la réflexion-sur-l'action (*reflection-on-action*) (Schön, 1987).

La connaissance-dans-l'action est réactive par rapport à la situation de conception et correspond à des connaissances tacites acquises par l'expérience. Elle forme la base de la réflexion-dans-l'action qui est pro-active, et permettra de faire évoluer la situation de conception suivant le schéma *« see > move and sketch > see »*. *See* ou voir signifie saisir de manière concourante le problème et la solution. C'est à la fois intégrer les informations de la situation de conception et leur donner un sens. Pour donner un sens à ces informations, le concepteur se base sur ses expériences passées. Plusieurs formes de voir sont déclinées par Schön & Wiggins (1992) comme la reconnaissance d'une figure conceptuelle,

l'appréciation de la qualité du projet, l'anticipation des conséquences attendues et inattendues d'une action de conception.

L'activité de réflexion-dans-l'action est cyclique et les actions du concepteur sont expérimentales. Comme certaines conséquences sont inattendues, le concepteur est à l'écoute des *talk-backs* de son dessin. La perception de ces conséquences de conception qui apparaissent graphiquement aura la double action de faire émerger de nouveaux problèmes potentiels et de produire de nouvelles actions de conception. Chaque action est une expérimentation locale qui alimente le problème global, faisant référence aux sauts synchroniques et diachroniques de Lebahar (1983). Au départ, le concepteur part avec une grande liberté d'action, qui est réduite avec l'évaluation des conséquences produites. Le concepteur pose une suite de « et si... ? » où, dans une démarche heuristique, il naviguera entre l'action sur un élément du projet et son effet sur l'ensemble du projet. Le concepteur construit sa stratégie de conception à travers l'enchaînement de ces actions. L'aller-retour est constant entre la situation de conception et les répertoires (Schön, 1992), schémas (Lawson, 2004) ou prototypes de conception (Gero, 1990) du concepteur, qui sont des références liées à l'expérience passée du concepteur. La conversation réflexive dans l'activité de conception est une interaction entre l'action de conception et la découverte, par l'interprétation de la situation de conception, vue avec l'expérience du concepteur. La dynamique de la découverte guide et stimule de nouvelles actions de conception.

La réflexion-sur-l'action est postérieure à l'action et vise à l'amélioration du processus général de l'activité de conception.

Pereira (1999) questionne la notion de pratique réflexive dans sa pédagogie d'enseignement et par ce biais, en fait ressortir sa dimension collaborative. Selon son interprétation, la pratique réflexive séquencée définie par Schön (1983) peut se traduire par plusieurs étapes : 1) nommer le problème, c'est-à-dire comprendre et décrire la situation et cadrer le problème de conception pour en définir le contexte ; 2) proposer des actions de conception en fonction de la définition du problème et du contexte ; 3) analyser les solutions proposées dans le contexte et le cadre posé ; 4) réajuster le cadre du problème par rapport à l'analyse de solutions proposées en se basant sur l'expérience du concepteur. Pereira (1999) parle de réflexion collective qui influe sur la définition du cadre du problème. Cette définition commune du cadre du problème fait écho à la notion du *common ground* ou de l'alignement des points de vue, nécessaire à la collaboration lors de situations de co-conception et de

sessions critiques. L'importance du cadrage du problème ou de la solution et de son recadrage dans le cas de la co-conception est également soulignée par Valkenburg & Dorst (1998). Dans cette étude, les auteurs se sont appuyés sur le modèle de pratique réflexive de Schön pour étudier la conception collaborative. Le cadrage collaboratif (*collaborative framing*) est un pré-requis pour que la discussion sur les actions de conception soient partagée et collaborative.

3.3 Un modèle de la pratique réflexive

La notion de pratique réflexive individuelle, décrite par Schön (1983) comme un modèle fonctionnel, illustre la partie 'visible' de la pratique réflexive. En effet, Schön se focalise principalement sur l'interaction entre le concepteur et les représentations externes de son projet. Même s'il évoque, à travers la notion de répertoires internes de conception, un processus d'autoréflexion, situé par rapport à l'expérience passée du concepteur, ces processus ne sont pas formalisés dans son modèle. Dans l'article « *An ontological account of Donald Schön's reflection in designing* » (Gero & Kannengiesser, 2008), la notion de pratique réflexive de Schön est transposée dans le modèle situé FBS (Gero, 1990; Gero & Kannengiesser, 2004). Pour illustrer le lien entre les deux, l'exemple de Petra et Quist que nous avons introduit au Chapitre 1 est présentée. La pratique réflexive y est décrite par un modèle descriptif intégrant la dimension d'interaction entre concepteur et monde externe (niveau social) et entre concepteur et schémas de conceptions acquis par l'expérience (niveau personnel). Ce modèle prend en compte le cas d'une pratique réflexive individuelle. Dans le cas d'une situation de co-conception, la pratique réflexive de chaque individu, c'est-à-dire l'ensemble de ses processus cognitifs de conception, est influencée par celle de l'autre concepteur. Durant l'activité de pratique réflexive collaborative ou co-conception, une alternance de processus cognitifs de conception individuels et co-construits apparaît, ce que nous pouvons décrire par le modèle de co-conception sFBS que nous proposons.

Nous allons tout d'abord présenter l'ontologie FBS (Gero, 1990), ainsi que le modèle situé FBS (Gero & Kannengiesser, 2004) afin d'illustrer la relation entre le modèle de pratique réflexive de Schön et le modèle situé FBS (Gero & Kannengiesser, 2008). Dans la section 3.4, nous développerons pas à pas le modèle de co-conception situé FBS (Gero &

Milovanovic, 2020) qui nous permettra d'appréhender le concept proposé de pratique réflexive mentorée.

3.3.1 L'ontologie FBS

L'ontologie FBS (Gero, 1990) est définie par six éléments de description de l'objet conçu et de ses variables ou *design issues*, qui représentent une forme abstraite de connaissances en conception :

- les *Requirements* (R) correspondent au cahier des charges, aux règles, au programme du projet.
- les *Functions* (F) correspondent à la finalité de l'objet, ce à quoi il sert. Cet élément représente l'objet conçu à un niveau conceptuel. « Apporter un puits de lumière » est un exemple de *Function*.
- les *Behaviors* (B) sont la manière dont se comporte l'objet, ils sont dérivés des éléments de l'objet (*Behavior form structure* (Bs)) ou ils projettent une intention de comportement de l'objet (*expected Behavior* (Be)). La « position et l'orientation de l'ouverture » ou la « qualité de la lumière voulue » sont des *Behaviors* de la *Function* que nous avons définie.
- les *Structures* (S) sont les éléments de l'objet conçu ou leurs relations (système d'éléments). « Un système d'ouvertures zénithales » est un exemple de *Structure* répondant à la *Function* d'apporter un puits de lumière.
- les *Descriptions* (D) sont les documents graphiques produits représentant l'objet.

La transition d'un élément vers un autre illustre un ensemble de huit processus de conception (Figure 8) :

- *Formulation* est la transition de (R) à (F) ou de (F) à (Be), c'est une transformation des *Requirements*, exprimés dans *Function,* c'est-à-dire dans le concept de l'objet ou une transformation d'une *Function* dans un *expected Behaviors* (Be), qui est une intention de comportement de l'objet.
- *Synthesis* est la transition de (Be) à (S), c'est la transformation d'une intention de comportement de l'objet en une solution exprimée par un élément *Structure*.
- *Analysis* est la transition de (S) à (Bs), c'est la description d'un effet actuel produit par la solution synthétisée et formalisée dans un élément *Structure*.

- *Evaluation* est la transition de (Be) à (Bs) ou de (Bs) à (Be), c'est une comparaison entre l'intention de comportement de l'objet et l'effet actuel dérivé de la solution formalisée dans un élément *Structure*, ou inversement.
- *Documentation* est la transition de (S) à (D), c'est la production d'une représentation externe de la solution synthétisée dans un élément *Structure*.
- *Reformulation 1* est la transition de (S) à (S), cela exprime un changement des variables de la solution synthétisée dans un élément *Structure* si celle-ci n'est pas satisfaisante.
- *Reformulation 2* est la transition de (S) à (Be), cela exprime un changement des variables de l'intention de comportement de l'objet si la solution actuelle formalisée dans un élément *Structure* n'est pas satisfaisante.
- *Reformulation 3* est la transition de (S) à (F), cela exprime un changement des variables de la finalité de l'objet, de son concept exprimé dans *Function* si la solution actuelle formalisée dans un élément *Structure* n'est pas satisfaisante.

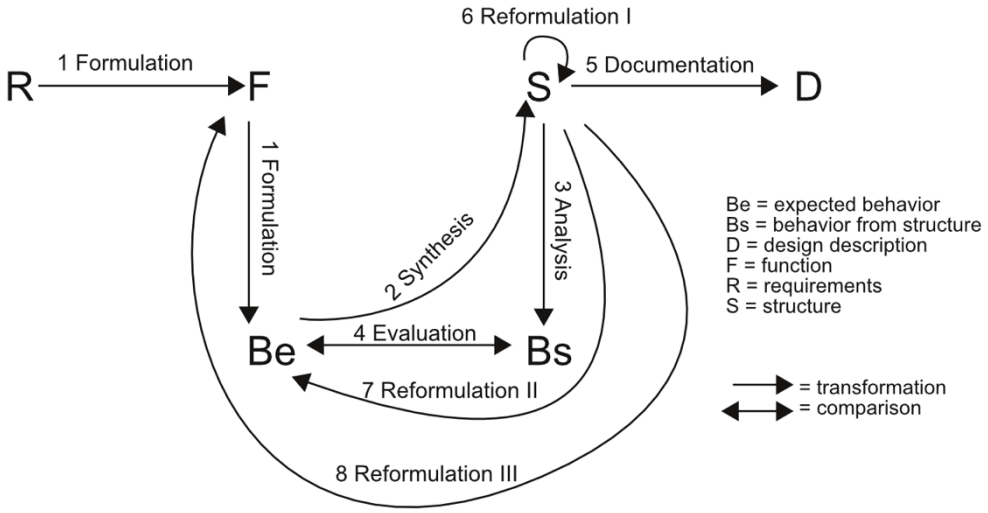


Figure 8 Ontologie FBS basée sur (Gero, 1990)

3.3.2 Rendre compte de la pratique réflexive par le modèle situé FBS

Les processus cognitifs permettant la transformation d'un élément de l'ontologie FBS en un autre sont situés par rapport à l'environnement de conception externe (dimension sociale) et l'environnement de conception interne (dimension personnelle liée à l'expérience du concepteur). L'ontologie située FBS prend en compte la notion de situation à un niveau

personnel dans sa version révisée (Gero & Kannengiesser, 2004). Trois *worlds* ou espaces sont introduits, ainsi que trois processus cognitifs montrant les relations entre ces espaces (Figure 9). Dans chacun de ces espaces, le projet est représenté par sa fonction (F), son comportement (Be ou Bs) et sa structure (S). Seulement dans l'espace externe s'y ajoute les descriptions (D) qui sont les représentations graphiques ou numériques du projet et les contraintes ou *requirements* (R) liées à la description du programme ou aux exigences du client.

L'*external world* ou espace externe est composé des représentations externes du projet, elles sont en dehors du concepteur. L'*interpreted world* ou espace d'interprétation mentale du projet représente la construction interne du projet par rapport à l'expérience sensorielle, les perceptions et concepts acquis de chaque concepteur. L'*expected world* ou espace des intentions de projet contient les actions imaginées de la conception et leurs effets prévus. Ils sont prédits dans cet espace qui inclut l'ensemble des solutions potentielles imaginées par le concepteur. Il se situe à l'intérieur de l'espace d'interprétation mentale du projet.

Quatre processus expriment les relations entre ces trois espaces. *Interpretation* représente l'interaction entre sensations, perceptions, concepts acquis et l'espace externe. Ce processus transforme des variables de l'espace externe dans l'espace d'interprétation mentale du projet par le spectre de la sensation, la perception et les concepts existants. La notion de mémoire constructive illustre un processus d'interaction entre concepts interprétés par rapport à la situation actuelle et concepts interprétés basés sur l'expérience passée (processus *constructive memory*). L'interprétation et le processus de mémoire constructive sont des processus de type va-et-vient (*push-pull*). La structure actuelle de la représentation interprétée du projet, sous la forme FBS, donne un filtre de lecture de la situation actuelle. À travers cette structure, le concepteur voit l'état présent du projet (*interprétation*). S'il y a une dissonance entre la structure interprétée actuelle et la structure interprétée par rapport à l'espace externe actuel, il peut y avoir un ajustement de la structure initiale interprétée (*constructive memory*). Le processus de *focus* exprime une implication des variables de l'espace d'interprétation mentale du projet dans l'espace des intentions de projet. Il suggère une action dans l'espace externe. Enfin, *action* implique un changement dans l'espace externe par rapport aux attentes définies dans l'espace des intentions de projet.

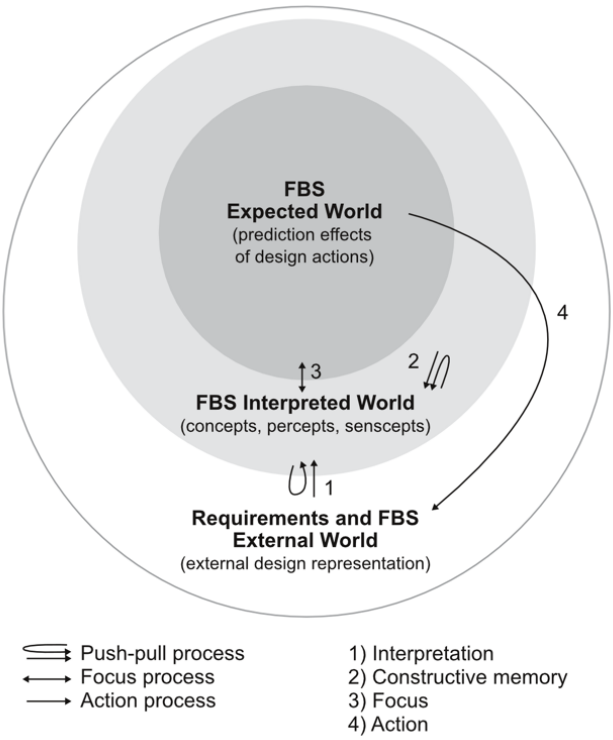


Figure 9 **Processus de conception situés basé sur Gero & Kannengiesser, 2004**

Dans l'article *An ontological account of Schön's reflection in designing*, Gero & Kannengiesser (2008) soulignent dans le discours de Petra des marqueurs des quatre processus de transitions entre les trois espaces de conception définis. Petra explique à Quist que son organisation de salles de cours rectangulaires forme des espaces trop étroits donc elle propose un diagramme avec des salles de cours en L. Dans la Figure 10, un extrait en anglais du protocole de Petra est illustré du diagramme qu'elle a apporté lors de sa session critique avec Quist. Cet extrait est exploité par Gero & Kannengiesser (2008) pour exemplifier les processus de conception situé qu'ils proposent : *interpretation*, *constructive memory*, *focus* et *action*. Pour ces auteurs, l'évaluation de la première version de projet et la nouvelle proposition impliquent les processus d'*interpretation* (salle trop petite) et de mémoire constructive où Petra se base sur ses schémas de conception actuels pour générer une nouvelle solution, un diagramme avec salles de cours en L. L'externalisation par le dessin de ce nouveau plan fait référence aux processus de *focus* et *action*.

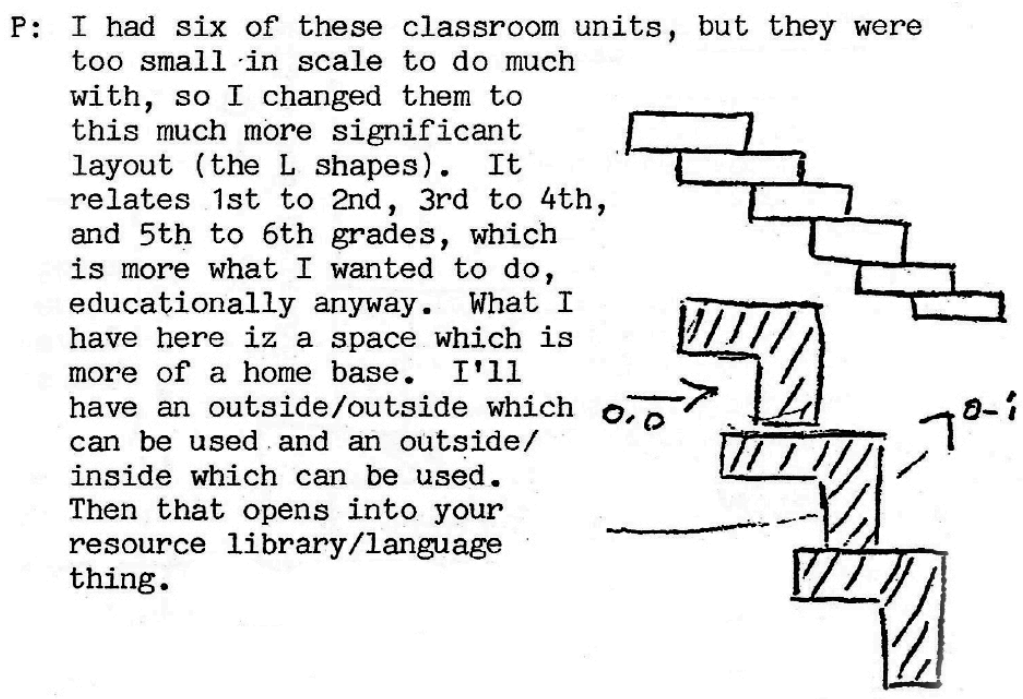


Figure 10 Extrait du protocole de Petra et Quist (Schön, 1981) exploité par Gero & Kannengiesser (2008) pour exemplifier les processus de conception situés FBS.

Le modèle de conception situé FBS présenté en Figure 9 (Gero & Kannengiesser, 2004) se calque sur les processus de pratique réflexive de Schön (1983), *see* > *move and sketch* > *see* (Tableau 2). *See* ou voir par l'interaction avec les représentations externes pour donner un sens aux informations reconnues se retrouvent dans le processus d'*interpretation* et de *mémoire constructive*, qui est un processus de va-et-vient entre espace externe et espace d'interprétation mentale du projet, et de va-et-vient entre projet interprété et schémas de conception acquis. La notion de *move and sketch* fait écho à l'enchaînement du processus *focus* et *action*. Le *focus* implique une interaction entre l'espace d'interprétation mentale du projet et l'espace des intentions de projet, ce qui provoque un changement dans l'espace externe. La deuxième forme de voir pour évaluer le résultat de la dernière action de conception est analogue au processus d'*interpretation* et de *mémoire constructive*.

Tableau 2 Interprétation de la relation entre processus FBS situés et pratique réflexive

Ontologie FBS située (Gero and Kannengiesser, 2004)	*Interpretation* : push pull entre espace externe (représentations) et espace d'interprétation mentale (perceptions, schémas de conception) *Constructive memory* : *push pull* à l'intérieur du monde d'interprétation mentale	*Focus* : interaction entre espace d'interprétation mentale (perceptions, schémas de conception) et espace des intentions (prédictions des effets) *Action* : changement dans l'espace externe par rapport à l'espace des intentions	*Interpretation* : push pull entre espace externe (représentations) et espace d'interprétation mentale (perceptions, schémas de conception) *Constructive memory* : *push pull* à l'intérieur du monde d'interprétation mentale
Partique reflexive (Schön, 1983)	*See* : saisir la situation de conception, donner un sens à la situation par rapport à ses schémas de conception	*Move and sketch* : action de conception accompagnée de l'externalisation d'un concept	*See* : évaluer par rapport à ces schémas de conception

Les huit processus de l'ontologie FBS (Figure 11(a)) peuvent être transposés sur l'espace situé de conception (Figure 11(b)). Ils sont étendus à vingt processus de conception situés pour prendre en compte les actions cognitives (*interpretation*, *constructive memory*, *focus*, *action*) impliquées par l'intégration de la notion de situation dans le modèle (Gero & Kannengiesser, 2004). Le cadre proposé par Gero & Kannengiesser (2004) a été précisé pour construire le modèle de co-conception présenté dans la section suivante. Dans le cadre précédent, le comportement attendu (Be) et le comportement dérivé de la structure (Bs) étaient regroupés sous le même comportement dans l'espace d'interprétation mentale et dans l'espace externe. Dans cette version (Figure 11(b)), sept éléments de conception se trouvent dans le monde extérieur : les *Requirements* de l'élément *Fonction* (FR^x), les *Requirements* de l'élément *Behavior* (BR^x), les *Requirements* de l'élément *Structure* (SR^x), l'élément *Function* (F^x), l'élément *expected Behavior* (Be^x), l'élément *Behavior from structure* (Bs^x) et l'élément *Structure* (S^x). Les *Descriptions* (D) sont tous les éléments graphiques représentants les éléments *Function* (F^x), *Behavior* (Be^x et Bs^x) ou *Structure* (S^x).

Les éléments *Function*, *expected Behevior*, *Behavior from structure* et *Structure* ont une instance interprétée F^i, Be^i, Bs^i et S^i qui sont générées par un processus d'interaction avec les éléments du projet représentés dans l'espace externe. Les éléments du projet situés dans l'espace d'interprétation mentale peuvent conduire à une reconsidération des instances des éléments de conception dans l'espace des intentions de projet défini par les éléments *Function* (F^e), *expected Behavior* (Be^e) et *Structure* (S^e). Ce dernier processus est un prérequis

conduisant une action de changement des éléments du projet présents dans l'espace externe, que ce soit sur l'élément *Function* (F^x), *Behavior* (Be^x et Bs^x) ou *Structure* (S^x).

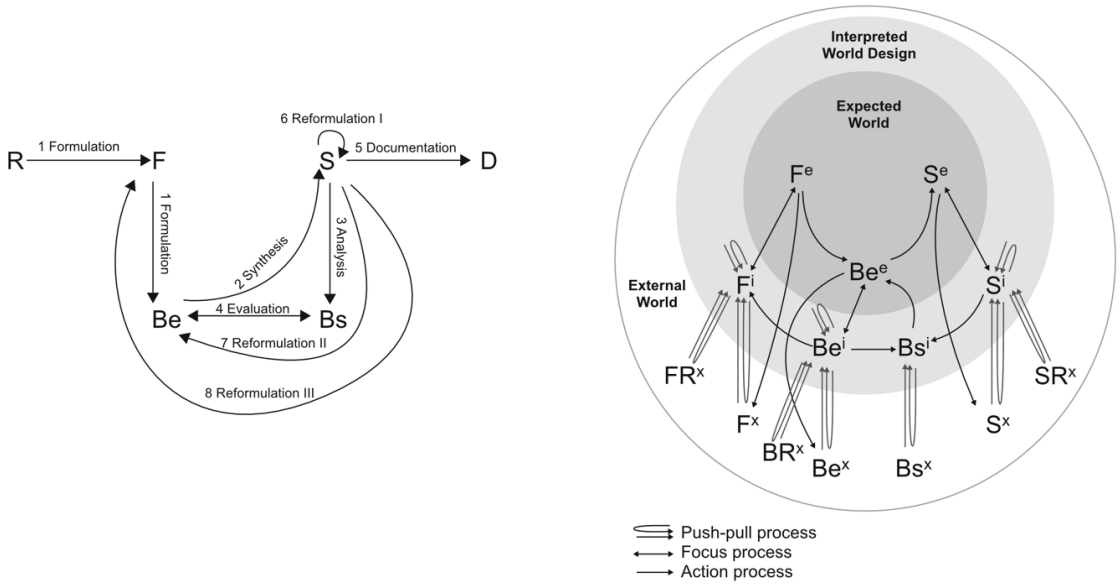


Figure 11 **(a) Ontologie FBS, (b) Modèle situé FBS (basé sur Gero and Kannengiesser, 2004)**

3.4 La pratique réflexive mentorée : proposition d'un modèle descriptif de la session critique

La co-conception est une activité de collaboration séquencée par des processus de conception construits individuellement et des processus de conception co-construits. Lorsque les concepteurs co-conçoivent, ils communiquent à travers le monde extérieur. Chaque concepteur formule des éléments de conception qui auront une incidence sur ses propres processus cognitifs et sur ceux de l'autre concepteur. Pour mieux comprendre la situation de co-conception, nous avons développé un modèle de co-conception situé FBS pour représenter l'activité de conception collaborative (Gero & Milovanovic, 2020). Dans ce qui suit, nous décrivons étape par étape le développement du modèle de co-conception situé FBS. Le modèle proposé est une extension de l'ontologie FBS qui montre comment les processus de co-conception de l'ontologie FBS sont transposés sur le modèle FBS situé. Un processus de conception, dans l'ontologie FBS est la transformation d'un élément de conception spécifique en un autre élément de conception. Pour développer notre modèle, nous considérons qu'un processus de co-conception FBS est illustré par la transformation d'un élément de

conception formulé par un concepteur, en un élément de conception exprimé par un autre concepteur.

3.4.1 Le modèle de co-conception situé FBS

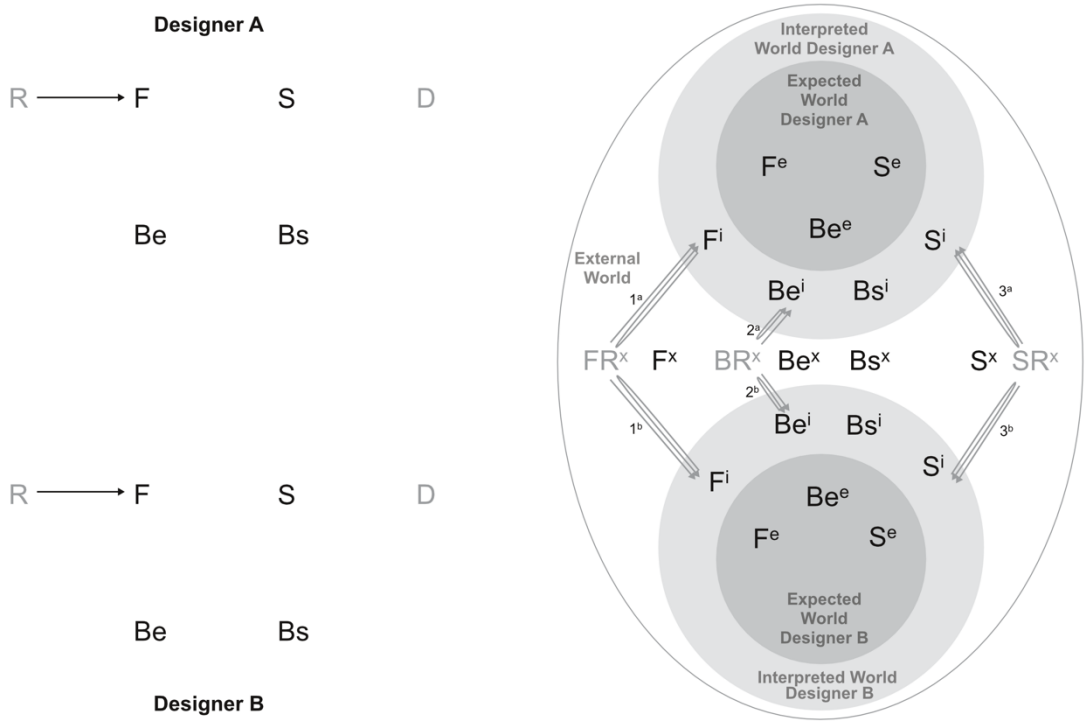
Pour mieux comprendre le développement de notre modèle, prenons l'exemple d'une situation où deux concepteurs collaborent sur la conception d'une salle de lecture pour une bibliothèque. Les descriptions de F, B, et S proposées sont les suivantes :

- *Fonctions* (F) : « apporter une lumière diffuse pour améliorer les conditions de lecture », « améliorer l'ambiance de la salle de lecture avec des vues cadrées sur le paysage » ou « inclure un système de ventilation naturelle ».
- *Expected Behavior* (Be) ou *Behavior derived from structure* (Bs) : « jouer sur l'orientation et l'agencement des fenêtres », « contrôler l'éblouissement lumineux » ou « ajuster la transition et l'accès entre salle de lecture et espaces alentours ».
- *Structures* (S) : « une fenêtre horizontale », « des plafonds ondulés » ou « des lanterneaux coniques incurvés ».

3.4.1.1 Formulation : construction de interpreted Function, Behavior et Structure

Le processus de *Formulation* est défini par deux types de processus dans le cadre théorique FBS : la transformation d'un *Requirements* (R) en *Function* (F) (Figure 12(a)) et/ou la transformation d'un élément *Function* en un élément *expected Behavior* (Be) (Figure 13(a)). Dans le cadre FBS situé, les éléments *Requirements* se situent dans l'espace externe et sont divisés en trois types, les *Requirements* concernant l'élément *Function* (FR^x), l'élément *Behavior* (BRx) ou l'élément *Structure* (SR^x). Dans le cas de la co-conception, le processus de *Formulation* exprimant une transformation d'un élément de *Requirements* (FR^x, BR^x ou SR^x) en un élément *Fonction* (F^i), en un élément *expected Behavior* (Be^i) ou en *Structure* (S^i) demeure un processus de conception individuelle puisque les *Requirements* sont externes aux deux concepteurs (processus 1^a, 1^b, 2^a, 2^b, 3^a, 3^b à la Figure 12(b)). Les processus nommés x^a font référence au concepteur A tandis que les processus nommés x^b font référence au concepteur B. Par exemple, les *Requierements* pour la conception d'une salle de lecture dans une bibliothèque peuvent être interprétés par le concepteur A par la *Function*

(F^i) apporter une lumière diffuse alors que le concepteur B peut l'interpréter par la *Function* (F^i) améliorer l'ambiance de la salle de lecture.

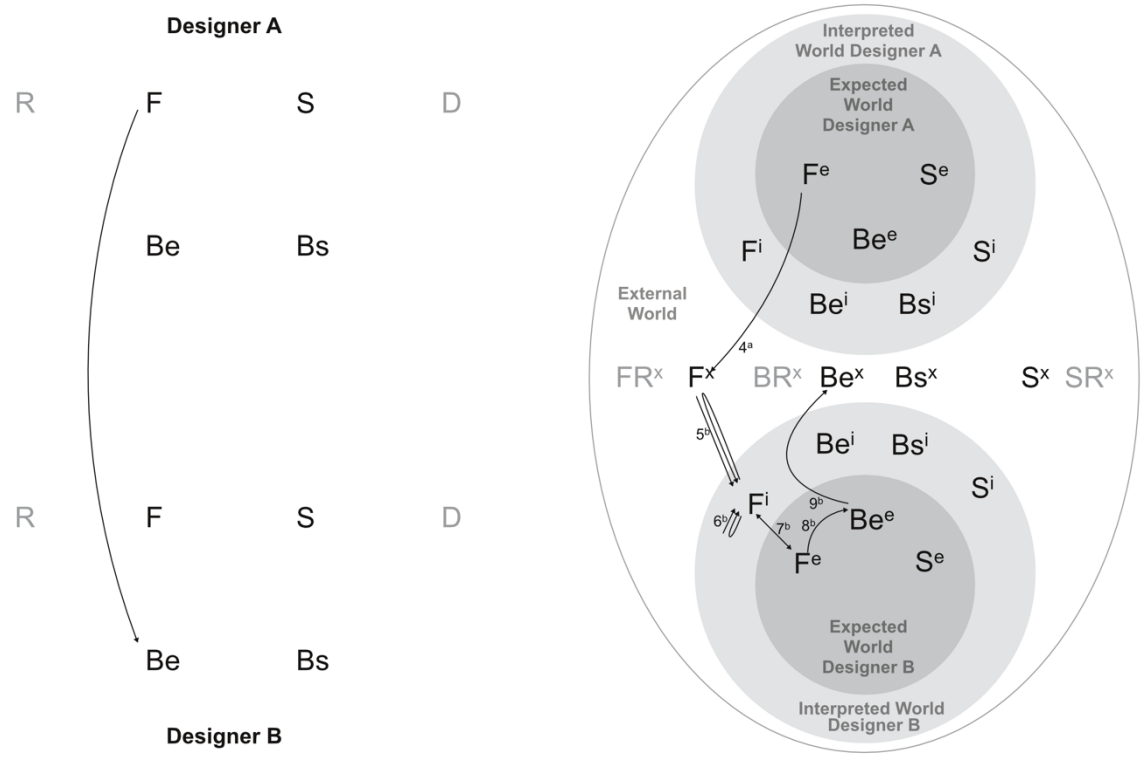


(a) (b)

Figure 12 (a) Processus Formulation FBS, R à F (b) Processus Formulation FBS situé, R à F, Be et S. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.2 Co-construction du processus Formulation (F>Be)

Le processus de *Formulation* décrivant la transformation d'un élément *Function* (F) en un élément *expected Behavior* (Be) peut être co-construit entre deux concepteurs (Figure 13). Le concepteur A formule un élément *Function* (F^x) dans l'espace externe à partir d'un élément *Function* (F^e) dans son espace d'intentions (processus 4^a), par exemple par l'expression de l'importance d'apporter une lumière diffuse pour améliorer les conditions de lecture. Le concepteur B interprète cet élément *Function* (F^x) par un processus *push-pull*, générant un élément *Function* (F^i) dans son espace d'interprétation mentale (processus 5^b). Cette *interpreted Function* (F^i) peut être ajustée par un processus de mémoire constructive (processus 6^b). L'*interpreted Function* (F^i) produit une *expected Function* (F^e) (processus 7^b), qui peut être transformée en un élément *expected Behavior* (Be^e) (processus 8^b). L'*expected Behavior* (Be^e) est ensuite externalisé en un *expected Behavior* (Be^x) externe (processus 9^b). Le concepteur B peut suggérer qu'il est possible de jouer sur l'orientation et l'agencement des fenêtres.

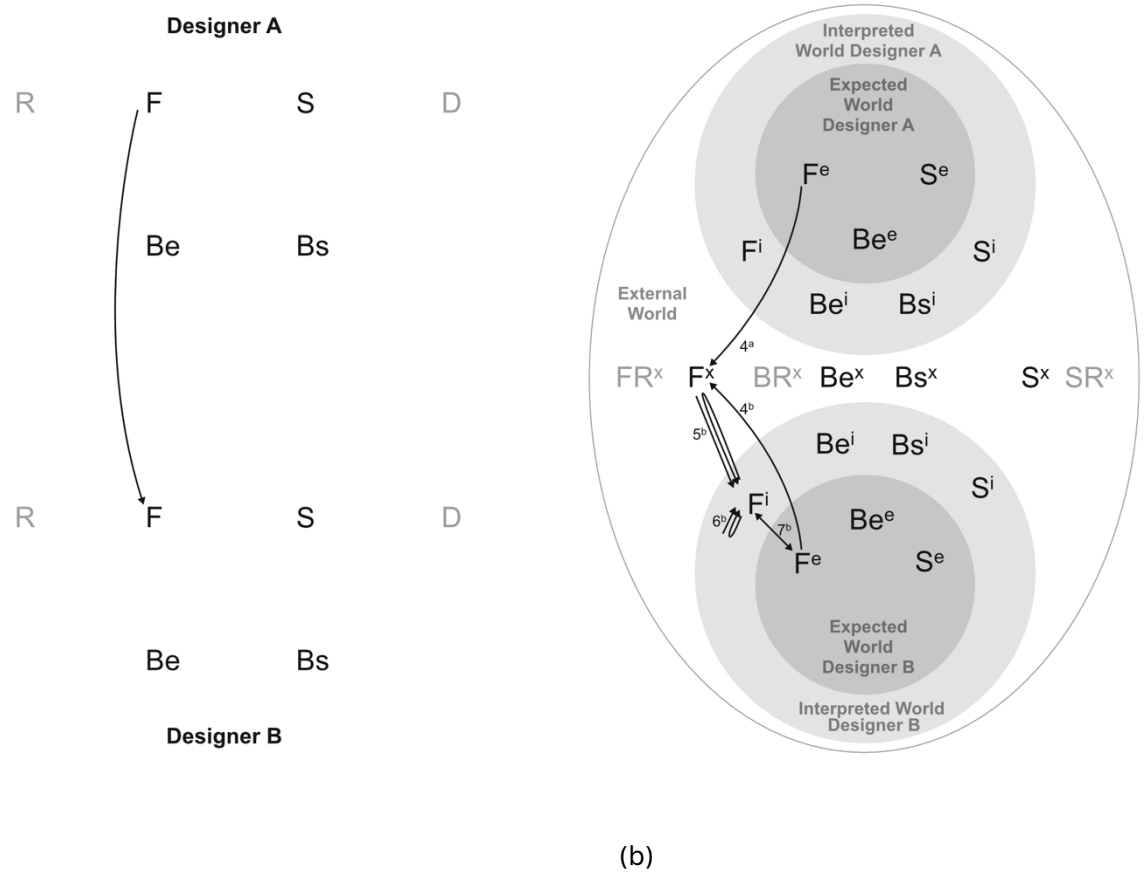


(a) (b)

Figure 13 (a) Processus Formulation de F à Be, (b) Processus situé Formulation de F à Be. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.3 Co-construction du processus Formulation (F>F)

Dans le cas d'une *Formulation* co-construite, la transformation d'une *Function* (F^e) en une autre *Function* (F^e) peut être considérée comme un processus de *Formulation* (Figure 14). Le concepteur A formule une *Function* dans l'espace externe (F^x) à partir d'une *Function* (F^e) située dans son espace des intentions (processus 4^a) par exemple par l'expression de l'importance d'apporter une lumière diffuse pour augmenter les conditions de lecture. Cette *Fonction* (F^x) est interprétée par le concepteur B en une *interpreted Function* (F^i) (processus 5^b) et peut être ajustée par un processus de mémoire constructive (processus 6^b). Cette dernière entraîne un processus de focalisation générant une *expected Function* (F^e) (processus 7^b). Le concepteur B externalise son *expected Function* (F^e) dans l'espace externe, générant une nouvelle *Function* (F^x) (processus 4^b) comme améliorer l'ambiance de la salle de lecture avec des vues cadrées sur le paysage.

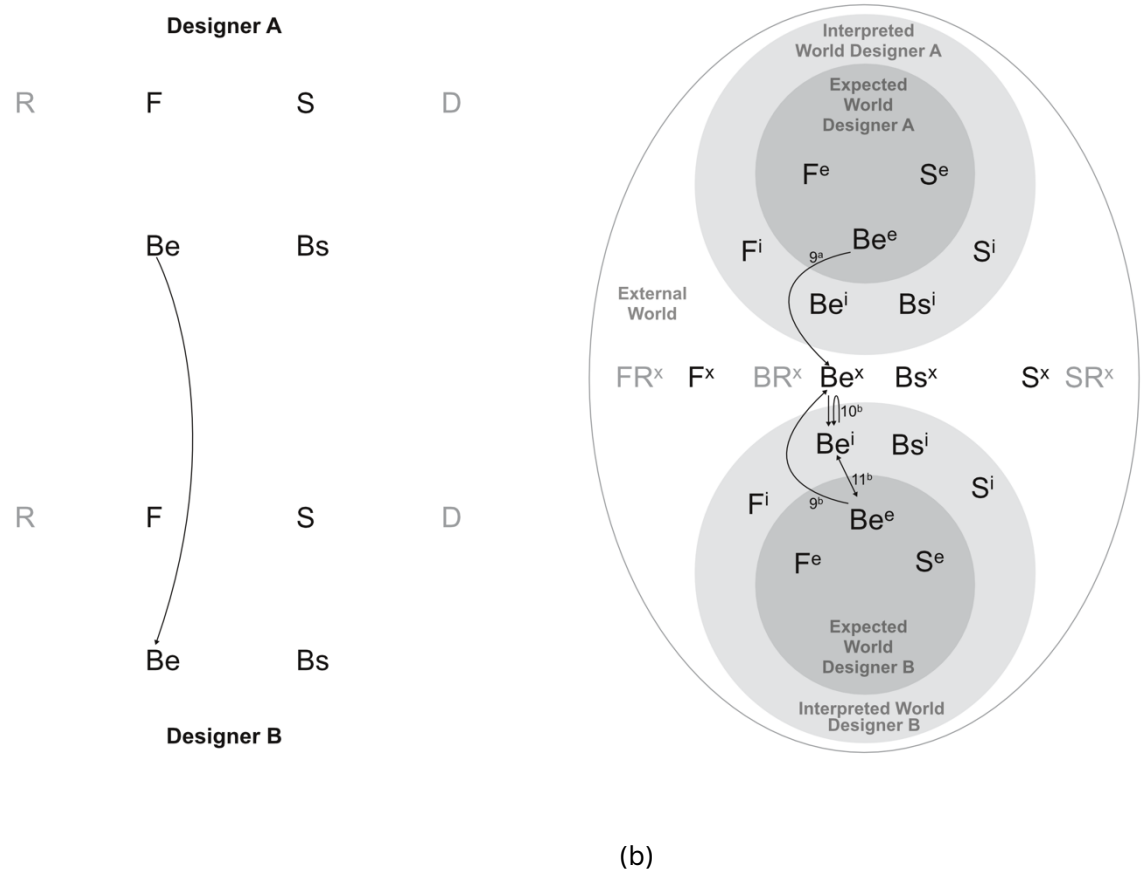


(a) (b)

Figure 14 (a) Processus Formulation de F à F, (b) Processus situé Formulation de F à F. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.4 Co-construction du processus Formulation (Be>Be)

Si elle est co-construite, la transformation d'un *expected Behavior* (Be^e) en un autre *expected Behavior* (Be^e) représente également un processus de *Formulation* (Figure 15). Dans ce cas, le concepteur A formule un comportement dans l'espace externe (Be^x) basé sur un *expected Behavior* (Be^e) dans son monde attendu (processus 9^a). Par exemple, le concepteur A peut exprimer une intention d'ajuster la transition et l'accès entre la salle de lecture et les espaces alentours. Le concepteur B interprète cet élément *expected Behavior* externe (Be^x) en un *expected Behavior* interprété (Be^i) (processus 10^b). Cette interprétation entraîne l'instanciation d'un élément *expected Behavior* (Be^e) (processus 11^b). Le concepteur B communique ensuite l'*expected Behavior* (Be^e) dans l'espace externe (processus 9^b), qui peut être une contre-proposition d'intention de projet comme la modification des hauteurs sous-plafond pour marquer la transition entre les deux espaces.

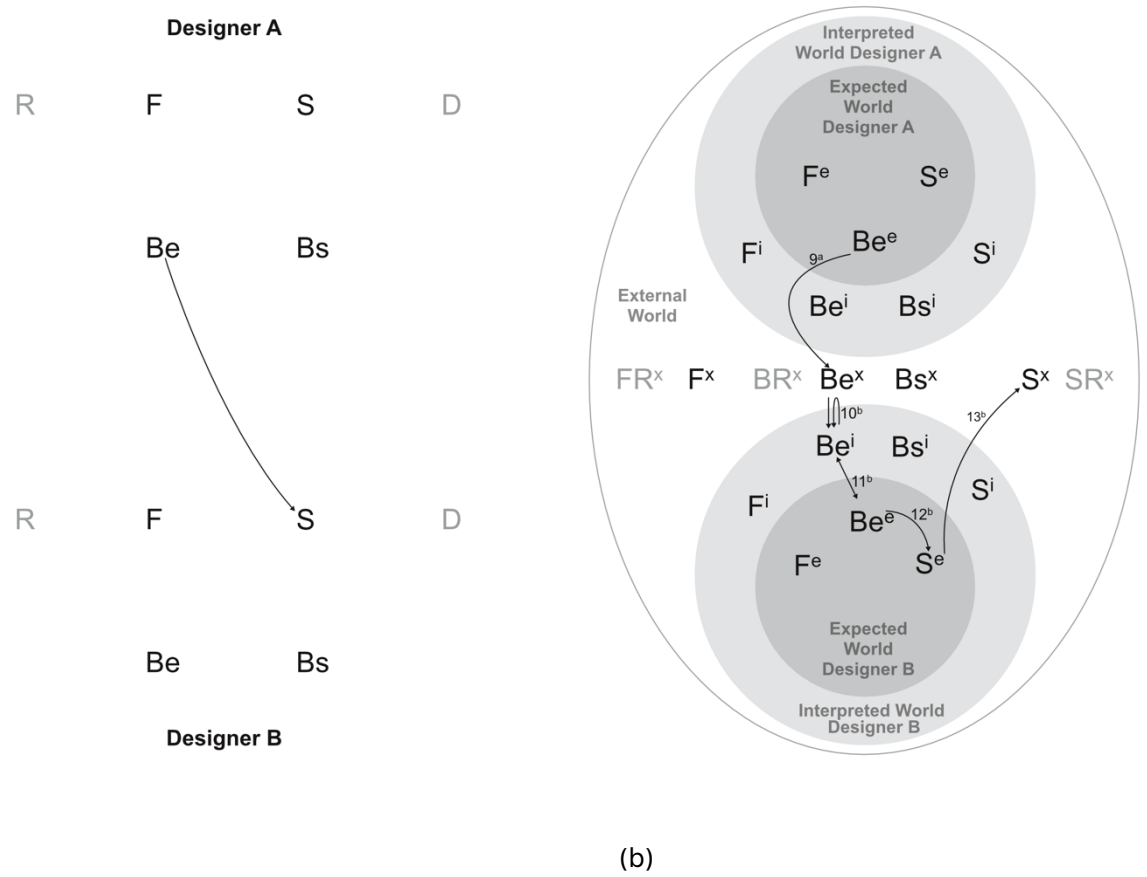


(a) (b)

Figure 15 (a) Processus Formulation de Be à Be, (b) Processus situé Formulation de Be à Be. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.5 Co-construction du processus Synthesis

Un processus de conception *Synthesis* co-construit est produit par un ensemble de processus (Figure 16). Le concepteur A formule un *expected Behavior* (Be^x) dans l'espace externe basé sur un élément *expected Behavior* (Be^e) dans son espace d'intentions (processus 9^a), qui peut être un questionnement sur comment contrôler l'éblouissement lumineux. Le concepteur B transforme cet *expected Behavior* (Be^x) en un *expected Behavior* (Be^i) interprété (processus 10^b), ce qui entraine la formulation d'un *expected Behavior* (Be^e) dans son espace d'intentions (processus 11^b). Cet *expected Behavior* (Be^e) est transformé en une *expected structure* (S^e) (processus 12^b), qui est ensuite externalisée par le concepteur B en une *structure* (S^x) (processus 13^b), exprimée par exemple par une proposition de disposition de lanterneaux coniques.

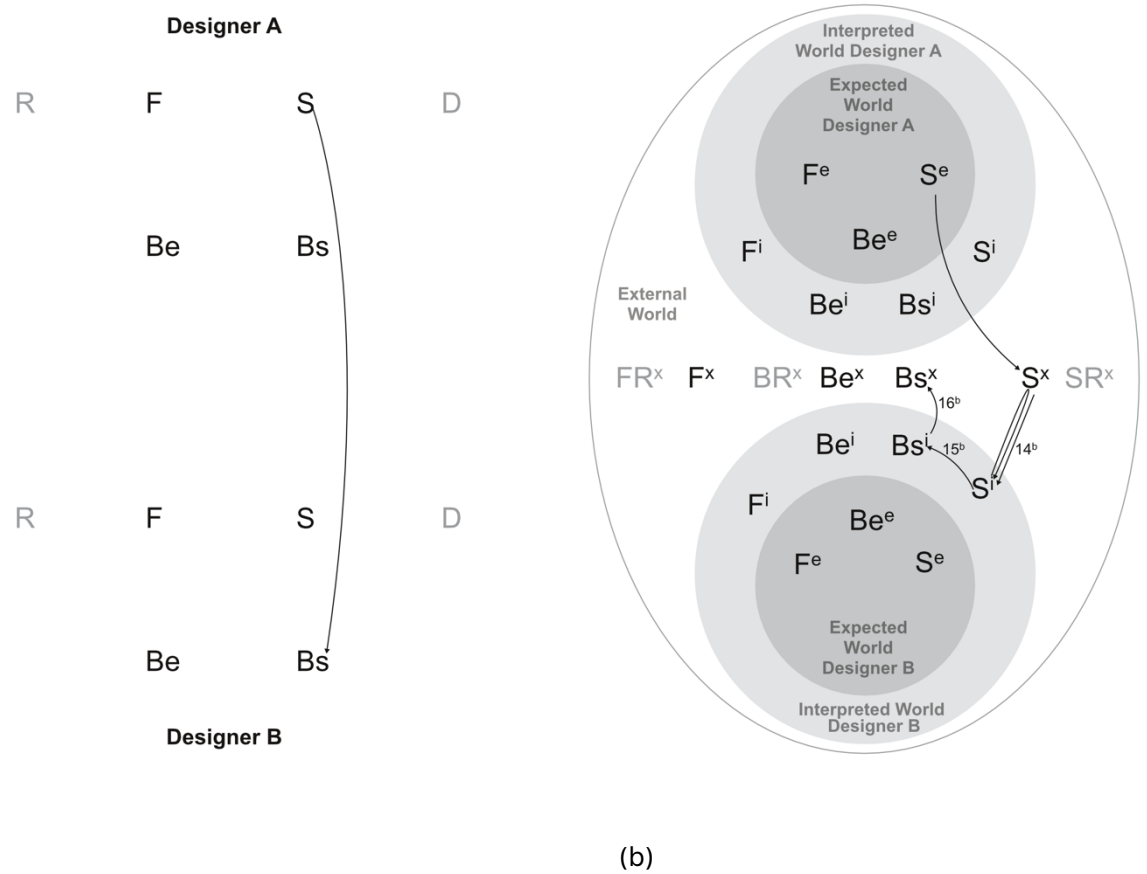


(a) (b)

Figure 16 (a) Processus Synthesis, (b) Processus situé Synthesis. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.6 Co-construction du processus Analysis

L'analyse co-construite illustre une transformation d'une *Structure* (S) proposée par un concepteur en un *Behavior from structure* (Bs) défini par un autre concepteur (Figure 17). Lorsque le concepteur A formule une *Structure* (S^x) dans l'espace externe à partir d'une *Structure* (S^e) dans son espace d'intentions (processus 13^a), par exemple la disposition de plafonds ondulés, le concepteur B peut l'interpréter en une *Structure* (S^i) (processus 14^b) qui va générer un *Behavior from structure* interprété (Bs^i) (processus 15^b). Ce *Behavior from structure* (Bs^i) est ensuite externalisé par le concepteur B dans un *Behavior from structure* (Bs^x) (processus 16b), se référant par exemple à la qualité de ce plafond pour réduire la propagation du bruit et de l'écho.

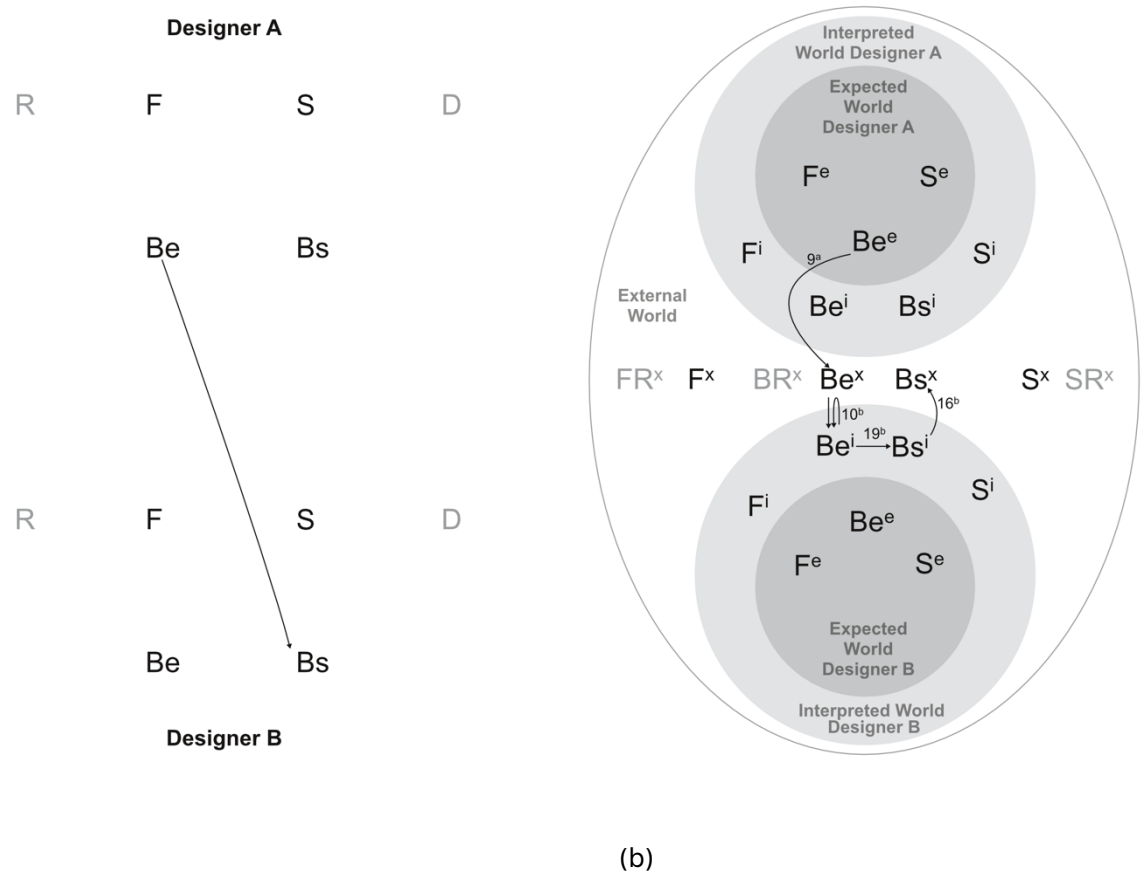


(a) (b)

Figure 17 (a) Processus Analysis, (b) Processus situé Analysis. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.7 Co-construction du processus Evaluation

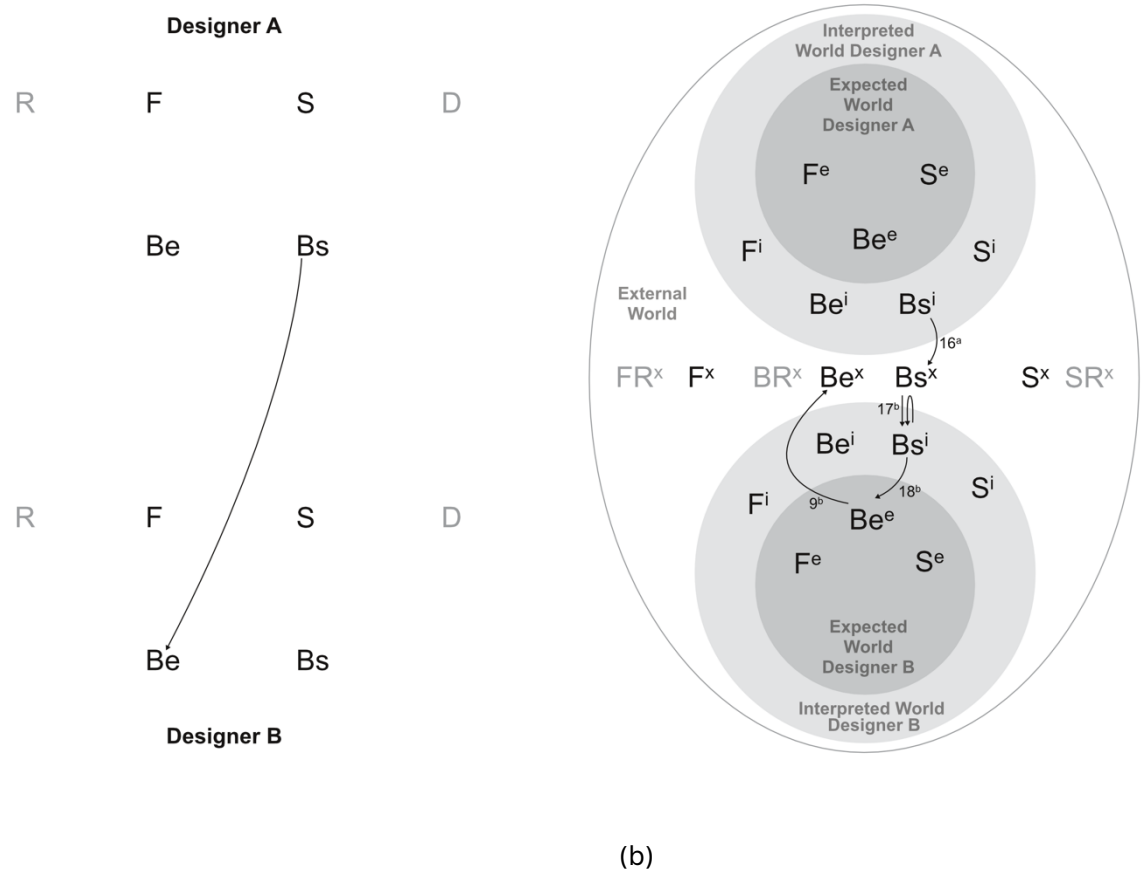
En co-conception, l'évaluation co-construite peut être une comparaison entre un *expected Behavior* (Be) généré par un concepteur, par exemple contrôler la propagation du bruit dans la salle de lecture et *Behavior from structure* (Bs) formulé par un autre concepteur, comme la qualité d'un plafond ondulé pour réduire l'écho (Figure 18), ou inversement (Figure 19). Dans le premier cas, le concepteur A exprime un *expected Behavior* (Be^x) dans l'espace externe basé sur un *expected Behavior* (Be^e) de son espace d'intentions (processus 9^a). Le concepteur B interprète l'*expected Behavior* (Be^x) en un *expected Behavior* interprété (Be^i) (processus 10^b) qui est comparé à un *Behavior from structure* (Bs^i) (processus 19^b). Le *Behavior from structure* (Bs^i) est ensuite communiqué dans l'espace externe par un (Bs^x) (processus 16^b).



(a) (b)

Figure 18 (a) Processus Evaluation de Be à Bs, (b) Processus situé Evaluation de Be à Bs. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

Dans le second cas, le concepteur A exprime un *Behavior from structure* (Bs^x) dans l'espace externe à partir de *Behavior from structure* (Bs^i) défini dans son espace d'intentions (processus 16^a). Le *Behavior from structure* (Bs^x) est interprété par le concepteur B (processus 17^b). L'instance *Behavior from structure* (Bs^i) est ensuite comparée à un *expected Behavior* (Be^e) dans l'espace d'intentions du concepteur B (processus 18^b). L'*expected Behavior* (Be^e) est ensuite externalisé par le concepteur B dans un *expected Behavior* (Be^x) dans l'espace externe (processus 9^b).

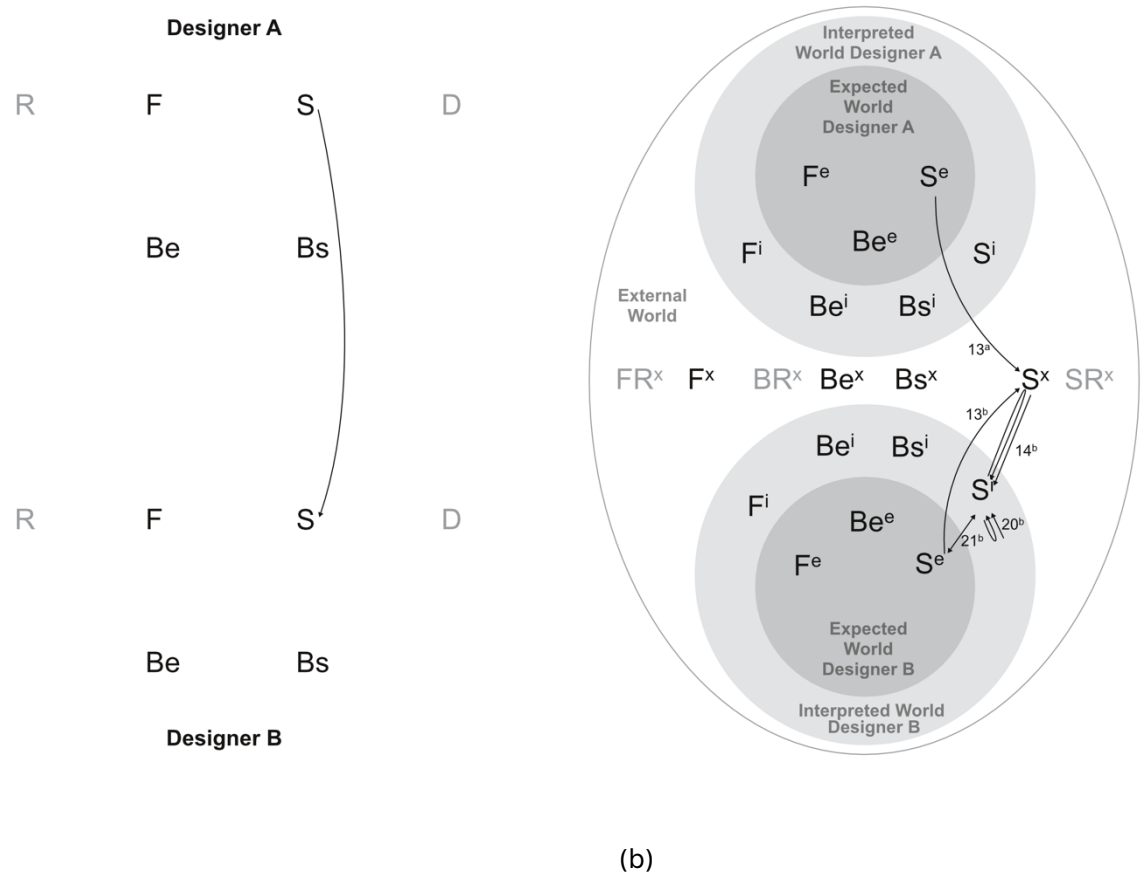


(a) (b)

Figure 19 (a) Processus Evaluation de Bs à Be, (b) Processus situé Evaluation de Bs à Be. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.8 Co-construction du processus Reformulation 1

La *Reformulation 1* implique la transition d'une *Structure* (S) en une autre *Structure* (S). Dans une situation de co-conception, la *Reformulation 1* implique qu'un concepteur formule un nouvel élément *Structure* (S) à partir d'un élément *Structure* (S) généré par un autre concepteur (Figure 20). Le concepteur A génère une *Structure* (S^x) dans l'espace externe basée sur une *expected Structure* (S^e) (processus 13^a), par exemple la description d'une fenêtre horizontale cadrant une vue sur le paysage. Le concepteur B interprète la *Structure* (S^x) du concepteur A en une *Structure* interprétée (S^i) (processus 14^b). La *Structure* interprétée (S^i) générée peut être adaptée par un processus de mémoire constructive (processus 20^b) ce qui produit une *expected Structure* (S^e) (processus 21^b). Cette *expected Structure* (S^e) est ensuite formulée par le concepteur B dans l'espace externe dans un élément *Structure* (S^x) par le concepteur B (processus 13^b), comme la proposition de disposer un lanterneau conique à la place de la fenêtre horizontale.

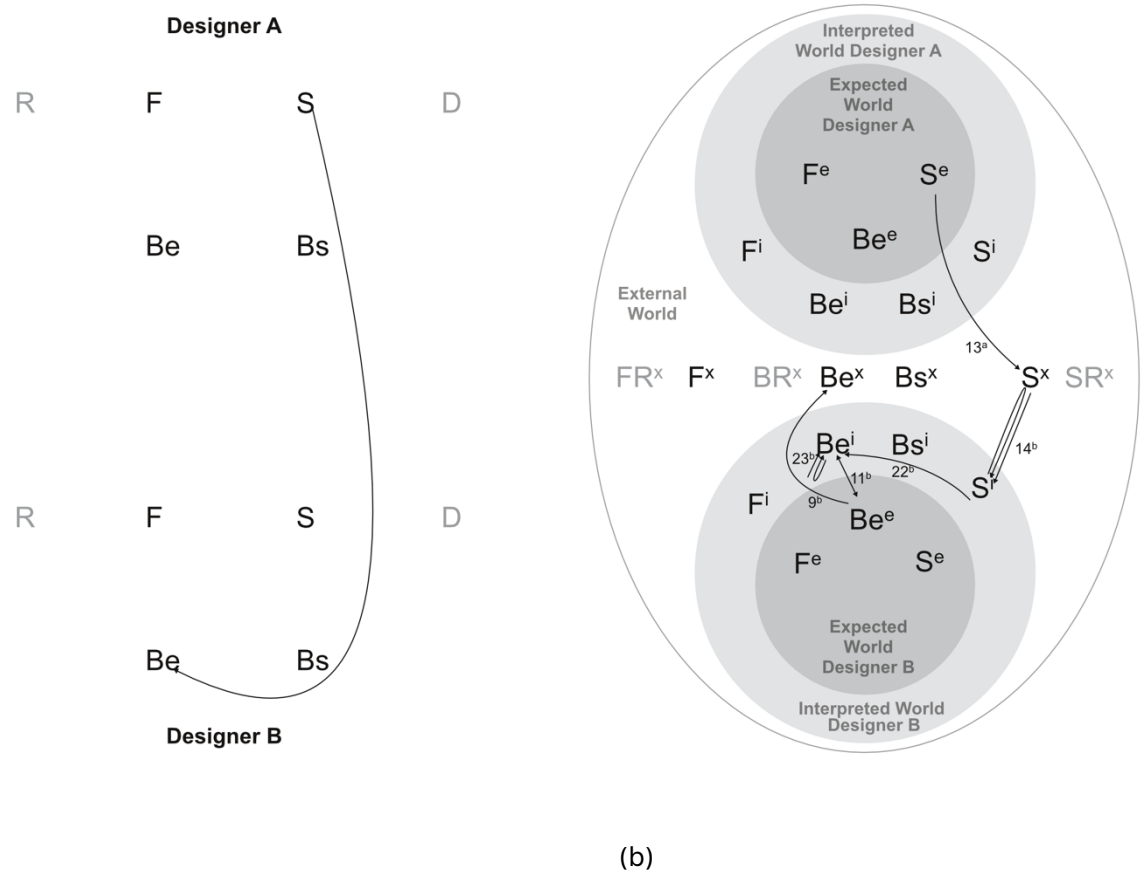


(a) (b)

Figure 20 (a) Processus Reformulation 1, (b) Processus situé Reformulation 1. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.9 Co-construction du processus Reformulation 2

Le processus de conception *de Reformulation 2* se traduit par un changement des variables d'un *expected Behavior* (Be) basé à partir d'un élément *Structure* (S). Dans la situation de co-conception, un concepteur formule l'élément *Structure* (S) que l'autre concepteur interprète pour reformuler un *expected Behavior* (Be) (Figure 21). Le concepteur A génère une *Structure* (S) dans l'espace externe (S^x) basée sur une *expected Structure* (S^e) (processus 13^a) comme la disposition de lanterneaux coniques en toiture. Le concepteur B interprète la *Structure* (S^x) du concepteur A en une *Structure* interprétée (S^i) (processus 14^b). Cette *Structure* interprétée (S^i) reformule un *expected Behavior* (Be^i) (processus 22^b) qui peut être ajusté par un processus de mémoire constructive (processus 23^b) avant de produire un *expected Behavior* (Be^e) dans l'espace des intentions du concepteur B (processus 11^b). L'*expected Behavior* (Be^e) est ensuite formulé dans l'espace externe par le concepteur en un *expected Behavior* (Be^x) (processus 9^b), qui peut être la proposition d'ajuster l'ouverture des lanterneaux coniques pour augmenter l'apport lumineux dans la salle de lecture.

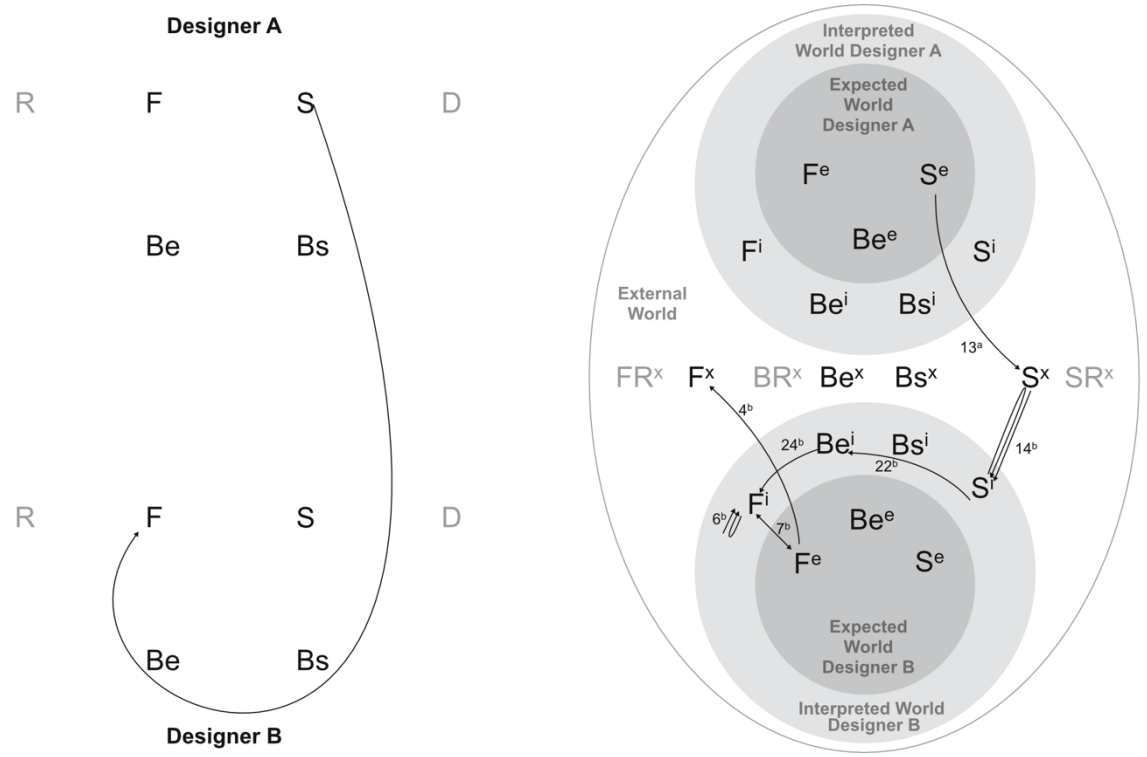


(a) (b)

Figure 21 **(a) Processus Reformulation 2, (b) Processus situé Reformulation 2.** La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

3.4.1.10 Co-construction du processus Reformulation 3

Le processus de conception *Reformulation 3* exprime une reformulation d'une *Function* (F) basée sur un élément *Structure* (S). Dans une situation de co-conception, le premier concepteur produit une *Structure* (S) qui conduit à la reformulation d'une *Function* (F) produite par le second concepteur (Figure 22). Le concepteur A formule une *Structure* (S^x) dans l'espace externe basée sur une *expected Structure* (S^e) (processus 13^a). Nous pouvons prendre le même exemple de lanterneaux coniques en toiture. La *Structure* externe (S^x) est interprétée par le concepteur B dans une *Structure* interprétée (S^i) (processus 14^b), qui génère un *expected Behavior* (Be^i) dans l'espace d'interprétation mentale (processus 22^b). Cette instance d'*expected Behavior* (Be^i) est reformulée dans une *Function* interprétée (F^i) (processus 24^b). La *Function* (F^i) du concepteur B peut être ajustée par un processus de mémoire constructive (processus 6^b) avant de produire une *expected Function* (F^e) (processus 7^b). L'*expected Function* (F^e) est externalisée en une fonction (F^x) (processus 4^b) par le concepteur B, qui peut suggérer que les lanterneaux pourraient intégrer un système de ventilation naturelle.



(a) (b)

Figure 22 (a) Processus Reformulation 3, (b) Processus situé Reformulation 3. La partie gauche du diagramme représente les processus de conception FBS non situés des deux concepteurs et la partie droite du diagramme représente les processus de conception FBS situés des deux concepteurs.

Le processus *Documentation* qui représente la formulation graphique d'une *Structure* (S) dans l'ontologie FBS n'est pas représenté en tant que tel dans le modèle de co-conception situé FBS. Nous considérons que les processus de *Documentation* sont concourants aux processus de verbalisations d'instances de F^x, Be^x, Bs^x ou S^x dans le monde externe. Ils incluent la production d'éléments graphiques mais aussi d'autres actions de représentations des éléments du projet comme la modélisation ou l'utilisation du geste pour représenter un élément.

L'agrégation de tous les processus FBS situés co-construits (Figure 13 à Figure 22) représente les processus de co-conception initiés par le concepteur A et poursuivis par le concepteur B (Figure 23(a)). Le modèle proposé est commutatif, ce qui permet de représenter symétriquement tous les processus FBS co-construits qui ont été initiés par le concepteur B et poursuivis par le concepteur A (Figure 23(b)). La représentation globale du modèle de co-conception FBS situé est une combinaison des processus initiés par le concepteur A et par le concepteur B (Figure 24).

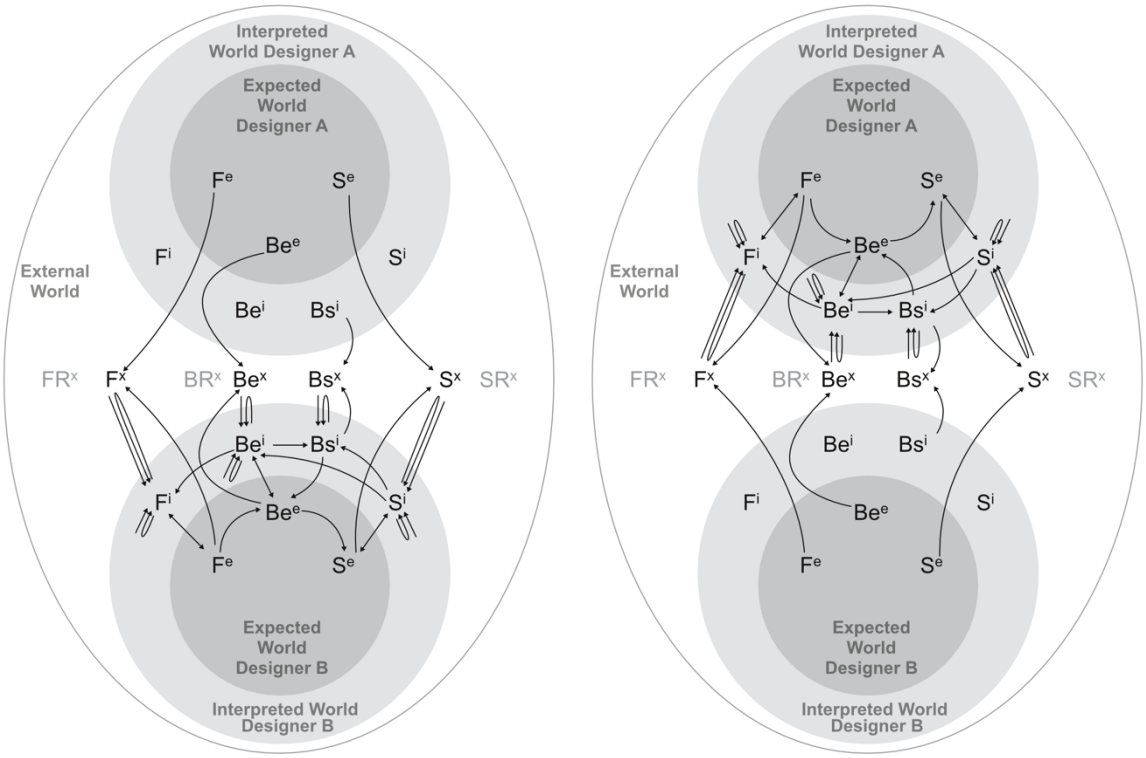


Figure 23 (a) Co-construction des processus FBS situés du concepteur A vers B, (b) et Co-construction des processus FBS situés du concepteur B vers A

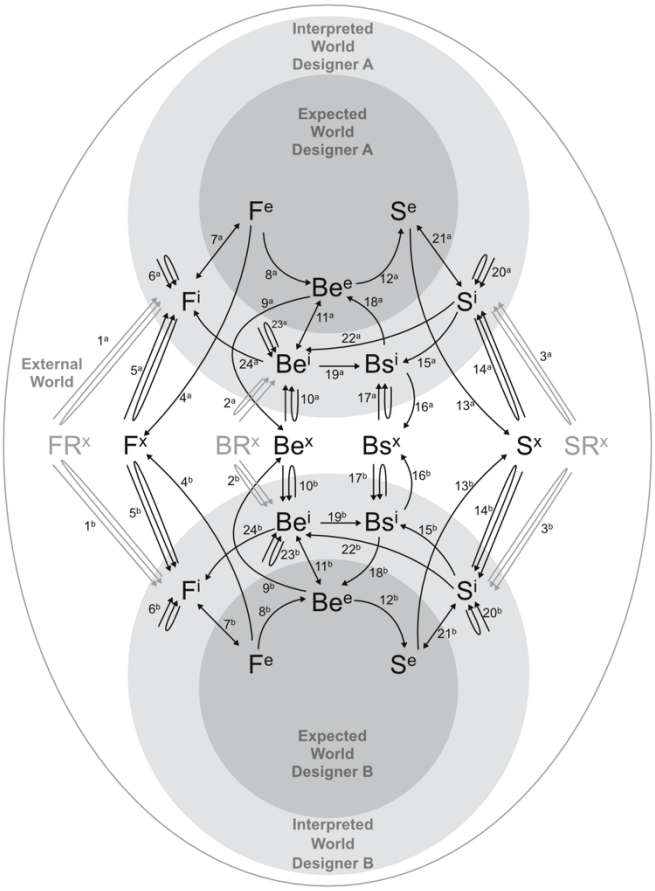


Figure 24 Modèle de co-conception situé FBS

La qualité commutative du modèle de co-conception situé FBS signifie que les actions du concepteur A sont potentiellement équivalentes aux actions du concepteur B. Cependant, comme l'activité de conception est située à un niveau social et personnel, chaque concepteur réagira différemment aux actions de conception de l'autre concepteur, notamment car chacun possède des compétences et des expériences passées différentes. Le modèle de co-conception situé FBS a le potentiel d'illustrer les différences de processus cognitifs de co-conception entre chaque concepteur, quant à la façon dont ils réagissent et interagissent les uns avec les autres à travers une représentation externe commune. Dans ce modèle, l'activité globale de co-conception ainsi que la participation de chaque concepteur sont représentées.

3.4.1.11 Extrait d'une session critique

Le modèle de co-conception situé FBS permet de représenter l'enchaînement des processus cognitifs d'une session de co-conception. Comme nous l'avons défini précédemment, la situation de la session critique en studio de projet peut être décrite par des marqueurs d'une activité de co-conception. Nous avons pris un extrait d'une session critique de projet tiré de notre corpus

pour illustrer cette dynamique et l'intérêt de notre modèle (Figure 25). Comme nous le voyons dans ce court exemple, la situation de la critique peut être représentée comme un enchaînement de processus de conception FBS situés, individuels ou co-construits. Ici, chaque segment de l'échange verbal entre l'enseignant et l'étudiant est associé à une instance FBS située dans l'espace externe (F^x, Be^x, Bs^x, S^x) car chaque participant doit verbaliser ses idées pour les communiquer. Les verbalisations sont donc assignées à un code défini dans l'ontologie FBS avant d'être transposées sur le modèle de co-conception situé FBS. L'extrait conserve la dimension temporelle de la session et il est possible d'agréger l'ensemble des processus formulés dans cette session sur un seul diagramme qui représentera l'ensemble de processus de conception situés FBS pour une seule session critique (Figure 26). Nous pouvons représenter les données quantitatives de distribution de ces processus de manière qualitative sur notre modèle. Le code de couleur du diagramme donne une idée des processus dominants durant la session. Nous notons une différences entre la distribution des processus de conception mis en place par l'enseignant (représenté en haut du diagramme) et ceux de l'étudiant.

Process 1: co-construit
Analysis

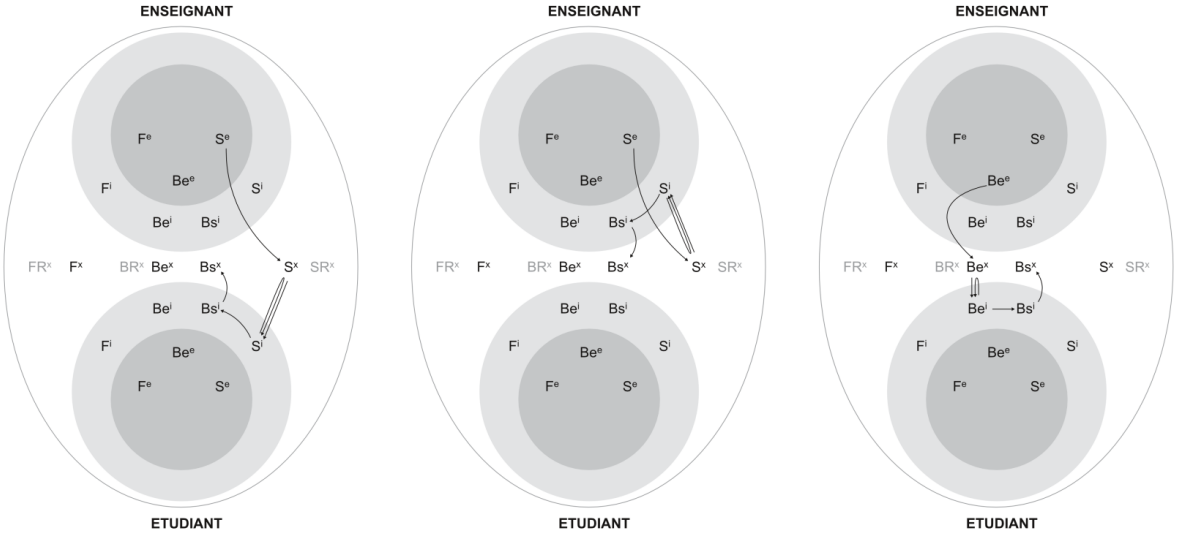
Enseignant: Je vois des alvéoles comme ça. (S)
Etudiant: Oui pour l'instant elle sont dessinées comme ça (Bs).

Process 2: individuel
Analysis

Enseignant: Si je les prends tels quels donc ce sont des trous (S), qui donnent sur le parking (Bs).

Process 3: co-construit
Evaluation Be>Bs

Enseignant: Comment ce qui est en dessous vous allez le travailler dans son épaisseur (Be).
Etudiant: L'idée c'est qu'ils ne creusent pas (Bs).



Process 4: co-construit
Formulation Be>Be

Etudiant: Mais il faudrait qu'ils ressortent aussi (Be).
Enseignant: Alors, ils peuvent creuser, ils peuvent ressortir aussi (Be)...

Process 5: individuel
Analysis

Enseignant: ... et à un moment donné, il peut aussi y avoir un vrai trou (S) qui est lié à une circulation (Bs).

Process 6: individuel
Reformulation 2

Enseignant: Surtout là bas, il y a la trèmie (S), on doit la réinterpréter (Be).

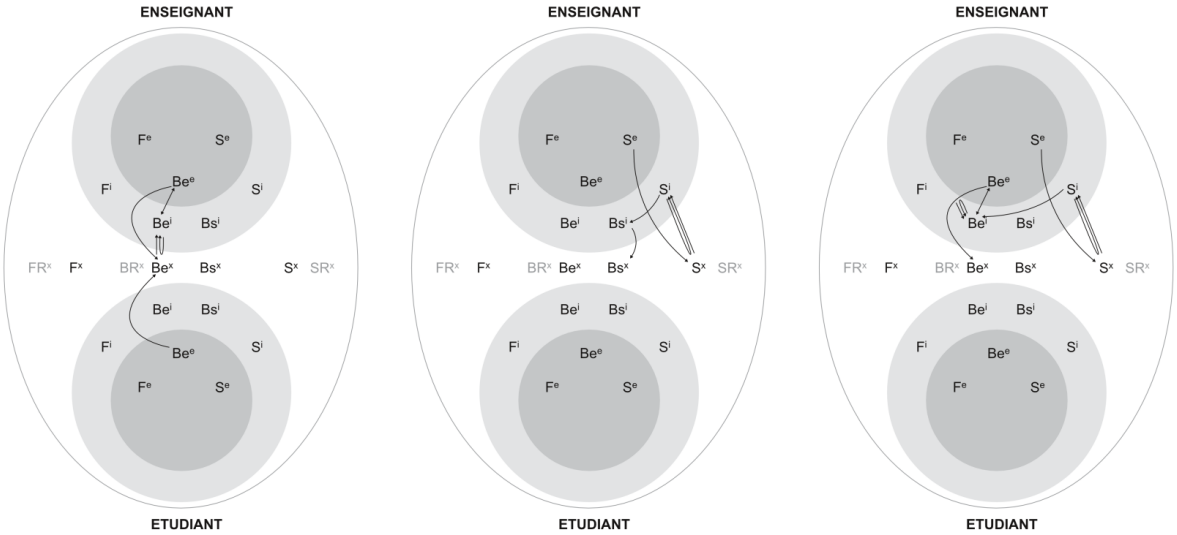


Figure 25 Extrait de session critique montrant l'enchaînement de processus cognitifs de conception et leurs représentations sur le modèle de co-conception situé FBS

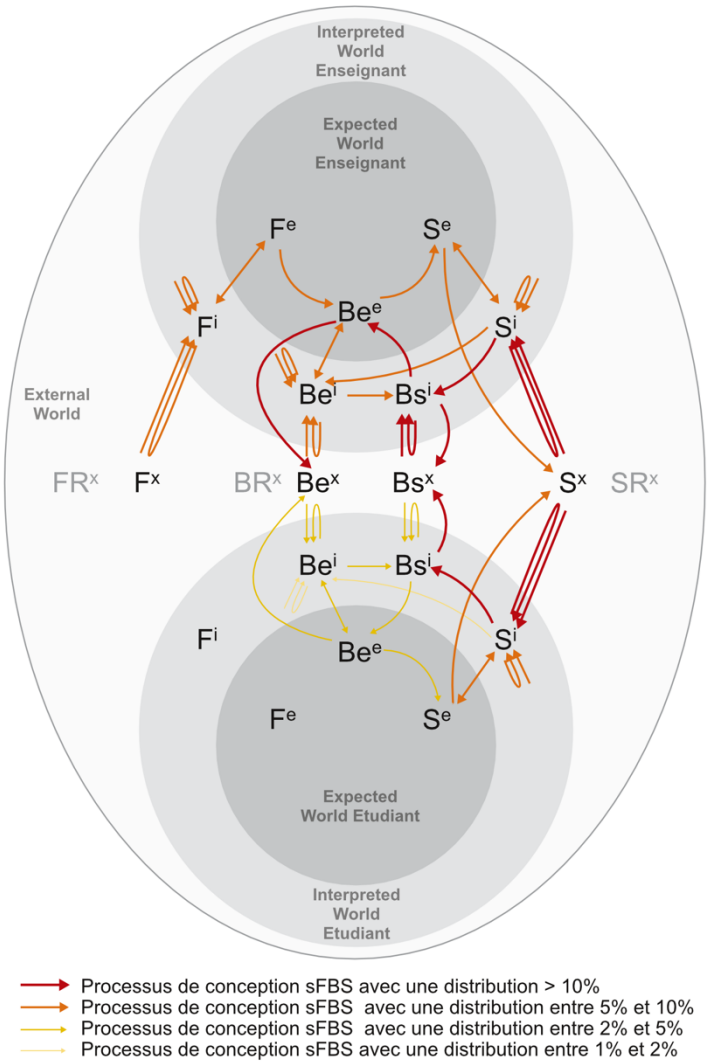


Figure 26 Représentation des processus de conception sFBS dominants pour la session critique donnée en exemple

3.4.2 Portée du modèle : adaptabilité et évolutivité

Le modèle de co-conception situé FBS donne la possibilité de mieux comprendre l'occurrence des actions cognitives lors des sessions de co-conception. Il permet la prise en compte de la session comme une unité mais conserve une représentation avec une granularité fine de la participation de chaque concepteur à l'activité collaborative. L'adaptabilité de notre modèle à diverses situations et son évolutivité sont des atouts pour représenter des situations de co-conception dans divers domaines ainsi que des situations plus complexes de co-conception multi-sites, avec des équipes dont le nombre de concepteurs sera variable.

L'ontologie FBS n'est pas dépendante du domaine de conception. Sa définition par six éléments de conception et huit processus de conception s'adapte à différents domaines : architecture (Yu

& Gero, 2016), pédagogie du studio (Milovanovic & Gero, 2018; Pauwels, Strobbe, & De Meyer, 2015), ingénierie (Hamraz & Clarkson, 2015; Masclet & Boujut, 2010), conception logiciel (Hofmeister *et al.*, 2007) ou encore industrie aérospatiale (Bott & Mesmer, 2019).

L'évolutivité du modèle concernant le nombre de concepteurs participant à l'activité de co-conception le rend indépendant de la taille de l'équipe. La Figure 27 représente le modèle de co-conception situé FBS pour une équipe de quatre concepteurs. Sur cette figure, les instances FBS dans l'espace des interprétations du projet et dans l'espace des intentions de projet de chaque concepteur sont simplifiées sous l'étiquette X^i et X^e pour faciliter la représentation de situations de conception plus complexes. Chaque concepteur communique à travers le monde extérieur, verbalement, graphiquement et par des gestes qui peuvent être décrits par une instances de F, B ou S. Il n'y a qu'une seule version de l'artefact de conception dans le monde extérieur sur lequel chaque acteur pourra agir, de sorte que le nombre croissant de concepteurs n'augmente pas le nombre d'interactions de manière exponentielle. Nous considérons que les interactions entre concepteurs, concernant l'activité de conception, passent toujours par le projet présent dans le monde externe sous la forme R^x F^x B^x S^x.

Le modèle peut être étendu à un grand nombre de concepteurs et peut inclure des équipes en tant que systèmes et sous-systèmes qui représentent l'organisation complexe de certaines situation de co-conception. Dans la Figure 28, nous montrons comment le modèle de co-conception se développe tout en augmentant le nombre d'équipes. Ici, trois équipes travaillent ensemble et il y a des interactions différentes entre les équipes. Toutes les équipes collaborent sur le même projet représenté par l'instance R^x F^x B^x $S^{x\ 1,2,3}$. Les équipes 2 et 3 travaillent également sur une sous-partie du projet qui a une autre instance (R^x F^x B^x $S^{x\ 2,3}$) dans l'espace externe.

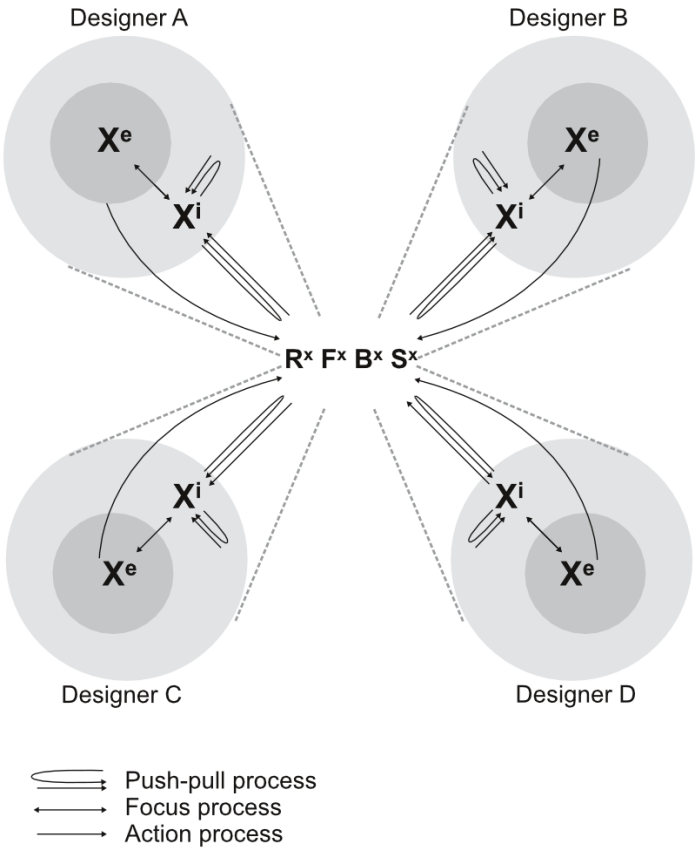


Figure 27 Représentation d'une situation de co-conception pour une équipe de quatre concepteurs

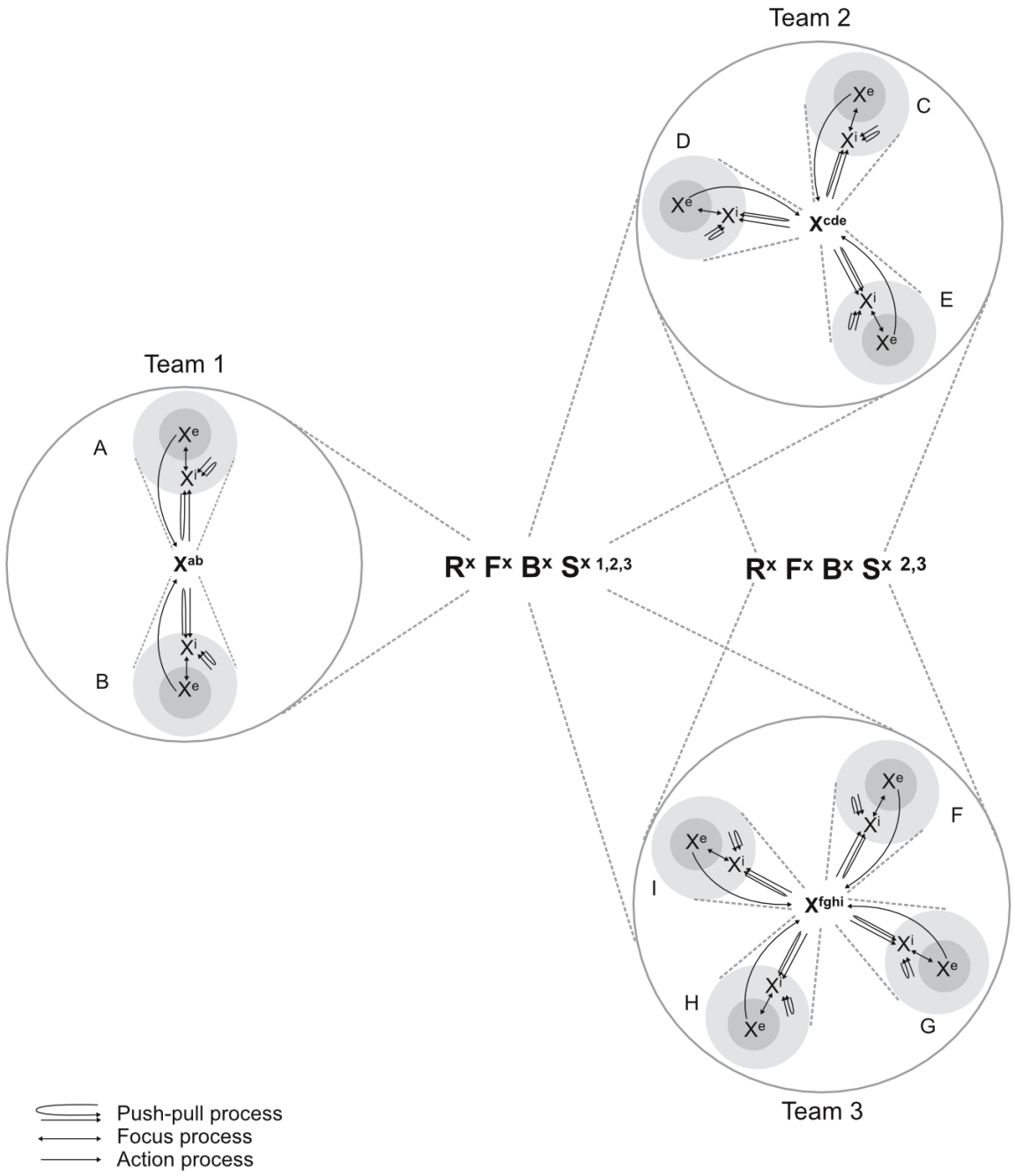
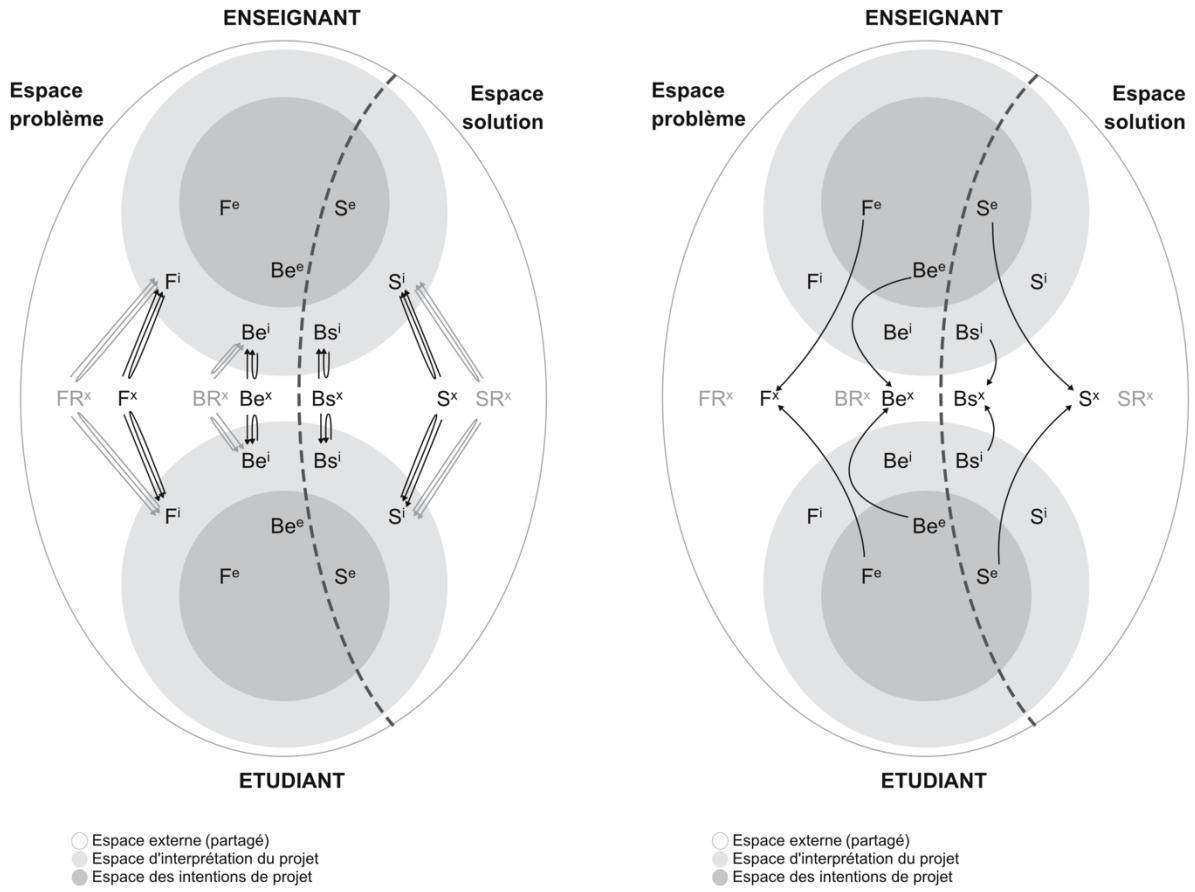


Figure 28 Représentation d'une situation de co-conception pour trois équipes de deux (équipe 1), trois (équipe 2) et quatre concepteurs (équipe 3)

3.5 La pratique réflexive mentorée : caractérisation des interactions entre participants et écosystème de représentations

L'interaction du concepteur avec les représentations du projet est centrale dans la conversation réflexive entre le concepteur et les éléments de la situation de conception (Schön, 1992). Le schéma *see* > *move and sketch* > *see* en est un exemple. *See* inclut voir le projet par ses représentations et comprendre le projet par l'interprétation de ses représentations. Schön & Wiggins (1992) développent leur définition de la fonction de *see* en se basant sur plusieurs protocoles de sessions critiques. Le *see* peut prendre la forme de voir ce qu'il y a de présent, de détecter une conséquence d'une action sur le projet ou de formaliser une appréciation de la qualité du projet. Comme nous l'avons défini en 3.2, dans le modèle de conception situé FBS, *see* est représenté par les processus d'interprétation et de mémoire constructive et le processus de *move and sketch* est représenté par les processus de focus et d'action. Les participants à la critique interagissent avec l'écosystème de représentations lors de processus d'interprétation (Figure 29(a)) ou par des processus d'action (Figure 29(b)). Les éléments RF^x, F^x, Rbe^x, Be^x, RBs^x, Bs^x, RS^x, S^x sont présents dans l'espace externe sous la forme de verbalisations d'un des participants, par la forme de représentations externes présentes (plans, coupes, maquette, entres autres) et / ou par la forme de représentations externes produites de manière concourante avec la verbalisation d'un participant (dessin, modélisation, geste).

Le monde externe inclut les verbalisations, les représentations graphiques existantes et celles produites pendant la session. Nous avons explicité dans le chapitre 2 les enjeux de l'écosystème de représentations comme support de communication, d'évaluation et de conception pendant la critique. L'interaction entre participants et écosystème de représentations représentée dans notre modèle par les instances R^x, F^x, B^x, S^x présentes dans l'espace externe est importante dans la pratique réflexive mentorée et doit être prise en compte dans son analyse.



(a) (b)

Figure 29 Représentations des interactions entre participants et écosystème de représentations : processus d'interprétation (a), processus d'action (b)

3.6 Synthèse

Nous avons vu dans ce chapitre que la conception définie comme pratique réflexive (Schön, 1983), est à la fois l'objet d'apprentissage en studio de projet et le moyen d'apprendre par le faire. Nous avons proposé d'appréhender la pédagogie de la critique par le cadre de l'apprentissage cognitif (Collins *et al.*, 1991, 1987). Nous avons décrit six situations de critiques : le *modeling*, le *coaching*, le *scaffolding*, l'*articulation*, la *reflection*, et l'*exploration* qui correspondent chacune a une stratégie pédagogique spécifique et à un engagement différent de chaque participant. Dans chacune de ces situations, la pratique réflexive est présente, elle est soit démontrée, explicitée, observée ou accompagnée.

Nous proposons de modéliser la pratique réflexive mentorée dans le cadre de l'ontologie FBS (Gero, 1990; Gero & Kannengiesser, 2004). Le modèle de co-conception situé FBS (Gero & Milovanovic, 2020) nous permet de représenter la pratique réflexive mentorée par un ensemble de processus de co-conception. L'interaction entre participants à la session critique et l'écosystème de représentations est une notion centrale de la pratique réflexive mentorée et peut également être représentée dans notre modèle.

Chapitre 4 Étude de cas par l'analyse de protocoles : méthodologie

Dans ce chapitre, nous allons présenter la méthodologie utilisée dans notre recherche. Pour analyser la pratique réflexive mentorée durant les sessions critiques en studio de projet, nous avons effectué une étude de plusieurs sessions critiques, caractérisées par l'utilisation d'un écosystème de représentations spécifique. Nous avons utilisé la méthode d'analyse de protocoles par vidéo de manière à étudier différents critères de la pratique réflexive mentorée. Pour la majeure partie de nos cas, nous avons mis en place un entretien ou un questionnaire à l'attention des étudiants et enseignants pour qu'ils formalisent leurs ressentis par rapport au déroulement de la session critique. Après avoir présenté notre approche méthodologique, nous décrirons notre procédure de recueil des données brutes et les techniques d'exploitation de ces données avec l'analyse de protocole. Nous présenterons les familles de codes utilisées pour encoder nos protocoles et expliciterons les mesures que nous obtenons grâce à ces outils. Les variations de modes pédagogiques durant la session critique, le rôle de chaque participant dans la pratique réflexive mentorée et l'interaction avec l'écosystème de représentations sont les caractéristiques de la critique que nous pouvons discuter grâce à cette méthode.

4.1 Approche par l'étude de cas comparative

La méthodologie de recherche adoptée pour ce travail de thèse est une étude de cas comparative. Un cas d'une étude de cas est déterminé par un phénomène relativement bien défini (Gerring, 2004) dans un contexte de la vie réelle (Yin, 1981). La dimension de comparaison systématique est inhérente à la définition de l'étude de cas, où nous chercherons à identifier des similarités et des différences entre nos cas (Dumez, 2016). Dans la présente étude, nos cas sont l'ensemble des sessions critiques que nous avons observées, ainsi que

quelques autres sessions critiques tirées d'observations d'autres chercheurs. Nous avons étudié quatre types de sessions critiques que nous appelons : traditionnelle sur table, maquette grande échelle, Hyve-3D et Studio Collaboratif Distant (SCD). Pour le cas traditionnel, nous avons étudié neuf sessions, et nous en avons analysé trois pour chacun des autres cas (Figure 30).

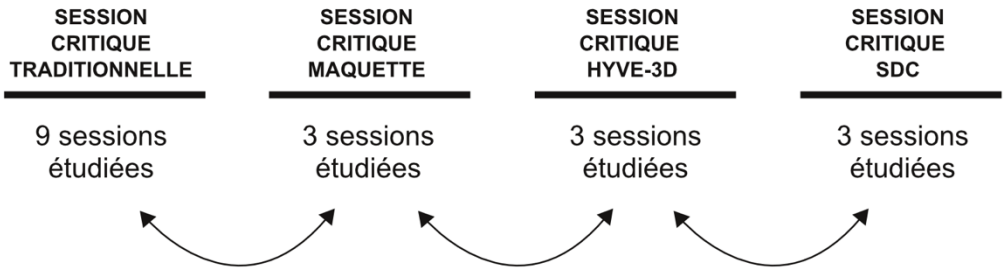


Figure 30 **Représentation de l'ensemble de nos cas d'étude.**

Dans les chapitres suivants, nous décrirons en détail chacun de ces cas et leurs analyses. Nous verrons que la méthode mise en place pour recueillir des données sur ces cas d'étude diffère légèrement d'un cas à l'autre car elle s'est adaptée au fil des observations menées. L'étude de cas nous permettra à la fois d'enrichir notre description théorique de la pratique réflexive mentorée et de développer des hypothèses concernant l'effet de l'écosystème de représentations sur la pratique réflexive mentorée. L'étude de cas ne nous permet pas de généraliser nos résultats. Nous pourrons cependant nous appuyer sur ces derniers pour mettre en place une expérience de plus grande ampleur pour tester les hypothèses que nous aurons formulées en se basant sur les résultats de notre étude de cas.

4.1.1 Entretiens et questionnaires

Sur certains des cas d'études (ceux observés dans des studios de projet de l'Ensa Nantes), nous avons mis en place des outils méthodologiques de type entretiens semi-directifs et/ou questionnaires pour obtenir des données qualitatives sur le déroulement de la session critique (Blanchet & Gotman, 1992). Les résultats de notre étude se basent sur l'analyse de protocoles et la matière recueillie par les entretiens ou questionnaires apporte une couche d'informations qualitatives supplémentaires enrichissant nos résultats.

Lors de notre premier cas d'étude (maquette), après chacune des sessions critiques, nous avons mené un court entretien semi-directif avec chaque étudiant (10 minutes). Les questions posées lors de l'entretien visent à recueillir le ressenti de l'étudiant par rapport à la session, les moments importants qu'il ou elle a retenus, les supports de représentation apportés pour la session ainsi que les objectifs de travail pour la semaine suivante. Le même type d'entretien a pu être mis en place avec l'enseignant en fonction des cas et des semaines, selon de l'organisation de la vie du studio (retards, trains à prendre).

Pour le cas du Hyve-3D, la session critique a été menée hors du studio de projet (Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine à Bordeaux) dans le cadre d'un workshop. Pour cela, le format d'entretien individuel après la session n'était pas adapté et nous avons préféré un entretien groupé avec les quatre étudiants ayant participé au workshop. L'échange fut focalisé sur le ressenti des étudiants concernant l'utilisation du Hyve-3D dans le cadre de la pédagogie du projet et pour une activité de conception.

Pour notre étude de session critique traditionnelle sur table, nous avons mis en place un questionnaire ouvert, rempli en ligne par les étudiants après chaque session. Les questions posées visent à recueillir le ressenti de l'étudiant pendant la session, les commentaires de l'enseignant qui lui ont semblé importants et les objectifs de travail pour la session suivante. Le même type de questionnaire est rempli par l'enseignant (pour la moitié des étudiants observés par manque de temps). À la fin de ces quatre sessions, nous avons mené un entretien semi-directif, au cours duquel les étudiants sont interrogés sur leur ressenti par rapport à leur performance dans le studio de projet, ce qu'ils tirent des sessions critiques, de l'enseignement en projet et leurs méthodes de travail entre chaque session.

4.1.2 L'analyse de protocoles

4.1.2.1 Principe

Pour analyser nos sessions critiques, nous avons exploité la méthode d'analyse de protocoles ou *protocol analysis* (Ericsson & Simon, 1984). Au cours des 50 dernières années, les études des processus cognitifs de conception avec l'analyse de protocoles ont façonné notre compréhension de l'activité de conception. Les travaux d'Eastman (1969, 1970) ont ouvert la voie à de nombreuses autres études sur l'activité de conception (Gero & Mc Neill, 1998; Hay *et al.*, 2017a, 2017b; Jiang & Yen, 2009). La méthodologie de l'analyse de protocoles vise à étudier les processus cognitifs de concepteurs experts en analysant leurs

énoncés verbaux (protocoles) au cours d'une expérience contrôlée (Ericsson & Simon, 1984; Van Someren, Barnard, & Sandberg, 1994). Les concepteurs se voient confier une tâche de conception qu'ils doivent entreprendre et sont invités à réfléchir à voix haute (*think-aloud*) afin que leurs processus de réflexion puissent être enregistrés ou filmés. Les verbatims sont ensuite segmentés et chaque segment est associé à un code qui se rapporte à un cadre théorique ou à un modèle, choisi a priori.

Le protocole peut être la transcription d'une verbalisation à voix haute d'un concepteur seul (*think-aloud protocol*) ou la transcription de la conversation d'un groupe de concepteurs (*discussion protocol*) (Jiang & Yen, 2009). Les concepteurs travaillant en équipe doivent formuler verbalement leurs réflexions sur le projet afin de communiquer avec leurs coéquipiers. Selon Goldschmidt (1995), le verbatim d'un concepteur seul parlant à voix haute est équivalent à la retranscription de la conversation de concepteurs lors d'une situation de co-conception. Nous pouvons donc transposer les cadres analytiques utilisés pour l'analyse de protocole de sessions de conception individuelle à des sessions de co-conception.

4.1.2.2 Exemples de cadre théorique pour l'analyse de protocole

La méthode de l'analyse de protocole est principalement utilisée pour étudier les processus cognitifs individuels, mais elle a été largement adoptée pour analyser les processus de réflexion en équipe dans des situations de co-design (Darses *et al.*, 2001; Dorta *et al.*, 2011a; Stempfle & Badke-Schaub, 2002; Valkenburg & Dorst, 1998; Wiltschnig, Christensen, & Ball, 2013). Les cadres utilisés pour examiner les études empiriques de concepteur seul sont utilisés pour étudier des cas de co-conception, comme la pratique réflexive de Schön (1983) (Valkenburg et Dorst, 1998) ou le concept de la co-évolution de l'espace problème et de l'espace solution (Dorst et Cross, 2001 ; Maher et Poon, 1996) étudié par Wiltschnig, Christensen, & Ball (2013). Goldschmidt (1990, 1995, 2014), en utilisant sa méthodologie de linkographie, a mis en évidence la similitude entre la conception individuelle et la conception collaborative. Dans la conception individuelle, le concepteur met en place un plus grand éventail de processus de conception, alors que dans une équipe, les concepteurs ont tendance à assumer des rôles spécifiques liés à leur propre expertise.

Selon Darses *et al.* (2001), au niveau de l'activité, la verbalisation à haute voix du processus de réflexion d'un concepteur seul et la conversation d'une équipe diffèrent en raison des interactions des membres de l'équipe et de leur raisonnement implicite sous-jacent. Par

conséquent, les cadres utilisés pour la conception individuelle doivent être adaptés à une situation de co-conception. Pour inclure les activités liées à la conception et les activités en équipe, la méthode COMET (Darses *et al.*, 2001) propose deux niveaux d'encodage des conversations de conception. Le premier niveau de code est appliqué aux unités individuelles et représente des actions de conception telles que la génération, l'information et l'évaluation. Le deuxième niveau de code représente les agrégations d'unités individuelles qui sont des marqueurs de la collaboration. Stempfle & Badke-Schaub (2002) proposent des catégories de codes semblables qui distinguent les activités axées sur le contenu (clarification des objectifs, élaboration de solutions, analyse, évaluation) et les activités axées sur le processus en équipe (planification, analyse, évaluation, décision et contrôle).

Les cadres utilisés pour analyser la co-conception dans les études mentionnées ci-dessus sont pour la plupart des descriptions catégoriques des actions de conception entreprises par l'équipe (par exemple, générer, analyser, réfléchir, évaluer) ou des marqueurs implicites de collaboration en matière de conception (comme négocier, clarifier). Nous pouvons faire un parallèle avec des études empiriques sur les sessions critiques en studio de projet où deux marqueurs sont étudiés : l'activité de conception et la stratégie pédagogique.

En ce qui concerne l'analyse de l'interaction des concepteurs avec l'écosystème de représentations, l'analyse de protocole est également une méthode appropriée. Suwa & Tversky (1997) ont étudié ce que perçoivent les architectes dans leur dessin en définissant quatre grandes catégories d'informations pour décrire le processus cognitif associé à ce que le concepteur dessine pendant la session de conception. Ces quatre domaines majeurs sont : des propriétés émergentes dans le dessin comme un espace ou une forme, des relations spatiales comme la taille, des relations fonctionnelles comme la vue, la lumière ou, des connaissances conceptuelles. Cette étude met en avant l'utilisation du dessin pour des relations fonctionnelles abstraites et pas seulement visuelles ou spatiales.

Dans (Détienne, Visser, & Tabary, 2006), les auteurs se sont focalisés sur l'interaction en elle-même plutôt que son interprétation à un niveau cognitif. De ce fait, les actions encodées sont par exemple 'pointer', 'délimiter', 'déplacer un objet' plutôt que la définition de l'interprétation de ces actions comme 'référencement' ou 'qualité spatiale'. Cette étude utilise un principe de double codes, celui des représentations et celui de COMET (Darses *et al.*, 2001), évoqué plus haut, pour décrire l'activité de conception. Dans cette étude, l'action

de dessiner tend à s'associer avec des activités de génération de solutions alors que l'action de montrer (pointer) correspond à des actions d'interprétation ou d'information.

Shih, Sher, & Taylor (2017) ont mené une étude sur le *switching* (navigation) entre deux espaces de représentation d'un environnement dit '*mixed media*' intégrant le dessin sur papier et la modélisation sur le logiciel SketchUp. Dans leur étude, chaque concepteur utilise librement les deux types de représentation pour concevoir un projet d'architecture : une maison, des bureaux ou une galerie d'art. Il est noté que les processus de conception sont globalement similaires dans chacun des médias utilisés même si le dessin tend plutôt à être utilisé pour définir le problème de conception et l'environnement SketchUp pour développer des éléments liés à la proposition de projet. Il a été observé trois types de navigation entre espace dessin et espace SketchUp. Le premier est une navigation des yeux qui passent d'un environnement à l'autre. Ce type de navigation est catégorisé à un niveau perceptuel et permet par exemple de chercher des informations sur l'espace comme d'avoir une notion de l'échelle. Le deuxième type de navigation est nommé le *single switch* et correspond à un changement de média pour entamer une nouvelle tâche. Par exemple après avoir modélisé le rez-de-chaussé sur SketchUp, le concepteur passe au dessin pour explorer l'aménagement du second étage. Le dernier type de navigation est défini comme *integrating switch* et intègre la notion de *right tool right time* (Do, 2005), où pour un élément spécifique, comme le positionnement de l'escalier, le concepteur alterne entre CAO et dessin papier pour trouver une aménagement satisfaisant.

Les résultats d'études empiriques utilisant l'analyse de protocole offrent des perspectives intéressantes pour mieux comprendre la co-conception. Cependant aucune étude ne propose de représentations formelles des processus cognitifs de conception et des interactions entre les concepteurs. Les modèles descriptifs formels de co-conception ont le potentiel de donner une représentation dynamique de l'activité de co-conception, tout en représentant des informations qualitatives et quantitatives sur les rôles de chaque acteurs, en se basant sur les données des protocoles analysés. Dans le cas de la session critique, un tel modèle permet de représenter les interactions entre l'enseignant et l'étudiant, et leur rôle pendant la critique. Pour étudier la pratique réflexive mentorée pendant les sessions critiques, nous nous focaliserons sur les processus de pratique réflexive de l'étudiant et de l'enseignant, et des processus qu'ils co-construisent. Nous utiliserons le modèle situé de co-conception

FBS présenté au chapitre précédent pour représenter de manière qualitative les informations quantitatives tirées de nos analyses de protocoles.

4.1.2.3 Cadre analytique et famille de codes

Dans notre cas, le cadre théorique utilisé est l'ontologie FBS qui définit un premier ensemble de codes que nous utilisons pour analyser les protocoles des sessions critiques. Notre deuxième ensemble de codes définit les interactions entre participants et écosystèmes de représentations, lors des processus identifiés en 3.5 : interprétation et action sur l'espace des représentations externes. L'intégration de ces deux cadres par l'utilisation de deux familles de codes nous permet d'aborder l'ensemble des caractéristiques saillantes de la pratique réflexive mentorée pendant les sessions critiques.

La première famille de codes correspond aux éléments de conception de l'ontologie FBS (cf 3.3.1, p.88).

La deuxième famille de codes correspond aux actions des participants à la session (enseignants et étudiants) sur l'écosystème de représentations. Nous n'avons pas identifié dans la littérature un ensemble de codes d'actions sur l'écosystème de représentations qui convenait à notre situation de cas d'étude. De ce fait, nous nous sommes basés sur nos références et sur nos observations en studio pour définir cinq catégories d'interaction avec l'écosystème de représentations :

- pointer une représentation,
- naviguer dans une représentation,
- modéliser une représentation,
- dessiner / esquisser le projet ou un élément du projet,
- représenter par un geste le projet ou un élément du projet.

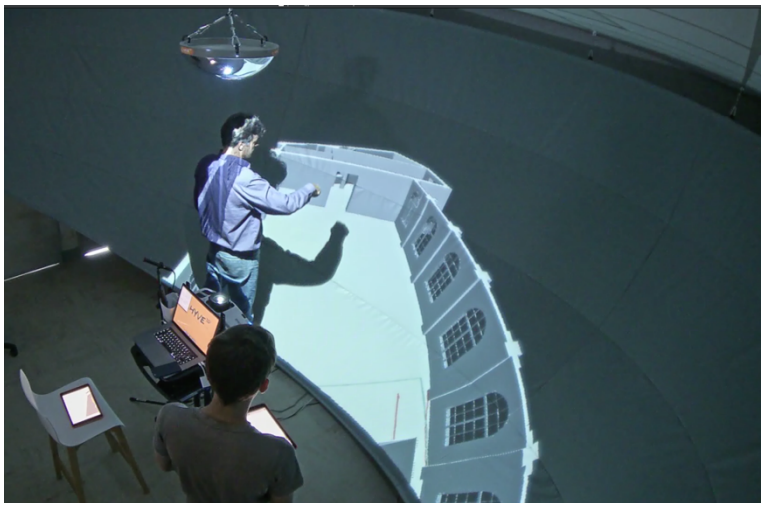
Deux de nos catégories sont de la famille des gestes. Visser (2009) met en avant l'importance des gestes comme soutien à la conception et à la collaboration notamment dans la communication d'éléments en 3D et d'éléments dynamiques dans le projet. Nous avons identifié deux types de gestes dans nos vidéos qu'il nous semble pertinent d'analyser par la suite : un geste déictique, et un geste iconique (Kida, 2011). Le geste déictique est assimilé à la notion de pointer une représentation (Figure 31) et le geste iconique vise à représenter par un geste un élément du projet (Figure 32).

Le dessin d'esquisse et la représentation en diagramme sont souvent utilisés en phase amont du processus de conception (Purcell & Gero, 1998) et sont apparus dans l'ensemble de nos sessions. Dessiner ou esquisser pour représenter un élément du projet est notre troisième catégorie d'interaction (Figure 33). L'esquisse sur papier comme support d'exploration en phases amont du projet peut être associée à la modélisation par des maquette d'étude d'intentions de projet. Nous nommons cette catégorie « modéliser une représentation » (Figure 34), qui est apparue exclusivement dans nos cas traditionnels sur table.

Notre dernière catégorie est la navigation dans l'espace 3D du projet, rendue possible lorsque l'écosystème de représentations contient une maquette numérique en 3D. 'Naviguer dans une représentation' (Figure 35) est apparu exclusivement lors des sessions dans le Hyve-3D.

Nous avons évoqué dans la section 2.1.6.1 l'importance de la navigation entre les représentations du projet. Le *switching* entre les types de représentation augmente l'efficacité du processus de conception (Shih, Sher, & Taylor, 2017) car il garantit le concept de *right tool right time* (Do, 2005). Chaque représentation, en plan (2D), coupe (2D), maquette analogue ou numérique, image (3D avec point de vue égocentrée – vue d'homme – ou allocentrée – vue d'oiseau), possède des caractéristiques spécifiques. Cette fragmentation des représentations du projet permet au concepteur de se focaliser sur un élément du projet apparaissant sur un type de représentation, tout en conservant une appréhension globale du projet (Estevez, 2001). Elsen & Heylighen (2014) évoquent la qualité de la représentation en 3D avec une vue égocentrée pour communiquer une expérience sensible. La notion de *felt-paths* de Schön (1981) intègre la dimension d'expérience sensible, et nous avions noté la difficulté pour un non expert (étudiant) d'associer une représentation en plan avec un potentiel *felt-path*. Pour cela, l'analyse de la navigation entre représentations de dimensions et de points de vue différents nous semble pertinente. Nous avons donc complété par un code de dimension de la représentation (2D ou 3D) et de point de vue (égocentré ou allocentré) chacune de nos cinq actions.

Nous avons deux familles de codes, l'une visant à identifier les éléments du projet formulés pendant la session critiques (FBS) et l'autre visant à identifier les actions de chaque acteur sur une représentation, définie par sa dimension et le point de vue de la représentation.



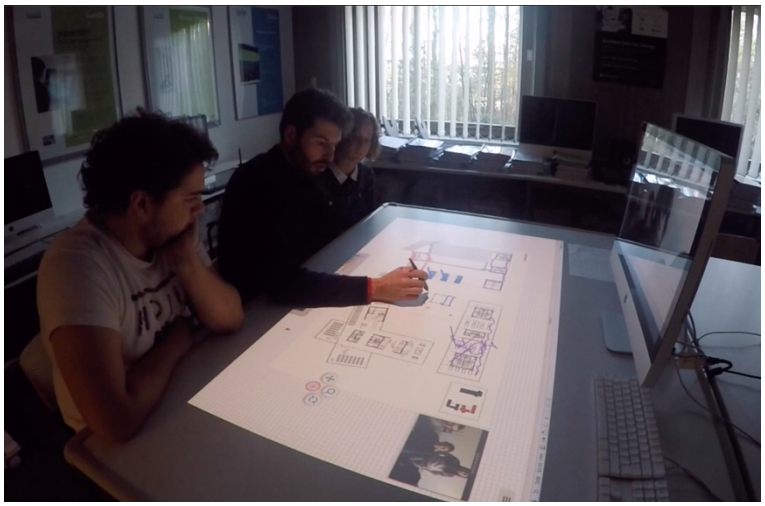
(a)

(a)

(c)

Figure 31 Action de pointer une représentation (a) dans le Hyve-3D, (b) sur la maquette, (c) lors de la session sur table.

Figure 32 Action de représenter par un geste. Avec ce geste, l’enseignant représente un type de fenêtre en long, comme une faille dans le bâtiment.



(a)

(b)

(c)

Figure 33 Action de dessiner (a) dans l'écosystème de représentations du SDC, (b) sur calque lors d'une session sur table, (c) dans le Hyve-3D.

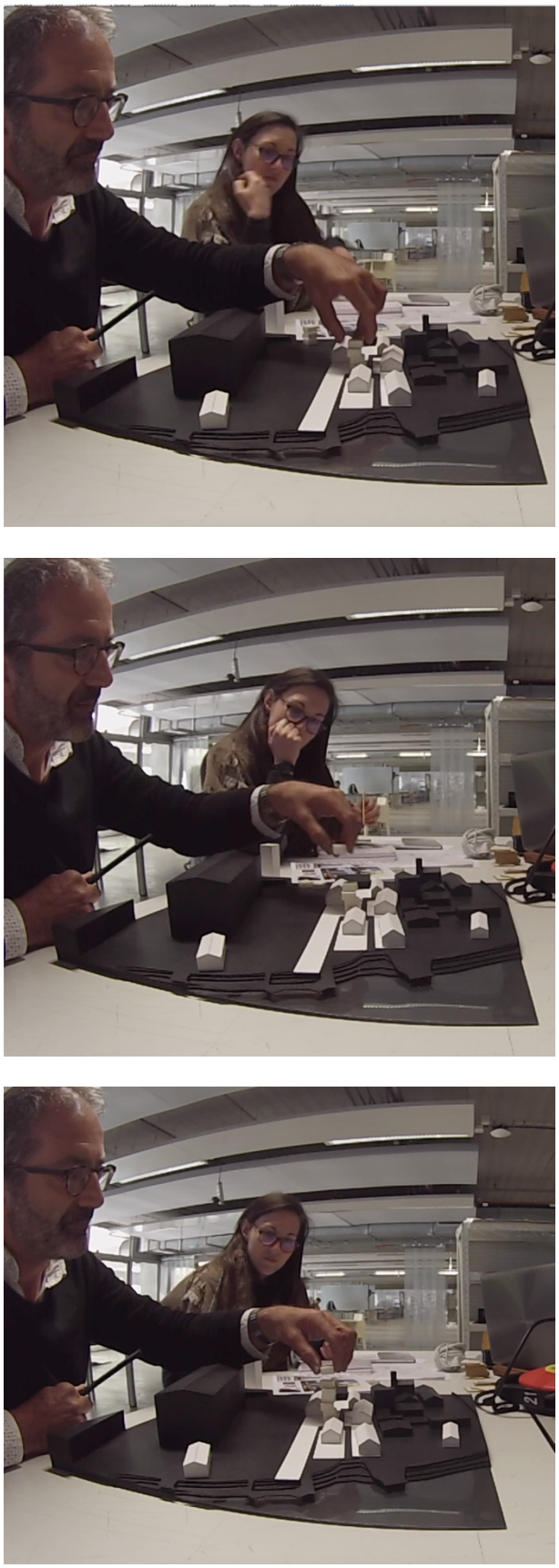


Figure 34 Action de modéliser. Dans cet exemple, l'enseignant modélise par la maquette physique, il teste différentes formes de tours de logements en empilant des blocs.

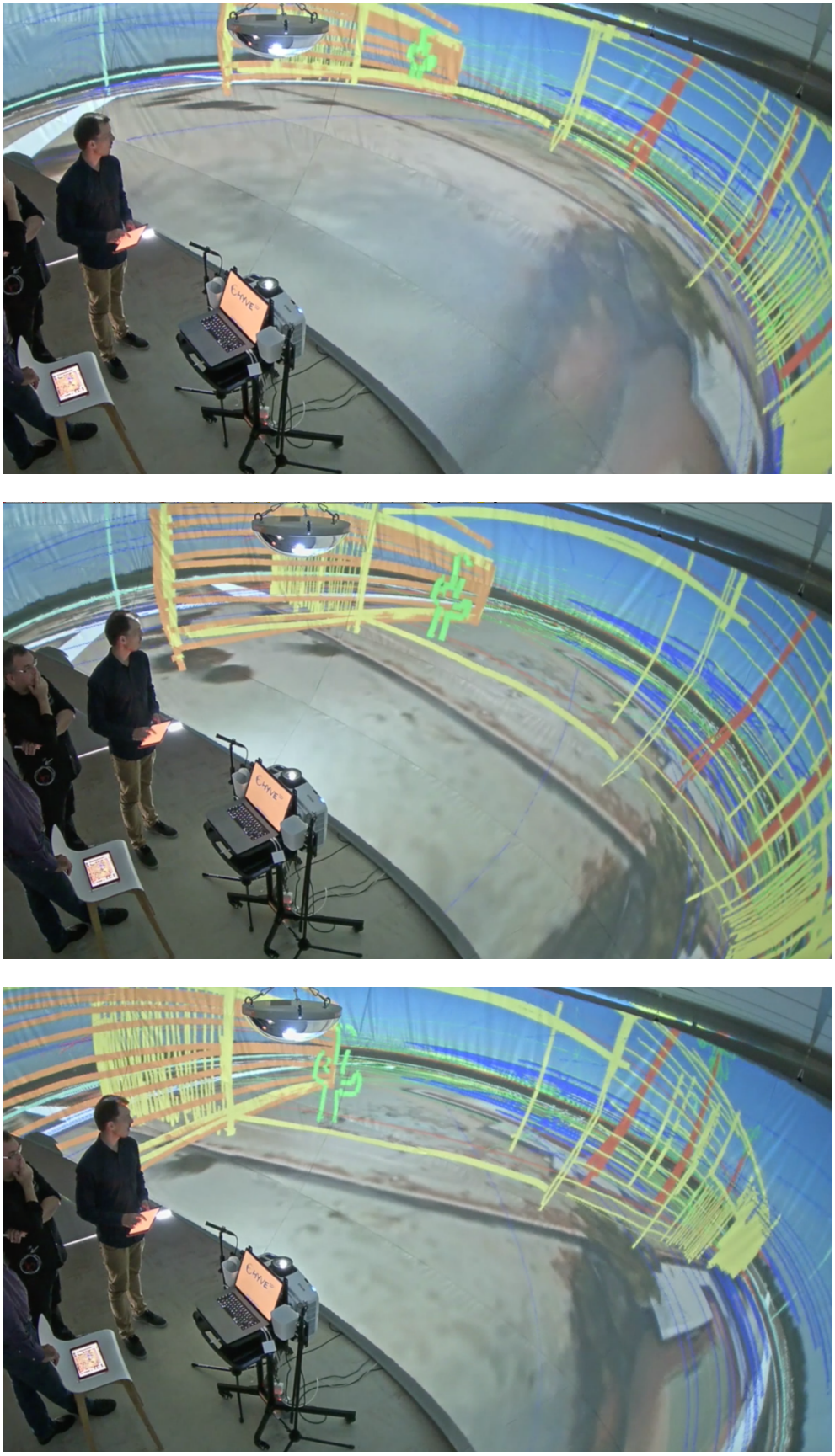


Figure 35 **Action de naviguer.** Cette action n'est possible que dans le cas où une maquette numérique est utilisée pendant la session critique, comme c'est le cas ici dans le Hyve-3D.

4.2 Recueil des données brutes et encodage

Nous avons observé des sessions de projet in-situ filmées pour être analysées par la suite. Pour l'ensemble des cas d'étude, les sessions critiques ont été filmées par une caméra GoPro qui reste discrète et permet facilement de suivre la scène lorsque les participants se déplacent (notamment pour le cas d'étude sur maquette). Nous utilisons les vidéos enregistrées lors des observations comme protocoles, qui est la donnée brute extraite des observations menées. L'utilisation de protocoles vidéo est nécessaire car notre étude intègre l'analyse des actions des participants sur l'écosystème de représentations. Chaque vidéo est analysée dans le logiciel Atlas.ti (Figure 36).

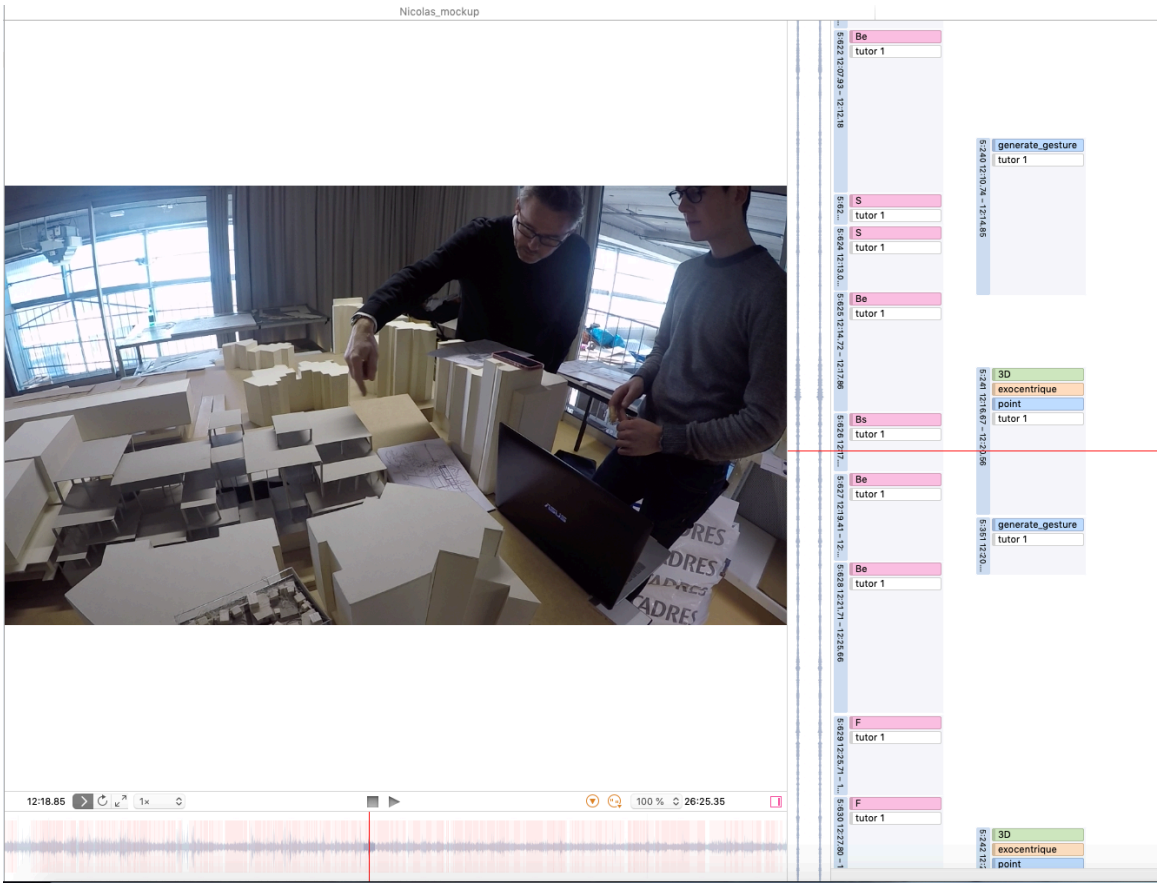


Figure 36 Capture d'écran interface Atlas.ti pour codage vidéo des sessions. Dans cet exemple, l'enseignant formule un élément (Bs), tout en pointant une représentation en 3D, avec un point de vue allocentré.

Chacune des sessions critiques a été segmentée et codée dans le logiciel selon nos deux familles de codes. Pour le code FBS, un segment est codé avec un unique élément de

conception défini par l'ontologie FBS. Dans le cas de la deuxième famille de code, un segment est déterminé par une unique action sur une représentation. Chacun de ces segments est également encodé avec l'acteur produisant la verbalisation ou l'action.

Pour l'encodage des éléments de conception FBS, chaque session a été encodée deux fois par la doctorante, avec plusieurs semaines d'intervalles entre chaque encodage. Le test de Kappa (normalement utilisé pour mesurer la fiabilité de l'encodage de deux personnes distinctes) permet de vérifier l'accord entre les deux versions de protocole encodé (Tableau 3). La valeur du test de Kappa varient entre 0,65 et 0,78, ce qui est satisfaisant pour notre étude. Pour chaque segment n'ayant pas été codé de la même façon, un arbitrage est fait pour déterminer le code final. L'intérêt du double codage est d'assurer une meilleure fiabilité des résultats obtenus par l'analyse produite sur ces codes. Il est préférable que deux chercheurs différents produisent chacun un code et arbitrent le code final.

Tableau 3 Test kappa entre deux codes pour chaque protocole encodé

Cas	Kappa code 1 / code 2
Traditionnel Étudiante A_1	0,72
Traditionnel Étudiante A_2	0,70
Traditionnel Étudiante A_3	0,74
Traditionnel Étudiante B_1	0,73
Traditionnel Étudiante B_2	0,76
Traditionnel Étudiante B_3	0,75
Traditionnel Étudiante C_1	0,71
Traditionnel Étudiante C_2	0,76
Traditionnel Étudiante C_3	0,72
Maquette Étudiante D	0,71
Maquette Étudiant E	0,73
Maquette Étudiant F	0,78
Hyve-3D Étudiant G	0,65
Hyve-3D Étudiante H	0,73
Hyv-3D Étudiant I	0,76
SDC Groupe J	0,72
SDC Groupe K	0,74
SDC Groupe L	0,75

Pour la deuxième famille de code définissant les actions de manipulation des représentations, chaque protocole n'a été codé qu'une seule fois. En effet, nous considérons que l'ambiguïté liée aux catégories de la deuxième famille de code est réduite, ce qui explique ce choix.

Pour le cas SDC, l'utilisation des représentations n'est étudiée que pour les trois acteurs sur le site filmé (Liège) car les données que nous avons recueillies ne nous permettent pas d'analyser de manière précise ces interactions pour l'équipe à distance (écran skype).

Chaque protocole codé est exporté sur Excel pour être analysé. Les protocoles ne sont pas retranscrits, ce qui a été un gain de temps quant à l'utilisation de cette méthodologie pour notre analyse. Au passage sur Excel, seul l'identifiant du segment et les codes associés sont exportés. L'identifiant nous permet au besoin, de retrouver la verbalisation correspondante dans le logiciel Atlas.ti.

La première famille de codes permet d'identifier chaque élément du projet sous la forme FBS. Notre intérêt se porte sur les processus de conception FBS, donc nous avons étudié les transitions syntactiques, c'est-à-dire d'un segment à l'autre, de notre protocole. Les processus FBS sont définis par des transitions spécifiques entre deux éléments FBS. Nous avons utilisé des macros sur Excel pour générer les processus de conception FBS (*Formulation*, *Synthesis*, *Analysis*, *Evaluation*, *Reformulation 1*, *Reformulation 2* et *Reformulation 3*). Comme nous pouvons le voir sur notre extrait de session en Figure 37, certaines cases de la colonne « *process* » sont vides. En effet, l'ontologie FBS décrit 8 processus de conception sur les 36 possibles.

De plus, nous avons également généré les interactions entre acteurs ayant produit ces verbalisations (Figure 37). Dans le cas d'une session avec un étudiant et un enseignant, nous avons quatre types d'interactions d'acteurs :

- l'étudiant formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'étudiant,
- l'étudiant formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'enseignant,
- l'enseignant formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'étudiant,

- l'enseignant formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'enseignant.

La distinction de ces quatre interactions entre participants nous permet d'associer chaque processus FBS à une interaction pour en définir la qualité : processus individuel ou processus collaboratif. Ces processus peuvent ensuite être transposés sur le modèle de co-conception situé FBS défini dans le chapitre 3 (§ 3.4). En appliquant le même système de transition entre les segments codés, nous pouvons déterminer les changements de points de vue et de dimensions.

Number	Actor	Code final	Interaction	Process	Action switch	Dimension switch	PoV switch	Action	Dimension	PoV
1:1	S	Bs						point	3D	exocentrique
1:2	S	Bs	S>S		point>generate_gesture	3D	exocentrique	generate_gesture		
1:3	S	Bs	S>S		generate_gesture			generate_gesture		
1:4	S	Bs	S>S		generate_gesture>point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:5	S	Bs	S>S		point>generate_model	3D	exocentrique	generate_model	3D	exocentrique
1:6	S	S	S>S		generate_model>point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:7	T	F	S>T	Reformulation03	point	3D	exocentrique			
1:8	T	Bs	T>T		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:9	T	Bs	T>T		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:10	T	Bs	T>T		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:12	S	S	T>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:11	S	Bs	S>S	Analysis	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:13	S	Bs	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:14	S	Be	S>S	Evaluation02	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:15	S	Be	S>S	Formulation BeBe	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:16	S	Be	S>S	Formulation BeBe	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:17	S	Bs	S>S	Evaluation01	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:18	S	S	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:19	S	S	S>S	Reformulation01	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:20	S	S	S>S	Reformulation01	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:21	S	Be	S>S	Reformulation02	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:22	S	Be	S>S	Formulation BeBe	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:23	S	S	S>S	Synthesis	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:24	S	Bs	S>S	Analysis	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:25	S	Bs	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:26	S	Bs	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:27	S	Bs	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:28	S	Bs	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:29	S	Bs	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:30	S	S	S>S		point>generate_gesture	3D	exocentrique	generate_gesture		
1:31	T	Bs	S>T	Analysis	generate_gesture>point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:32	S	S	T>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:33	S	Bs	S>S	Analysis	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:34	S	S	S>S		point>generate_gesture	3D	exocentrique	generate_gesture		
1:35	S	S	S>S	Reformulation01	generate_gesture			generate_gesture		
1:36	S	Bs	S>S	Analysis	generate_gesture					
1:37	S	Bs	S>S							
1:39	S	S	S>S		point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique
1:38	S	Bs	S>S	Analysis	point	3D	exocentrique	point	3D	exocentrique

Figure 37 Extrait d'un protocole encodé sur tableur Excel. Le tableur Excel reprend dans la première colonne l'identifiant de chacune des verbalisations. Les colonnes 'Actor' (S = étudiant, T = enseignant) et code final sont exportées d'Atlas.ti ainsi que les colonnes 'Action', 'Dimension' et 'Point de vue (PoV)'. La colonne 'Interaction' indique la transition entre les deux participants, 'process' indique les processus de conception, 'Action switch' indique le changement d'action, 'Dimension switch' indique le changement de dimension (2D ou 3D) et 'PoV switch' indique le changement de point de vue. Ces colonnes sont générées par des macros dans Excel.

4.3 L'analyse de protocole pour étudier la situation de la pratique réflexive mentorée

Les protocoles encodés forment les données de base que nous utilisons pour notre analyse. Nous avons exploité la méthode de l'analyse de protocole pour quantifier et qualifier l'activité de conception durant la session critique, ainsi que l'interaction entre l'enseignant, l'étudiant et l'écosystème de représentations. Grâce au modèle de co-conception situé FBS nous pouvons représenter graphiquement l'activité de pratique réflexive durant chaque session critique qui se traduit par une alternance de processus de conception individuels et co-construits entre l'enseignant et l'étudiant. Le modèle de co-conception situé FBS nous permet également de mesurer la coévolution de l'espace problème et de l'espace solution, qui est une caractéristique importante de l'activité de conception. Avec l'identification de la participation de chaque acteur en terme de processus de conception, nous pouvons déterminer le rôle de chacun en terme de navigation dans l'espace de conception (problème / solution) et de navigation dans les représentations du projet.

4.3.1 Analyser la variation des modes pédagogiques par la distribution des processus de conception et de co-conception

La première dimension de la session critique que nous analysons est la pédagogie de type apprentissage cognitif (*cognitive apprenticeship*). Comme nous l'avons décrit au chapitre 2, Collins, Brown, & Holum (1991) proposent différentes stratégies pédagogiques. Nous pouvons associer ces stratégies à des processus de conception individuels ou collaboratifs. La stratégie de *modeling* implique une démonstration de la part de l'enseignant sans intervention de l'étudiant, qui est représentée par un enchaînement de processus de conception individuels de la part de l'enseignant. De même, la stratégie *reflection*, où l'enseignant utilise des références externes au projet de l'étudiant pour alimenter sa réflexion sur le projet, prendra la forme d'un enchaînement de processus de conception individuels de la part de l'enseignant. À l'inverse, les stratégies d'e*xploration* et d'*articulation* visent à pousser l'étudiant à reformuler son problème de conception pour qu'il le traite de manière autonome pour la première et à verbaliser ses processus de pratique réflexive pour la seconde. De ce fait, ces stratégies s'assimilent à un enchaînement de processus de conception individuels de la part de l'étudiant. La stratégie de *coaching* s'illustre par un accompagnement

de la pratique réflexive de l'étudiant qui se traduirait par la présence de processus collaboratif, ce qui est également le cas de la stratégie *scaffolding* où l'enseignant accompagne l'étudiant par l'apport d'informations constructives sur le projet.

L'engagement de l'étudiant par rapport à ces stratégies se synthétise par trois états : l'observation ou participation passive (*modeling*, *reflection*), la participation active individuelle (*exploration*, *articulation*) et la participation active collaborative (*coaching, scaffolding*). L'analyse de nos protocoles encodés, nous permet de mesurer la distribution des processus de conception individuels et de co-conceptions, en croisant les processus de conception avec les quatre interactions d'acteurs. L'engagement de l'étudiant durant la session apparaît dans la distribution des processus de conception individuels ou collaboratifs.

L'observation des occurrences cumulées des processus où l'étudiant participe, par la régression linéaire, donne également des informations sur l'évolution de l'engagement de l'étudiant sur le temps de la session. Ces courbes nous donnent des informations sur l'organisation de ces processus tout au long de la session critique, et nous permettent de pointer l'intensité de l'engagement de l'étudiant par rapport à sa participation au processus de conception. La forme de la courbe informe sur la régularité de l'engagement de l'étudiant. Cette technique est utilisée dans (Gero & Kannengiesser, 2014) pour mettre en relation des actions de conception (*design steps*) avec des éléments de conception FBS (*design issues*).

Dans notre cas nous nous attachons aux actions de conception et aux processus de conception FBS, pour chacune des interactions où l'étudiant participe au processus de conception (Figure 38). L'étude de l'occurrence cumulée permet de modéliser l'occurrence des processus de conception au cours du temps de la session critique. Pour qualifier ce modèle, Gero & Kannengiesser (2014) s'attachent à la forme du graphe (*shape of the graph*), la pente (*slope*) qui informe sur la vitesse d'occurrence des processus et le coefficient R^2 qui mesure la linéarité de la courbe (la valeur 0,95 est la condition minimale pour considérer la courbe comme linéaire). Ces informations quantitatives nous donnent des clés pour décrire et interpréter l'engagement de l'étudiant dans l'activité de conception au cours de la critique. Par exemple, pour la session représentée en Figure 39, nous voyons que l'occurrence cumulée des processus de conception étudiant > étudiant se distingue en deux phases linéaires. Cela atteste que l'étudiant s'engage de manière régulière dans la formulation de ses processus avec une intensité à deux vitesses (phase 1 et phase 2).

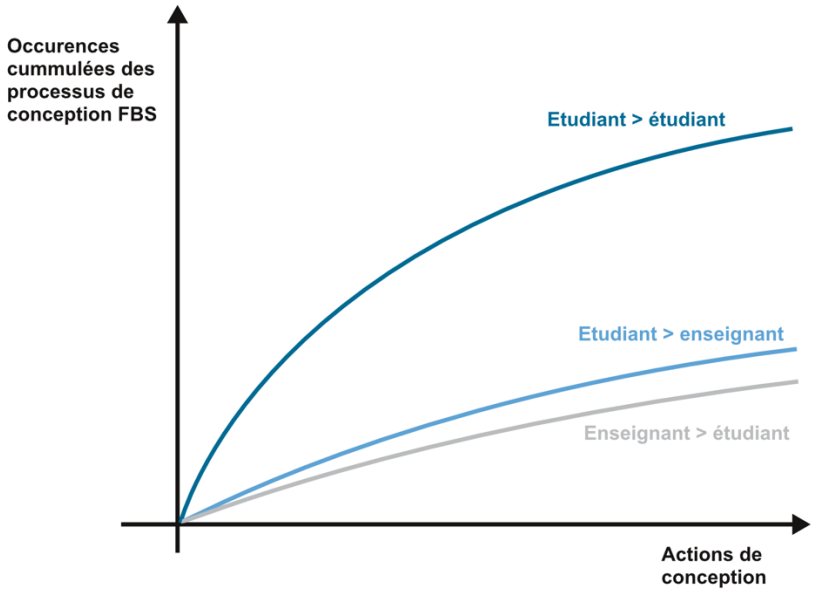


Figure 38 Représentation schématique de l'occurrence cumulée des processus de conception FBS où l'étudiant intervient au cours d'une session critique

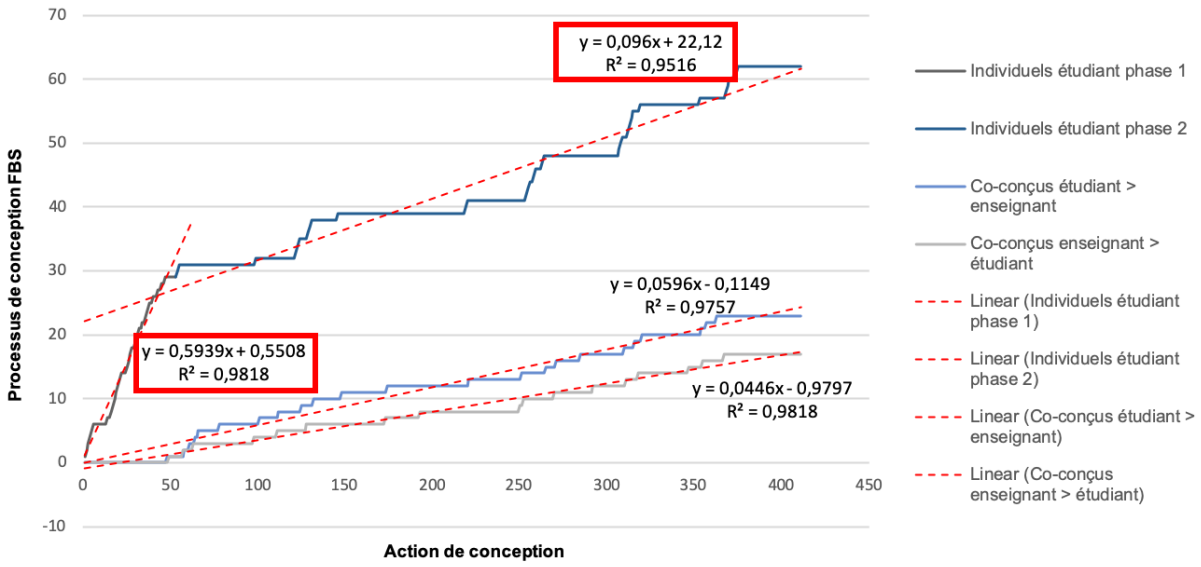


Figure 39 Exemple de l'occurrence cumulée des processus de conception FBS pour une session critique

4.3.2 Analyser la pratique réflexive

L'intérêt d'utiliser la méthode d'analyse de protocole est de pouvoir quantifier les processus cognitifs que nous avons définis comme caractéristiques de la pratique réflexive mentorée. Nous pouvons représenter ces processus sur notre modèle de co-conception situé FBS pour en avoir une appréhension qualitative. Nous avons également développé ou utilisé un ensemble d'outils pour apporter un grille de lecture supplémentaire à nos protocoles comme l'indicateur Problème Solution (P-S) et l'analyse factorielle des correspondances. Nous avons testé ces outils sur un cas d'étude de sessions critiques d'un studio de master Architecture & Construction dispensé au Département Architecture et Urban Planning de l'université de Gand en 2013. La description des cas d'études sont détaillées dans Pauwels, Strobbe, & De Meyer (2015) et Pauwels *et al.* (2015). L'analyse de l'indicateur P-S, l'analyse factorielle des correspondances et la représentation des processus de co-conception entre enseignant et étudiant dans une version non située du modèle sur ce cas d'étude est développée dans (Milovanovic & Gero, 2018).

4.3.2.1 Coévolution de l'espace problème et de l'espace solution

En utilisant l'ontologie FBS, nous pouvons quantifier les segments du protocole situés dans l'espace problème (*Requirement* (R), *Function* (F) et *expected Behavior* (Be)) ou dans l'espace solution (*Behavior from structure* (Bs) et *Structure* (S)) (Figure 40). Nous avons abordé l'importance de la coévolution de l'espace problème et de l'espace solution dans l'activité de conception (§ 2.1.2). L'indicateur P-S (Problème / Solution) est une valeur comprise entre 1 et -1 calculée en divisant la différence entre le nombre de segments de type problème (R, F ou Be) et le nombre de segment de type solution (S et Bs) par le nombre total de segments de la session critique. Une valeur positive de l'indicateur P-S signifie que l'activité de conception se développe principalement dans l'espace problème alors qu'une valeur négative indique que l'activité de conception se déroule principalement dans l'espace solution.

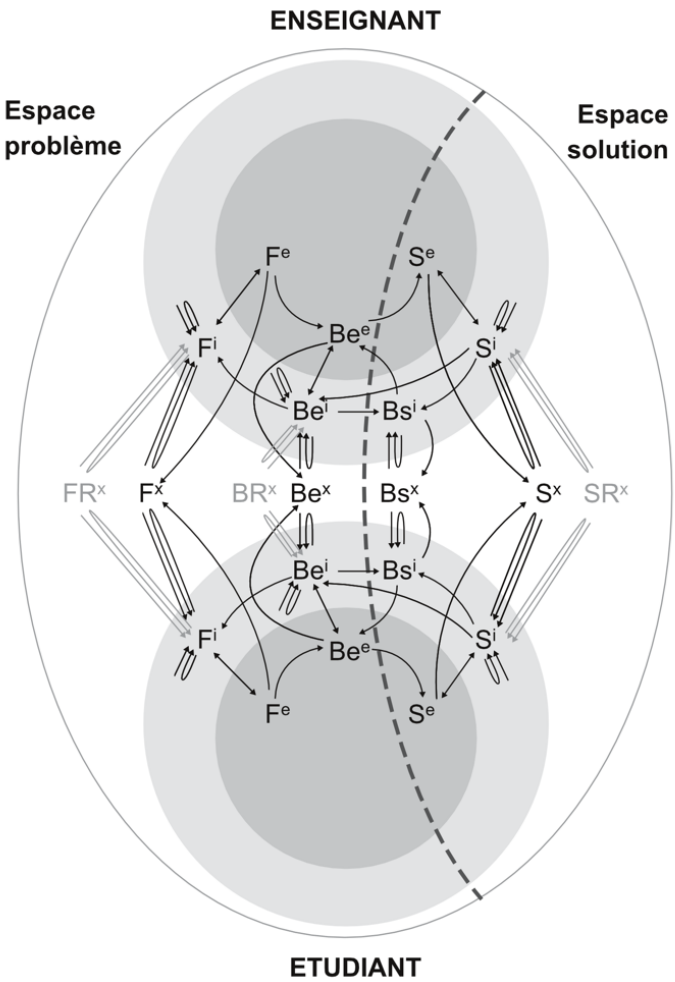


Figure 40 Distinction entre espace problème et espace solution sur le modèle de co-conception situé FBS

Comme illustré sur la Figure 41, l'indicateur P-S peut aussi donner une indication sur l'évolution dans le temps de l'équilibre entre effort cognitif sur l'espace solution et effort cognitif sur l'espace problème grâce à l'indicateur P-S temporel ou « *moving P-S indicator* » (Milovanovic & Gero, 2018). Une fenêtre de n segments du protocole est définie pour déterminer la valeur de l'indicateur P-S local. Elle est calculée en divisant par n segments la différence entre le nombre de segments « problème » (R, F, Be) et le nombre de segments « solution » (Bs, S) de la fenêtre de n segments. La tendance linéaire indique de manière générale si la session tend à être focalisée sur l'espace problème plutôt que sur l'espace solution, comme c'est le cas sur la session prise en exemple en Figure 41, ou à l'inverse, être focalisée de plus en plus sur la solution du projet.

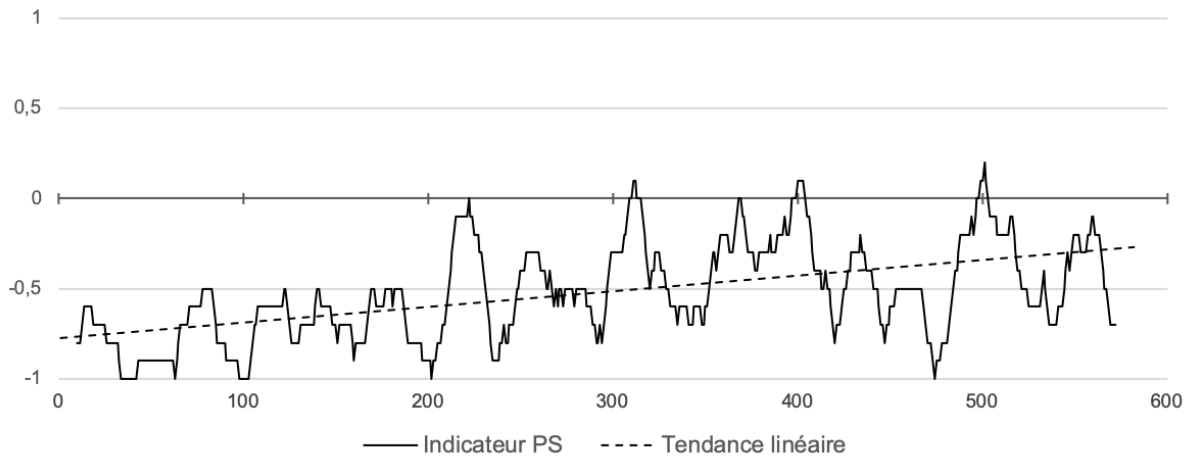


Figure 41 Exemple de variation l'indicateur P-S temporel pour une session pour une fenêtre de 20 segments

4.3.2.2 Processus de conception dominants pendant la session et rôle de chaque participant

L'étude de la distribution des processus de conception FBS nous permettra de décrire la morphologie de la session critique en terme d'activité de conception. De plus, l'identification de la participation de chaque acteur à la construction de processus de conception individuels et collaboratifs nous permettra de définir leur rôle de manière qualitative dans : la formulation de propositions de projet (processus de *Synthesis*), l'évaluation des propositions (processus d'*Evaluation*) et la reformulation d'intentions de projet (processus *Reformulation 2* et *Reformulation 3*). Ces trois processus illustrent chacun une navigation entre espace problème et espace solution ce qui explique l'intérêt que nous y portons. Pour mettre en évidence les différences relatives des rôles de chaque acteur, nous utilisons deux outils pour représenter nos données : l'analyse factorielle des correspondances et le modèle de co-conception situé FBS.

L'analyse factorielle des correspondances permet de représenter sur un graphe à deux dimensions les relations entre deux éléments. Ici, nos deux éléments sont les processus de conception et les interactions d'acteurs. Le logiciel Rstudio et le package FactoMiner sont utilisés pour nos analyses factorielles des correspondances (Lê, Josse, & Husson, 2008). Sur la Figure 42, nous voyons un exemple représentant le résultat de l'analyse factorielle des correspondances pour une de nos sessions critiques. La représentation de la variance de nos données est exprimée selon les deux dimensions du graphe, et est satisfaisante pour le cas illustré (92,1% au total, 51,7% pour la dimension 1, et 40,4% pour la dimension 2).

Pour interpréter le résultat de l'analyse factorielle des correspondances, il est intéressant de regarder comment se répartissent les interactions des participants par rapport aux deux dimensions. Dans ce cas précis, nous voyons qu'en projetant les interactions d'acteurs sur la dimension 1, les interactions 'enseignant' et 'étudiante' sont opposées, et les interactions collaboratives ('enseignant > étudiante' et 'étudiant > enseignante') se situent entre les interactions individuelles. Par rapport à la deuxième dimension, l'interaction 'enseignant > étudiante' est relativement différente des trois autres. La division du graphe en quatre quadrants nous permet d'analyser avec plus de précisions les relations entre interaction des participants et processus de conception. Dans l'exemple en Figure 42, nous identifions une proximité entre les processus *Synthesis*, *Evaluation Bs > Be* et *Reformulation 2* et l'interaction 'enseignant', de même nous observons une proximité entre les processus *Analysis* et l'interaction 'étudiante'.

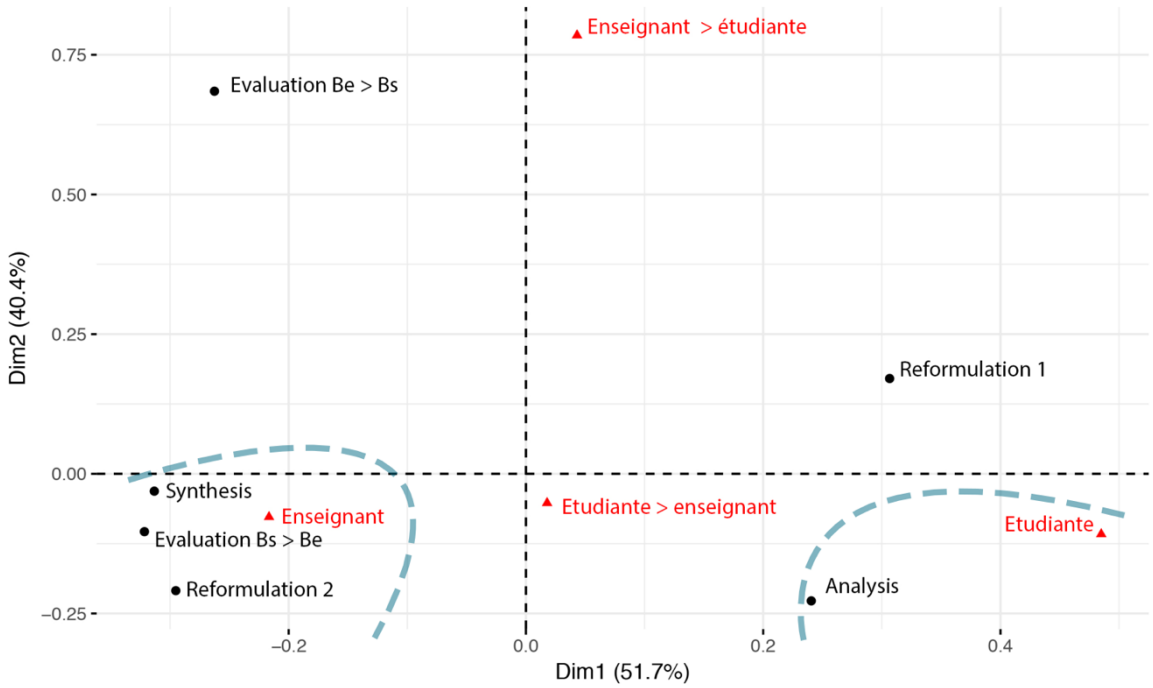
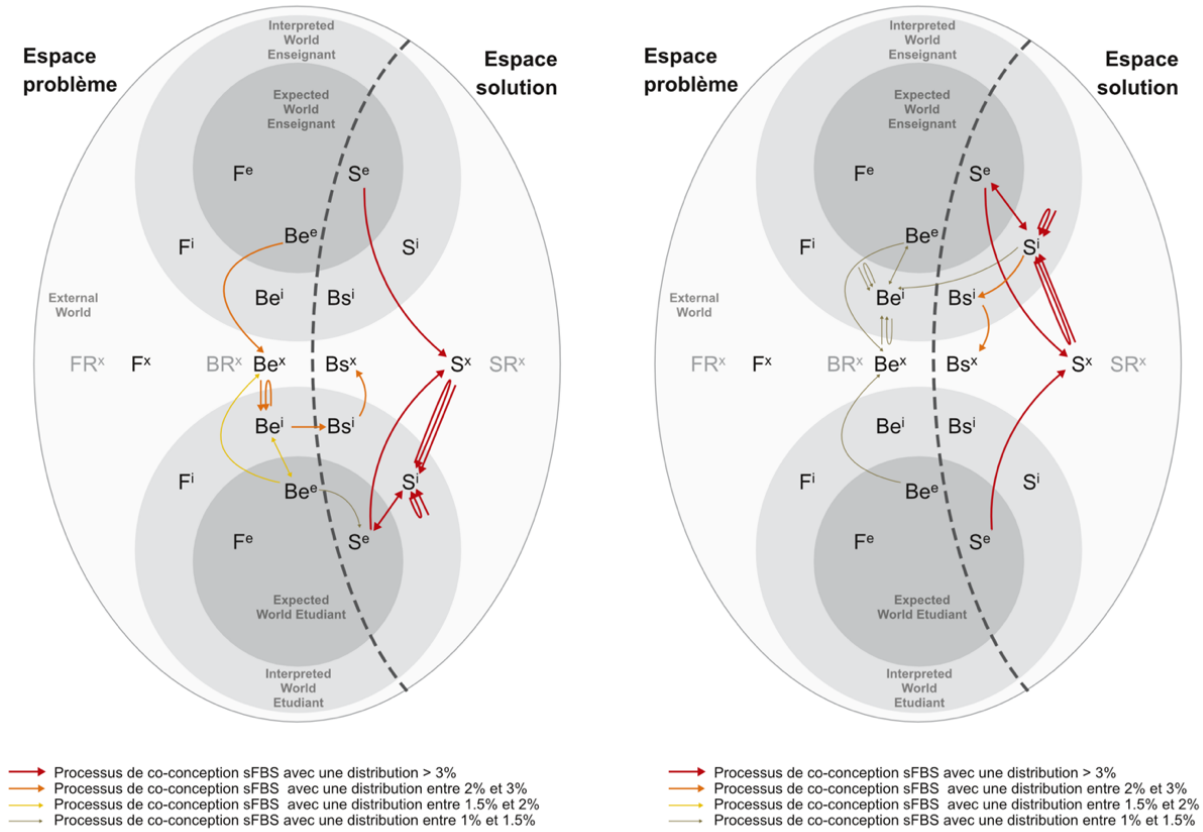


Figure 42 Exemple d'analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions entre acteur et la distribution moyenne des processus de conception FBS

Le deuxième outil que nous utilisons pour étudier le rôle de chaque acteur dans la session critique est le modèle de co-conception situé FBS. Nous pouvons y représenter les processus de co-conception dominants pour chacune des interactions collaboratives, basé sur leur distribution quantitative, comme le montre la Figure 43. Nous observons sur le modèle de co-conception situé FBS que les processus collaboratifs dominants (flèches rouges) sont

similaires et sont focalisés sur la solution de projet. Les processus moins dominants sont différents en fonction de l'interaction. Par exemple, pour les processus initiés par l'enseignant (Figure 43(a)), nous voyons que ces processus expriment une transition de l'espace problème vers l'espace solution. Dans ce cas précis, l'enseignant formule une intention de projet (Be), à laquelle l'étudiante réagit par la formulation d'un élément défini du projet (S) ou d'une qualité du projet (Bs).



(a) (b)

Figure 43 Représentation des processus situés FBS de co-conception enseignant > étudiante (a) et étudiante > enseignant (b)

4.3.2.3 Utilisation de l'écosystème de représentations

La deuxième famille de code nous permet d'étudier la manipulation des représentations de l'écosystème de représentations par les trois dimensions suivantes : action sur l'écosystème de représentations, dimension et point de vue. L'intérêt est de déterminer quelles sont les actions les plus fréquentes en fonction de nos cas, et comment les participants naviguent dans l'écosystème de représentations par des variations de dimensions et de points de vue. Enfin, nous avons étudié la relation entre manipulation des représentations et processus de conception par l'analyse factorielle des correspondances entre ces deux éléments. Dans

l'exemple représenté en Figure 44, nous voyons que certaines actions comme faire un geste spatial et dessiner sont associées à des processus de navigation dans l'espace de conception (*Synthesis*, *Evaluation Be > Bs*, et *Reformulation 2*) alors que l'action de pointer une représentation est principalement associée à des processus situés dans l'espace de la solution du projet (*Analysis* et *Reformulation 1*).

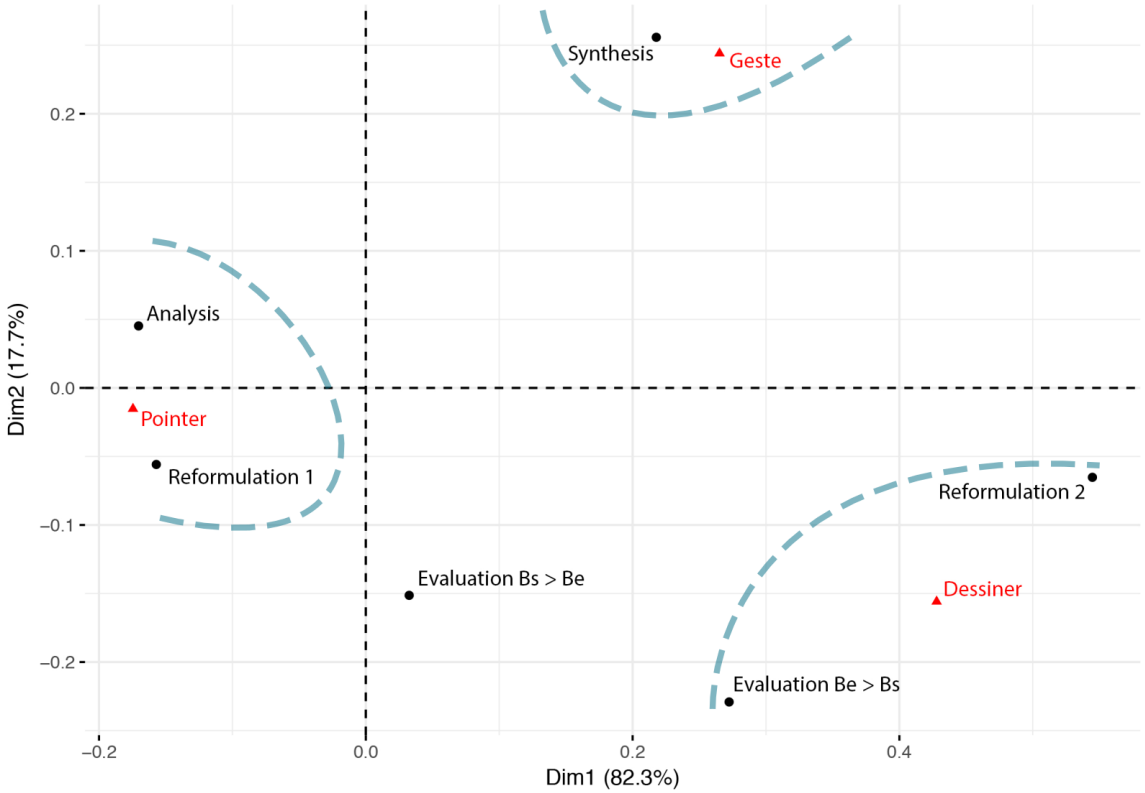


Figure 44 Exemple d'analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations et la distribution moyenne des processus de conception FBS

4.4 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre méthodologie pour explorer la situation de pratique réflexive mentorée des sessions critiques en studio de projet. Nous étudions la pratique réflexive mentorée par rapport à plusieurs caractéristiques : la variation des modes pédagogiques et l'engagement des étudiants dans la session, le rôle de chaque acteur dans la formalisation de processus de conception et de co-conception, et l'utilisation de l'écosystème de représentations. Pour cela, nous comparons plusieurs cas de notre étude pour en identifier les différences et similarités afin d'augmenter notre compréhension de ce phénomène. Nous utilisons la méthode de l'analyse de protocole pour étudier les vidéos d'observation de sessions critiques. Les résultats de l'analyse de protocole donnent une lecture quantitative et qualitative de la situation de pratique réflexive mentorée que nous enrichissons avec les données recueillies lors d'entretiens et de questionnaires visant à saisir le ressenti de chaque acteur pendant la session critique.

Chapitre 5 Analyse de la pratique réflexive mentorée : le cas traditionnel sur table

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les tendances des comportements des participants à la session critique dans le cas de la session critique traditionnelle, c'est-à-dire sur table, utilisant un écosystème de représentations usuel incluant le triptyque plans, coupes, élévations ainsi qu'une représentation du projet sous forme de maquette physique. Nous nous sommes attachés à l'évolution du rôle de chaque participant de session en session. L'enjeu est de définir une base de référence de la pratique réflexive mentorée présentée dans notre cadre analytique et méthodologique. Cette base nous permettra par la suite de discuter les résultats obtenus par l'analyse d'autres situations de sessions critiques. Nous débuterons en présentant un cas d'étude de la session critique traditionnelle sur table dans un studio à l'Ensa Nantes. Ce cas d'étude propose un suivi sur quatre semaines dont une session est un rendu de projet de type jury. Nous analysons chacune des sessions en suivant la méthode que nous avons introduite dans le chapitre précédent pour apporter une description de la pratique réflexive mentorée dans cette situation. Trois critères sont abordés : l'engagement de l'étudiant, le rôle de chaque participant dans la pratique réflexive et l'utilisation de l'écosystème de représentations.

5.1 Présentation des cas d'étude

5.1.1 Le cas traditionnel : studio de projet *Sensory Architecture Sudio*

Le premier cas d'étude est le studio de master *Sensory Architecture Studio* de l'Ensa Nantes. Huit étudiants ont été suivis sur un ensemble de quatre sessions. Ces quatre sessions se sont

déroulées dans la deuxième moitié du semestre, après la validation du concept du projet. Pour ce studio, le programme du projet ainsi que le site ont été laissés en partie libres de choix. Les exigences était l'intégration d'un programme public à un ensemble de logements, et la prise en compte de la qualité environnementale du projet. Le site d'implantation du projet devait se situer dans la métropole nantaise. Après la période d'analyse et de choix du site, le concept a été développé par les étudiants de manière individuelle à l'aide d'une série de maquettes conceptuelles.

Les sessions observées ont eu lieu à la suite du choix de concept architectural. Les trois premières sessions se déroulent sur table. La plupart du temps la session critique se fait en tête à tête entre l'étudiante ou l'étudiant et un des quatre enseignants du studio. Parfois, la session critique s'effectue avec deux enseignants menant la critique en binôme. Durant ces sessions, les étudiants utilisent comme écosystème de représentations les maquettes concepts qu'ils avaient développées précédemment ainsi qu'un ensemble d'autres représentations, plans, coupes, perspectives (Figure 45). La dernière séance, sous la forme d'un jury, visait à préparer les étudiants à leur présentation finale et à ajuster certains éléments du projet. Le support de présentation utilisé était des planches imprimées accrochées au mur. Le jury était composé de deux des quatre enseignants du studio ainsi que deux invités externes.

Pour le cas du studio *Sensory Architecture Studio*, nous avons analysé les sessions critiques de trois étudiantes. Les trois premières sessions sont des critiques sur table alors que la dernière session est un rendu devant un jury. Notre analyse de la pratique réflexive mentorée se concentre sur les trois premières sessions critiques car la dernière session de rendu ne met pas en place ce principe pédagogique. Les étudiantes sont nommées Étudiante A, B et C dans la suite du document et l'étiquette Étudiante A_1 correspond à la première session observée pour cette étudiante.

Figure 45 Exemple de session traditionnelle sur table du *Sensory Architecture Studio*. Nous voyons sur cette photo d'une des sessions critiques les documents apportées par l'étudiante : la maquette, les coupes et les plans imprimés sur papier.

5.1.1.1 Présentation des sessions des étudiantes

Le projet de l'étudiante A se développe autour du concept de 'greffe' sur deux pignons aveugles d'un ensemble de logements sociaux. Les deux plots de logements sont adjacents à une voie de chemin de fer désaffectée. Une des greffes contient des bureaux pour un laboratoire de recherche sur la phytoremédiation. L'autre greffe propose des logements entiers et des espaces supplémentaires pour les logements des plots existants. Pendant les sessions critiques, les thèmes récurrents abordés sont l'accroche au sol de ces deux greffes, le rapport formel entre une des greffes et le talus où se trouve la voie de chemin de fer et le système constructif utilisé pour chacune de ces greffes. L'équipe encadrante durant la critique varie à chaque session. Pour la première session critique, l'échange s'effectue avec un des enseignants titulaires de l'option (Figure 46(a)). Lors de la seconde session, deux des enseignants titulaires sont présents (Figure 46(b)) alors que pour la dernière session, la critique se déroule en tête-à-tête avec un enseignant invité (Figure 46(c)). Le projet de cette étudiante a été évalué comme étant un des meilleurs projets du studio avec une note de 17/20. L'intelligence environnementale du travail par rapport au site est remarquée de même que la stratégie de revalorisation proposée.

(a)

(b)

(c)

Figure 46 **Les trois sessions de l'étudiante A : (a) session 1, (b) session 2, (c) session 3**

L'étudiante B a proposé un projet de micro-brasserie sur un site situé au croisement de deux lignes de train. La parcelle en triangle est organisée par les rangs de plantation de houblons servant à la production de la micro-brasserie, et les deux bâtiments du projet, de longs rectangles, s'intègrent dans cette nouvelle trame. Le projet propose également une promenade urbaine le long de la voie de chemin de fer. Un des bâtiments inclut la partie brasserie ainsi qu'un bar alors que le second contient des logements pour des habitants permanents et saisonniers. Au cours des trois sessions critiques, les sujets traités sont l'emplacement des bâtiments sur la parcelle, leurs rapports au sol et leurs rapports mutuels. L'organisation des logements est discutée ainsi que la matérialité des façades. Lors de la dernière session, un nouveau concept apparaît : utiliser un rang de houblon comme double peau en façade. L'intérêt de la façade houblon est qu'elle sert également de paroi thermique. La saisonnalité de la culture du houblon correspond aux attentes d'apport de lumière et de protection par rapport à la situation et l'orientation du projet. Lors de la première session, un enseignant titulaire mène la session critique (Figure 47(a)). Deux enseignants titulaires participent à la critique lors de la deuxième session (Figure 47(b)) et l'enseignant invité intervient pour la dernière session critique (Figure 47(c)). Le projet de l'étudiante B est évalué comme satisfaisant (note de 14/20). L'investissement de l'étudiante dans le travail sur le projet est remarqué. Certains commentaires formulés au cours du studio comme le choix de l'implantation des bâtiments par rapport à la parcelle sont encore interrogés en fin de semestre, ce qui montre la difficulté de l'étudiante à répondre à certaines des attentes des enseignants.

(a)

(b)

(c)

Figure 47 **Les trois sessions de l'étudiante B : (a) session 1, (b) session 2, (c) session 3**

Le cas de l'étudiante C est un peu différent car elle travaille sur son projet de fin d'études. À l'Ensa Nantes, les étudiants de master 1 et de master 2 sont mélangés ce qui explique qu'il y ait des niveaux d'étude différents au sein du même studio. Les exigences pour l'étudiante C sont un peu plus hautes que pour les deux autres étudiantes. Le projet de cette étudiante se situe sur une zone industrielle désaffectée et à revitaliser. Le concept central de ce projet est la génération d'un nouveau parcellaire sur le site par la création d'un nouveau sol à un mètre de haut. Le nouveau sol forme un ensemble de venelles organisant le découpage des parcelles. Ce concept est justifié par la situation du site en zone inondable en cas de crues. Plusieurs bâtiments de logements sont organisés sur le nouveau parcellaire, avec une variation de morphologie du bâti : une tour et six bâtiments en long, des nefs habitées, reprenant la forme d'un bâtiment industriel.

La première session critique observée est focalisée sur la reformulation de la problématique de projet et le test de plusieurs solutions à l'aide d'une maquette d'étude. Lors de la deuxième session critique, le concept est réinterrogé notamment en ce qui concerne le rapport entre la tour, les nefs habitées et le nouveau sol. Cet élément est discuté de nouveau à la session suivante à travers les notions de sol, de seuils et de matérialité des bâtiments. Lors de la dernière session critique, l'organisation à l'intérieur des logements est abordée ainsi que le système constructif de la tour. Les deux premières sessions critiques sont effectuées en tête à tête avec un des enseignants titulaire du studio (Figure 48). La dernière séance se déroule en tête à tête avec un des deux autres enseignants titulaires du studio (Figure 48). Cette étudiante a validé son semestre avec un projet évalué comme satisfaisant (note de 13/20). Le concept du projet a un potentiel fort mais le rapport de distance et d'intensité entre les éléments du projet (tour, nefs habitées, nouveau sol, venelles) aurait pu être mieux traité.

(a)

(b)

(c)

Figure 48 **Les trois sessions de l'étudiante C : (a) session 1, (b) session 2, (c) session 3**

5.1.1.2 Représentation schématique des cas étudiés

Le diagramme ci-dessus résume l'ensemble des quatre cas que nous avons analysés (Figure 49). Dans ce chapitre nous nous concentrons uniquement sur les sessions critiques traditionnelles représentées sur la gauche du diagramme. Comme nous l'avons introduit dans le chapitre 4 de méthodologie, l'intérêt de l'étude de cas est de comparer plusieurs cas pour en faire ressortir des différences et similarités. Pour les sessions critiques traditionnelles, nous allons comparer les étudiantes entre elles, qui sont des sous-cas, et les sessions en fonction de leur temporalité (flèches sur la Figure 49). L'intérêt du suivi des étudiantes sur plusieurs sessions est d'étudier l'évolution de la pratique réflexive mentorée de session en session.

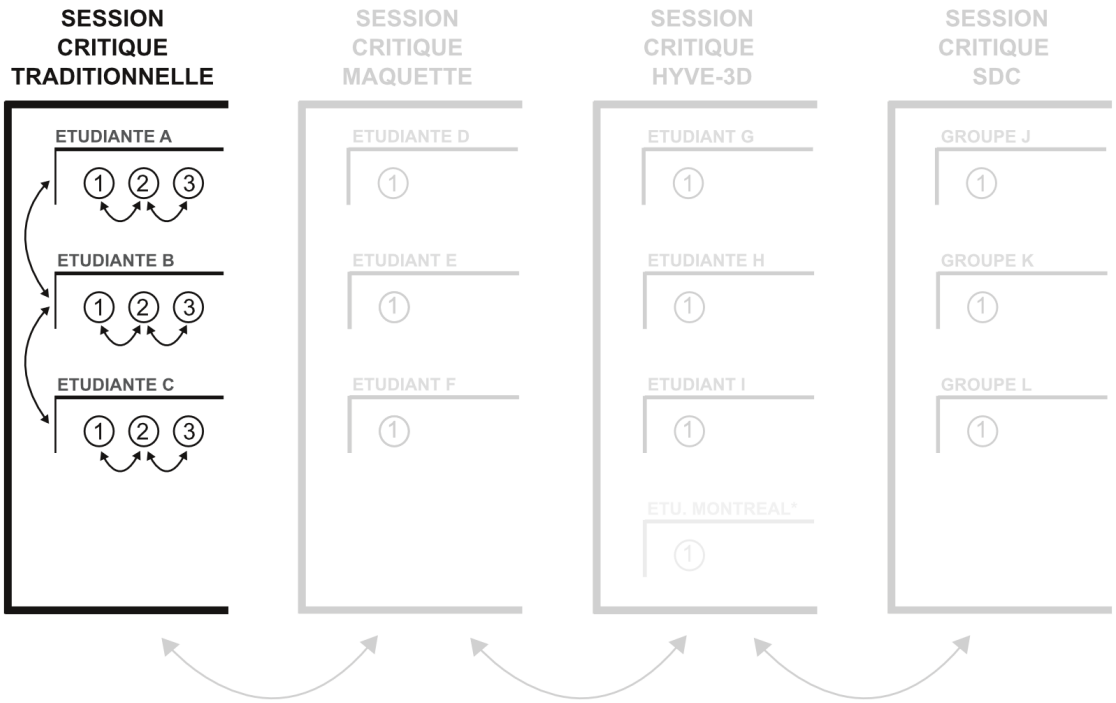


Figure 49 Représentations des cas d'études étudiés

5.1.2 Représentation de la situation de la session critique sur le modèle de pratique réflexive mentorée

Pour nos cas de sessions critiques traditionnelles, nous avons été confrontés à deux types différents de critique par rapport au nombre de participants. Le type A, le plus courant fut la session critique en tête-à-tête entre un enseignant et un étudiant (Figure 50). Les étudiants travaillant de manière individuelle sur le projet étaient parfois mentorés par deux enseignants (type B Figure 51). Dans chacun de ces cas, les participants communiquent à travers le projet décrit dans l'espace externe par une instance de *Requirement* (R), de *Function* (F), de *Behavior* (B) et de *Structure* (S). Un unique projet est représenté dans l'espace externe qui est le point focal de l'activité de conception et des interactions.

Sur les neuf sessions traditionnelles observées dans le *Sensory Architecture Studio*, sept sont de type A et deux de type B. Cependant, dans la partie d'analyse et de résultats, nous avons simplifié la dynamique de chaque session à une session à deux acteurs en fonction de leur rôle, étudiant ou enseignant, de sorte que la représentation de chacune des sessions soit similaire à la situation présentée en Figure 50.

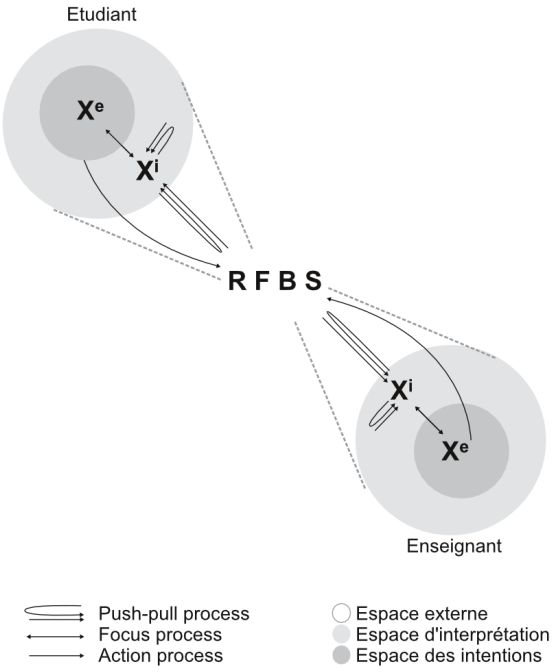


Figure 50 Situation de session critique type A avec un enseignant et un étudiant. Chaque participant possède son espace interne d'interprétation du projet et d'intentions de projet. Le projet, défini par des représentations externes sous la forme de R, F, B et S, est partagé et concentre les interactions entre les participants.

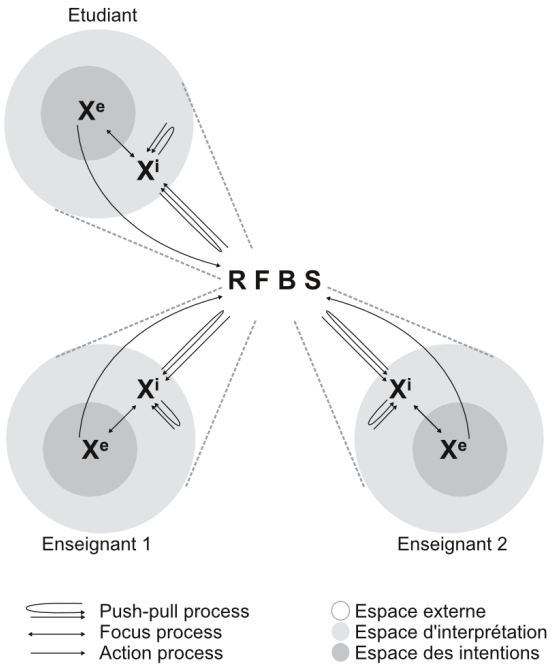


Figure 51 Situation de session critique type B avec deux enseignants et un étudiant. Les trois participants agissent sur le projet représenté dans l'espace externe par la formalisation d'éléments du projet sous la forme R, F, B ou S.

5.1.3 Description de l'écosystème de représentations traditionnel

Nous proposons une description de l'écosystème de représentations utilisé pour ces sessions critiques traditionnelles par rapport aux caractéristiques de l'écosystème de représentations définies précédemment (2.1.6.1) et aux cinq actions définies dans notre famille de codes d'action sur l'écosystème de représentations (Tableau 4). Dans le cas traditionnel, la matérialité de l'écosystème de représentations est à dominance analogue. Dans un seul cas, une image perspective numérique est utilisée (Étudiante A_3). Les participants ont accès à des représentations en 2D, en 3D, à des échelles architecturales différentes et avec des points de vue allocentrés (vue d'oiseau) ou égocentrés (vue d'homme). Les actions possibles sont : pointer une représentation, dessiner à la main, modéliser sur la maquette physique et représenter un élément ou un concept par un geste.

Tableau 4 Caractérisation de l'écosystème de représentations de notre cas d'étude

	Traditionnel
Matérialités	Analogue / Numérique
Dimensions	2D / 3D
Échelles / points de vue	Échelles Architecturales (1/100ème, 1/200ème) Égocentré / Allocentré
Actions / manipulation	Pointer / Dessiner / Modéliser / Geste
Synchronisation	Non

5.1.4 Données temporelles des sessions

Un studio de projet se déroule en général sur 14 semaines. Pour les sessions critiques traditionnelles, nous avons suivis quatre sessions critiques à la suite, vers la fin du semestre (Figure 52). La durée des sessions varie entre 29 et 62 minutes avec une moyenne de 50 minutes par session (Tableau 5). Les enseignants ont souvent la volonté de limiter la session à 20 / 30 minutes mais le temps donné pour la session critique n'est en général pas tenu. La session dure le temps nécessaire pour passer en revue tous les éléments du projet qui peuvent être problématiques.

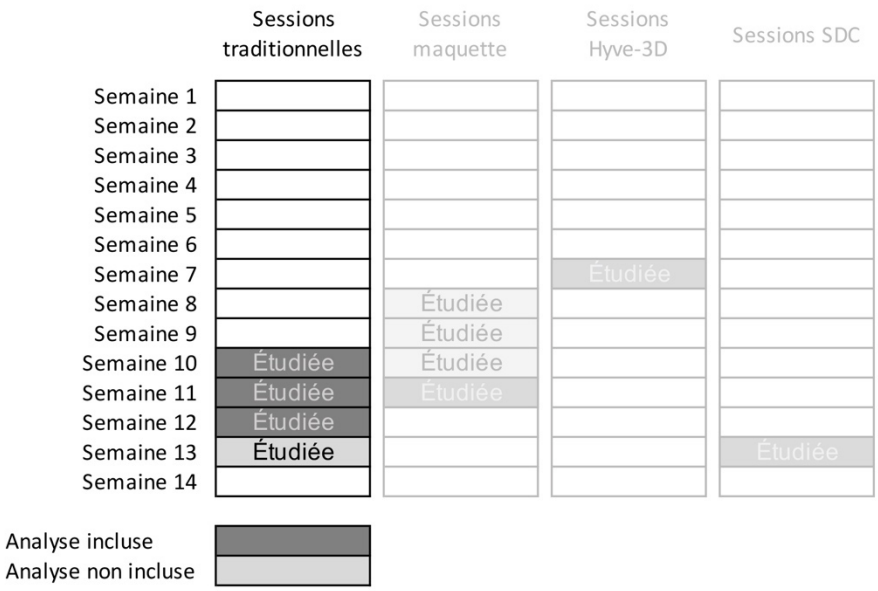


Figure 52 Situation temporelle des sessions étudiées sur un semestre de projet de 14 semaines. Les sessions ont été observées vers la fin du semestre. La semaine 13 n'est pas analysée car le format de la session n'est pas celui d'une session critique mais d'un jury.

Tableau 5 Durée des sessions critiques observées

	Durée session (min)
Étudiante A_1	29
Étudiante A_2	56
Étudiante A_3	43
Étudiante B_1	53
Étudiante B_2	52
Étudiante B_3	35
Étudiante C_1	58
Étudiante C_2	52
Étudiante C_3	60

La description de nos cas de sessions critiques nous permet de contextualiser cette étude par rapport au contenu de ces sessions. Les données que nous avons formalisées sur la situation de la critique, par rapport au modèle de co-conception situé FBS et par rapport à l'écosystème de représentations nous permet de souligner les caractéristique de cette situation.

5.2 Résultats

Ces cas d'étude de sessions critiques traditionnelles ont pour enjeu de discuter nos deux premières questions de recherche liées à la modélisation de la pratique réflexive mentorée dans les sessions critiques de projet dites traditionnelles, sur table :

- Quels sont les rôles de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?
- Quelles sont les actions des participants sur l'écosystème de représentations ?

Pour analyser nos protocoles, nous avons utilisé plusieurs outils méthodologiques présentés au chapitre précédent. Notre analyse s'articule autour des trois caractéristiques décrivant la situation de la session critique : la variation des modes pédagogiques, la pratique réflexive pendant la session critique et l'utilisation de l'écosystème de représentations.

Nous nous sommes attachés à la distribution des processus de conception FBS individuels et co-conçus ainsi que l'occurrence cumulative de ces processus au cours de la session pour analyser l'engagement des participants dans la session. La distribution des interactions entre participants nous permet de pointer la variété des modes pédagogiques pendant la session, où l'étudiante est dans l'observation, la participation individuelle ou la participation collaborative.

Le cœur de l'analyse porte sur la pratique réflexive en elle-même. La coévolution de l'espace de conception est une caractéristique de l'activité de conception et nous pouvons l'analyser sur une session à travers les valeurs de l'indicateur P-S et de l'indicateur P-S temporel. L'étude de la distribution des processus de conception FBS indique la morphologie des sessions en terme de processus mis en place. La corrélation de ces données avec les interactions entre participants nous informe sur les rôles de chacun dans la construction de ces processus de conception. La représentation de l'activité des sessions sur le modèle de co-conception situé FBS donne une représentation qualitative de l'interaction entre acteurs, de la navigation dans l'espace de conception et des processus cognitifs internes de chaque acteur.

Le croisement de ces résultats avec la distribution des actions des participants sur l'écosystème de représentations offre une analyse globale de la pratique réflexive mentorée durant la session critique.

5.2.1 Variation des modes pédagogiques liés aux interactions entre acteurs

5.2.1.1 Activité de conception individuelle et co-conception

Les processus de conception FBS sont des transitions spécifiques entre deux des six éléments de conception (*design issue*) définis dans l'ontologie FBS. Il y a au total 36 transitions possibles et l'ontologie FBS décrit 8 processus de conception, correspondant à 8 transitions. L'ontologie FBS propose une description théorique des processus de conception transformant une *Function* (concept) du projet en une *Structure* (élément concret) du projet par les processus de *Formulation*, *Synthesis*, *Evaluation*, *Analysis* et *Reformulation.* Pour cela, une partie des transitions apparaissant dans nos protocoles ne sont pas considérés comme processus de conception FBS même si ces processus font partie de l'activité de conception.

Par exemple, le processus *Function* (F) > *Structure* (S) est associé à un système de réflexion différent des autres types de processus. Il n'est pas décrit comme processus de conception dans l'ontologie FBS même s'il atteste d'une activité de conception. Dans Kannengiesser & Gero (2019), les deux systèmes de réflexion *fast and slow* de Kahneman (2011) sont intégrés dans la description des processus FBS. Le premier système de réflexion est rapide intuitif et sans effort, représenté par une transition directe entre *Function* et *Structure*. Nous pouvons associer ce type de réflexion à un processus de conception de routine. Le deuxième système de réflexion est lent, met en place un raisonnement analytique et demande une charge cognitive plus importante. Il est représenté par l'ensemble des huit processus de conception FBS décrits dans l'ontologie FBS. Un concepteur utilise différents types de réflexion et donc de processus lors de son activité de conception. Dans la suite des résultats, nous considérons uniquement les huit processus décrits comme activité de conception dans l'ontologie FBS.

Chacun des processus de conception FBS est associé à une de ces quatre interactions possibles définies :

- l'étudiante formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'étudiante,
- l'étudiante formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'enseignant,
- l'enseignant formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'étudiante,
- l'enseignant formule un élément de conception FBS qui est suivi par un élément de conception FBS formulé par l'enseignant.

Les processus de conception associés à des interactions entre deux participants différents sont considérés comme processus de co-conception, alors que les processus de conception FBS associés à une transition entre un participant et lui-même sont considérés comme individuels.

En déterminant les types de processus de conception pendant la session critique nous pouvons discuter de l'engagement des étudiantes dans l'activité de conception. Nous avions proposé un lien dans le § 4.3.1 entre stratégies pédagogiques et participation à l'activité de conception durant la session critique. L'engagement de l'étudiant est défini par trois états liés aux stratégies d'apprentissage cognitif (Collins *et al*., 1991) : l'observation ou participation passive (*modeling*, *reflection*), la participation active individuelle (*exploration*, *articulation*) et la participation active collaborative (*coaching, scaffolding*). Un moment d'observation est lié à la présence de processus de conception individuels formulés par l'enseignant, un moment de participation active est illustré par la présence de processus de conception individuels formulés par l'étudiant alors qu'un moment de participation collaborative est associé à la présence de processus de co-conception.

Sur l'ensemble des neuf sessions, les processus de conception FBS représentent plus de la moitié de l'ensemble des processus potentiels (Tableau 6). La part des processus de conception FBS individuels est toujours la plus grande. En moyenne, pour les étudiantes A et C, ils représentent la moitié des processus potentiels (étudiante A : 50,8% (σ =4,6), étudiante C : 50,0% (σ =11,1)). La part des processus individuels dans les sessions de l'étudiante B est légèrement plus basse que pour les deux autres cas (45,6% (σ =3,1)). La part des processus co-conçus varient de session en session entre 10 et 20%. En moyenne sur les neuf sessions, ces processus représentent 13,6% (σ =4,2) de l'ensemble des processus potentiels.

Tableau 6 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS (individuels et co-conçus) sur l'ensemble des processus potentiels pour chaque session

	Co-conception	Conception individuelle	Pas de processus FBS
Étudiante A_1	10,7	55,5	34,3
Étudiante A_2	20,0	51,4	28,6
Étudiante A_3	10,4	45,9	43,7
Moyenne Étudiante A	**13,7**	**50,8**	**35,5**
Écart-type Étudiante A	*5,4*	*4,6*	*7,6*
Étudiante B_1	15,0	46,0	39,0
Étudiante B_2	13,5	48,5	38,0
Étudiante B_3	9,8	42,3	47,9
Moyenne Étudiante. B	**12,8**	**45,6**	**41,6**
Écart-type Étudiante. B	*2,7*	*3,1*	*5,5*
Étudiante C_1	12,3	42,4	45,3
Étudiante C_2	10,4	62,7	26,9
Étudiante C_3	20,8	44,8	34,4
Moyenne Étudiante C	**14,5**	**50,0**	**35,6**
Écart-type Étudiante C	*5,5*	*11,1*	*9,3*
Moyenne	**13,6**	**48,8**	**37,6**
Écart-type	*4,2*	*6,7*	*7,3*

Pour avoir une analyse plus précise de l'engagement des étudiantes dans la session, nous avons regardé la distribution des processus de conception co-construits et individuels pour chacune de nos quatre interactions d'acteurs. Ces distributions sont normalisées par rapport aux processus de conception et co-conception FBS définis par l'ontologie FBS (ils représentent environ 60% de l'ensemble des transitions du protocole).

Nous voyons que pour la majorité des sessions (8 sur 9), les processus individuels formulés par l'enseignant sont dominants sur les autres types de processus (Figure 53 et Tableau 7). En moyenne, les processus de conception FBS sont à 52,1% (σ =12,5) formulés par l'enseignant. La part des processus individuels exprimés par l'étudiante est en moyenne de 26,1% (σ =10,7). Les processus co-conçus, étudiante > enseignant et enseignant > étudiante, ont des distributions équivalentes, avec des moyennes respectives de 11,2% (σ =3,1) et 10,6% (σ =2,8). Il y a peu de variations dans la distribution des processus de co-conception sur l'ensemble des neuf sessions critiques comme nous pouvons le voir sur le diagramme en boîte sur la Figure 53. Les processus de conception individuels montrent un peu plus de variations.

Tableau 7 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS (individuels et co-conçu) sur l'ensemble des processus potentiels pour chaque session

	Processus Individuels étudiante	Processus co-conçus étudiante > enseignant	Processus co-conçus enseignant > étudiante	Processus Individuels enseignant
Étudiante A_1	24,5	9,4	6,9	59,2
Étudiante A_2	25,2	13,4	14,6	46,8
Étudiante A_3	32,6	10,1	8,4	48,9
Moyenne Étudiante A	**27,4**	**11,0**	**10,0**	**51,6**
Écart-type Étudiante A	*4,5*	*2,1*	*4,1*	*6,6*
Étudiante B_1	23,9	12,5	12,1	51,4
Étudiante B_2	16,4	11,9	9,8	61,9
Étudiante B_3	49,3	9,4	9,4	31,9
Moyenne Étudiante. B	**29,9**	**11,3**	**10,5**	**48,4**
Écart-type Étudiante. B	*17,2*	*1,7*	*1,5*	*15,2*
Étudiante C_1	21,4	10,1	12,3	56,2
Étudiante C_2	11,9	6,6	7,6	73,8
Étudiante C_3	29,6	17,7	14,0	38,8
Moyenne Étudiante C	**21,0**	**11,5**	**11,3**	**56,3**
Écart-type Étudiante C	8,8	5,6	3,3	17,5
Moyenne	**26,1**	**11,2**	**10,6**	**52,1**
Écart-type	*10,7*	*3,1*	*2,8*	*12,5*

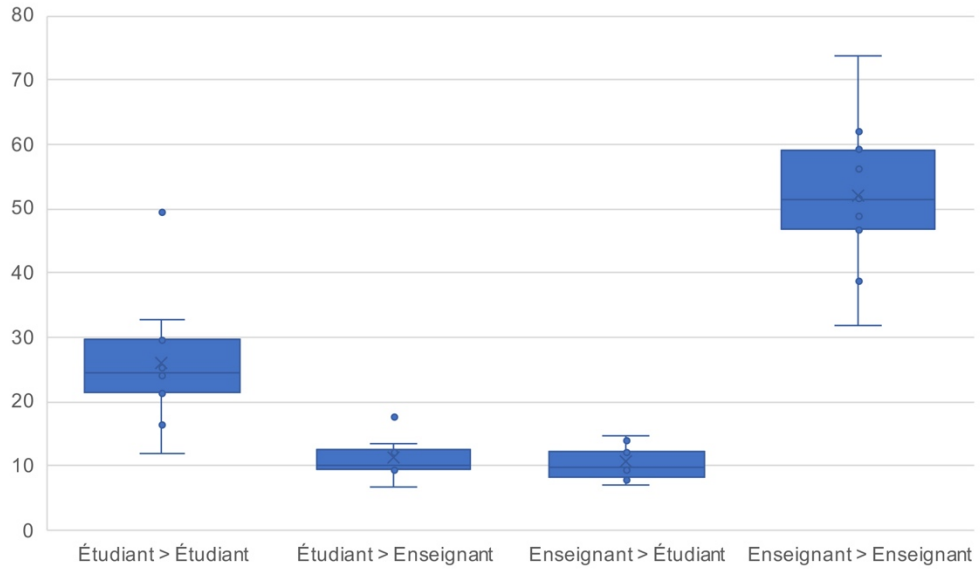


Figure 53 Diagramme en boîte de la distribution (%) des processus de conception FBS par interactions d'acteurs

En résumé, nous avons vu qu'une tendance de répartition des processus apparaît. Environ la moitié sont des processus de conception individuels formulés par l'enseignant et sont

associés à des moments pédagogiques d'observation ou d'engagement silencieux pour l'étudiante. Ils sont les plus présents dans la session critique et suggèrent un temps où l'enseignant pourra questionner le projet et y apporter des réponses sous forme de démonstration. L'étudiante participe de manière active à la session critique lors de processus de conception individuels. Ces moments sont deux fois moins présents que les moments d'observation et représentent un quart des processus de conception FBS. Durant la participation active, l'étudiante présente son projet, explicite son processus de conception et définit ses blocages s'il y en a. Le quart restant représente les processus de co-conception qui sont des moments pédagogiques d'engagement mutuel : les participants peuvent échanger sur un problème dans le projet, définir ou évaluer un élément du projet.

5.2.1.2 Évolution de l'engagement de l'étudiant au cours de la session

Nous allons regarder de manière qualitative l'évolution des processus de conception FBS formulés de manière individuelle par l'étudiante, et co-construits entre l'enseignant et l'étudiante. L'enjeu est de pointer l'intensité de l'engagement de l'étudiante par rapport à sa participation au processus de conception. Pour ce faire, nous avons modélisé ces processus de conception en une courbe des occurrences cumulées (Figure 54 à Figure 62). Ces courbes nous donnent des informations sur l'organisation de ces processus tout au long de la session critique (cf § 4.3.1). La forme de la courbe informe sur la régularité de l'engagement de l'étudiante et la pente sur la fréquence d'apparition des processus. Le Tableau 8, Tableau 9 le et le Tableau 10 synthétisent ces valeurs pour l'ensemble des sessions, pour chacun des processus où l'étudiante participe.

Dans la plupart des cas, les courbes représentant les processus co-conçus ont une tendance linéaire (le coefficient R2 est supérieur à 0,95), ce qui implique que l'engagement des étudiantes dans les processus de co-conception est régulier tout au long de la session (Tableau 9 et Tableau 10). Cependant, les valeurs de la pente de la courbe sont faibles ce qui exprime une faible fréquence d'occurrence de ces processus.

En revanche, lorsqu'on regarde les processus de conception FBS individuels formulés par les étudiantes, on observe que la courbe globale est non linéaire (Figure 54 à Figure 62 et Tableau 8). Les étudiantes formulent un nombre important de processus de conception au début de la session critique, ce qui correspond à la présentation de leurs projets, puis leurs interventions sont rythmées de pauses (plateaux de la courbe) où elles sont dans une

position d'écoute ou dans un échange de processus de co-conception avec l'enseignant. La courbe des occurrences des processus de conception individuels formulés par l'étudiante peut être divisée en deux parties comme nous le voyons sur les graphes. Pour 7 cas sur 9, la courbe des occurrences de ces processus pour la phase 1 est linéaire, ce qui n'est pas le cas pour la deuxième phase (Tableau 8). Notons également la différence de la pente de ces courbes, elle est divisée par quatre entre la phase 1 et la phase 2. Ceci indique que la formulation de processus individuels de conception par l'étudiante baisse fortement une fois que son projet est présentée. En moyenne, la moitié de ces processus est formulée dans le premier quart de la session.

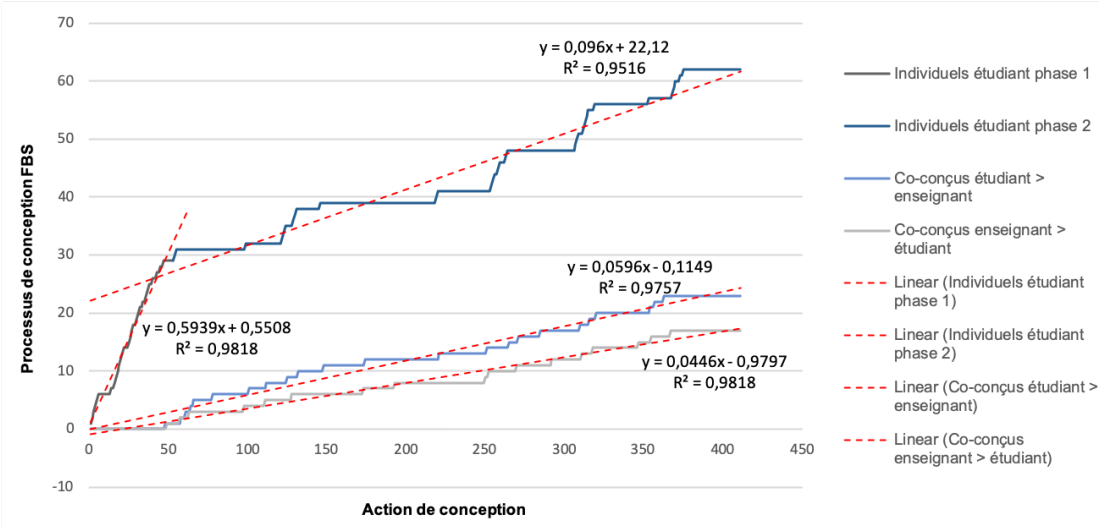


Figure 54 **Occurrences cumulées session 1 étudiante A**

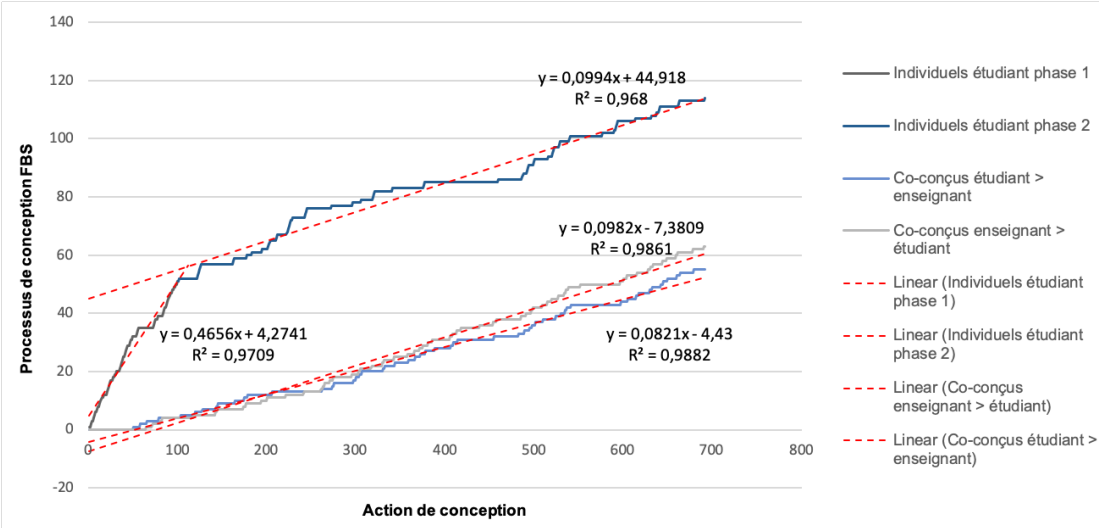


Figure 55 **Occurrences cumulées session 2 étudiante A**

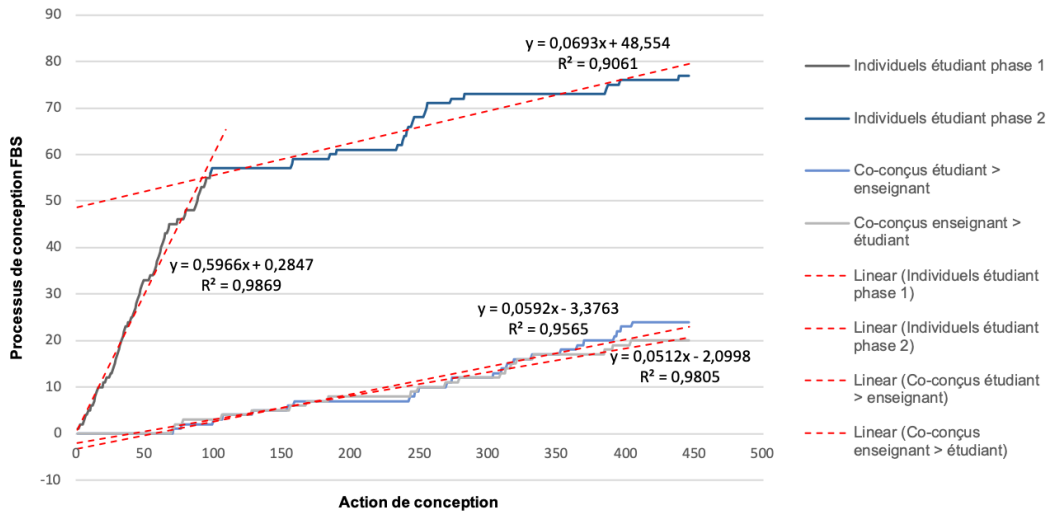


Figure 56 **Occurrences cumulées session 3 étudiante A**

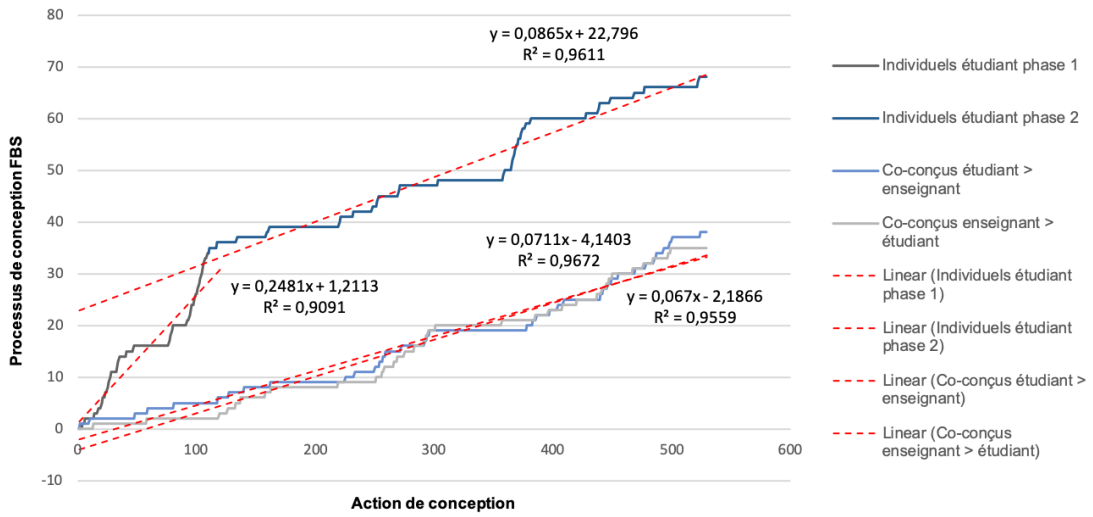


Figure 57 Occurrences cumulées session 1 étudiante B

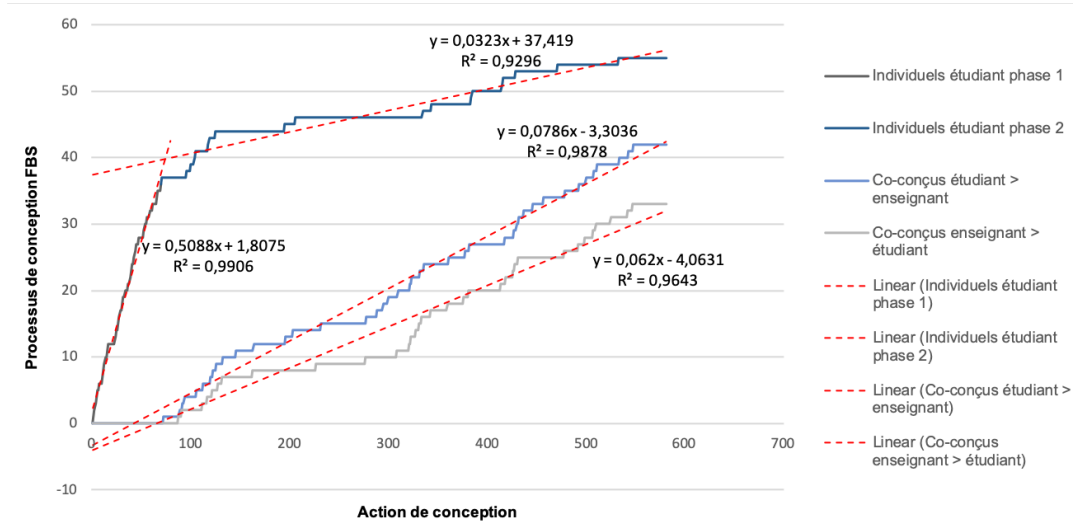


Figure 58 Occurrences cumulées session 2 étudiante B

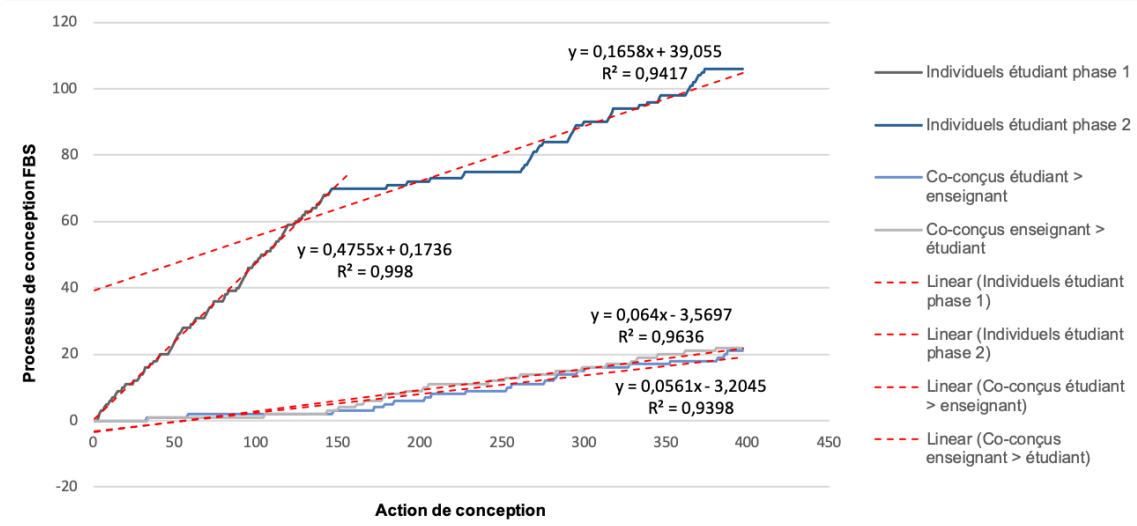


Figure 59 Occurrences cumulées session 3 étudiante B

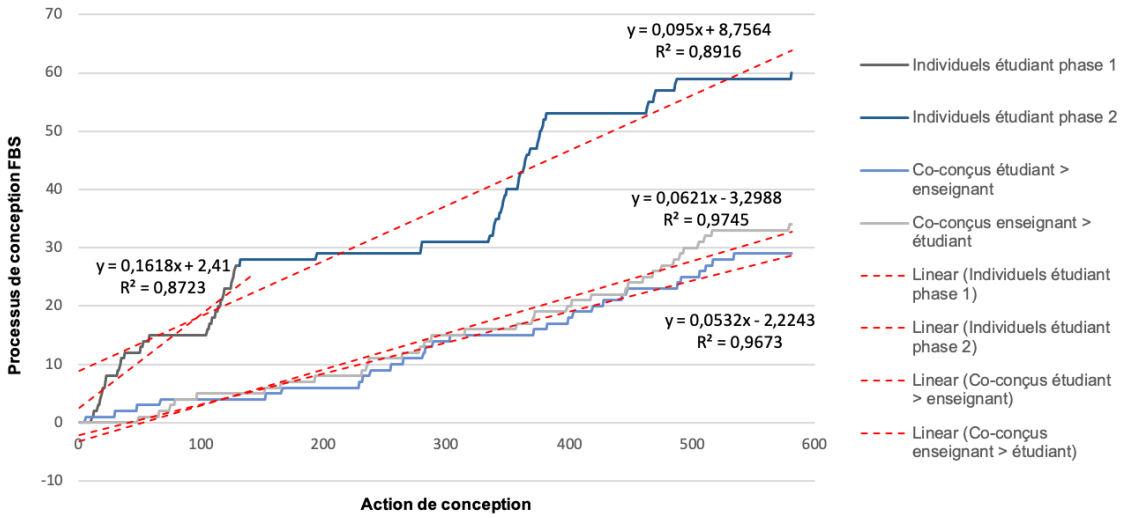


Figure 60 **Occurrences cumulées session 1 étudiante C**

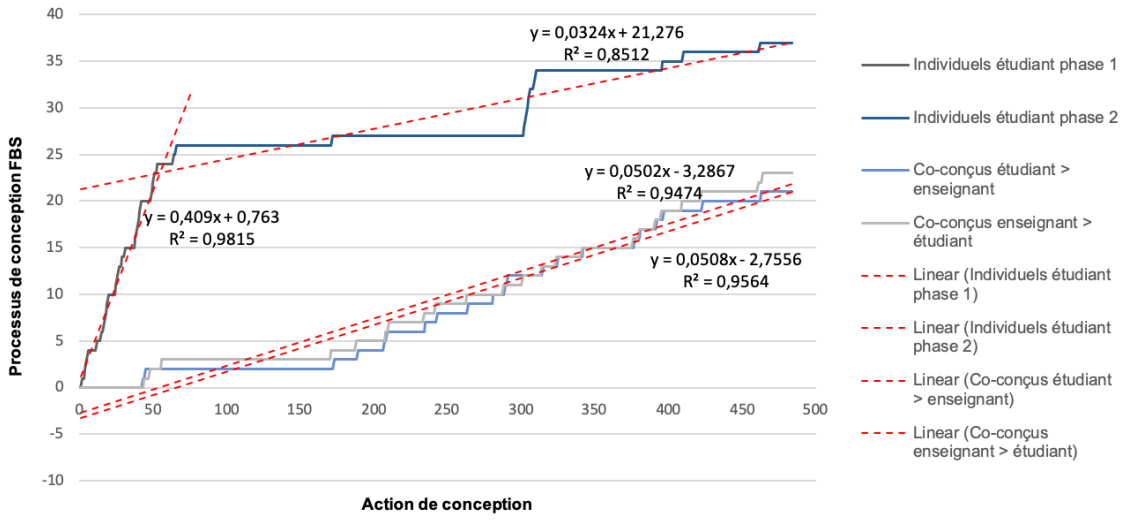


Figure 61 **Occurrences cumulées session 2 étudiante C**

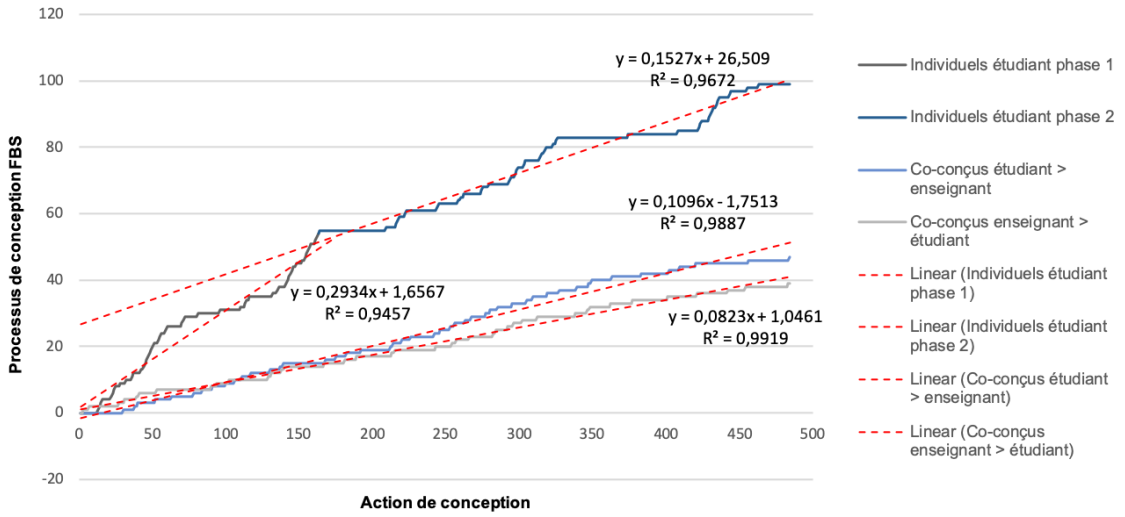


Figure 62 **Occurrences cumulées session 3 étudiante C**

Tableau 8 Mesures liées à l'occurrence cumulée des processus individuels étudiante

	Forme	R^2	Pente
Étudiante A_1 phase 1	Linéaire	0,98	0,59
Étudiante A_2 phase 1	Linéaire	0,97	0,47
Étudiante A_3 phase 1	Linéaire	0,99	0,60
Étudiante B_1 phase 1	Non linéaire	0,91	0,25
Étudiante B_2 phase 1	Linéaire	0,99	0,51
Étudiante B_3 phase 1	Linéaire	0,99	0,48
Étudiante C_1 phase 1	Non linéaire	0,87	0,16
Étudiante C_2 phase 1	Linéaire	0,98	0,41
Étudiante C_3 phase 1	Linéaire	0,95	0,30
Étudiante A_1 phase 2	Linéaire	0,95	0,10
Étudiante A_2 phase 2	Linéaire	0,97	0,10
Étudiante A_3 phase 2	Non linéaire	0,91	0,07
Étudiante B_1 phase 2	Linéaire	0,96	0,09
Étudiante B_2 phase 2	Non linéaire	0,92	0,03
Étudiante B_3 phase 2	Non linéaire	0,94	0,17
Étudiante C_1 phase 2	Non linéaire	0,89	0,10
Étudiante C_2 phase 2	Non linéaire	0,85	0,03
Étudiante C_3 phase 2	Linéaire	0,98	0,15

Tableau 9 Mesures liées à l'occurrence cumulée des processus étu. > ens.

	Forme	R^2	Pente
Étudiante A_1	Linéaire	0,98	0,06
Étudiante A_2	Linéaire	0,99	0,08
Étudiante A_3	Linéaire	0,98	0,05
Étudiante B_1	Linéaire	0,96	0,06
Étudiante B_2	Linéaire	0,99	0,08
Étudiante B_3	Non linéaire	0,94	0,06
Étudiante C_1	Linéaire	0,96	0,05
Étudiante C_2	Linéaire	0,95	0,05
Étudiante C_3	Linéaire	0,99	0,10

Tableau 10 Mesures liées à l'occurrence cumulée des processus ens. > étu.

	Forme	R^2	Pente
Étudiante A_1	Linéaire	0,98	0,04
Étudiante A_2	Linéaire	0,99	0,10
Étudiante A_3	Linéaire	0,98	0,05
Étudiante B_1	Linéaire	0,97	0,07
Étudiante B_2	Linéaire	0,96	0,06
Étudiante B_3	Linéaire	0,96	0,06
Étudiante C_1	Linéaire	0,97	0,06
Étudiante C_2	Linéaire	0,95	0,05
Étudiante C_3	Linéaire	0,99	0,08

En conclusion, nous voyons que l'engagement des étudiantes dans la session critique est très similaire entre les sessions, indépendamment du nombre d'enseignants présents, et de l'enseignant qui y participe. En effet, nous avons observé quatre enseignants différents sur ses sessions. Nous proposons une modélisation des occurrences cumulées des processus où l'étudiante participe dans la Figure 63. La participation active par la formulation de processus de conception individuels est inégale au cours de la session. L'étudiante s'engage dans les premières minutes de la session critique pour présenter son projet et son avancement. Dans la deuxième phase, l'engagement actif de l'étudiante apparaît de manière récurrente par phase, souvent pour clarifier une partie du projet, ou développer un élément du projet. Les processus collaboratifs sont présents tout au long de la session de manière régulière mais peu fréquente. En effet, bien qu'il y ait un échange constructif tout au long de la session, celle-ci se développe par de longs moments de démonstrations individuelles de la part de l'enseignant.

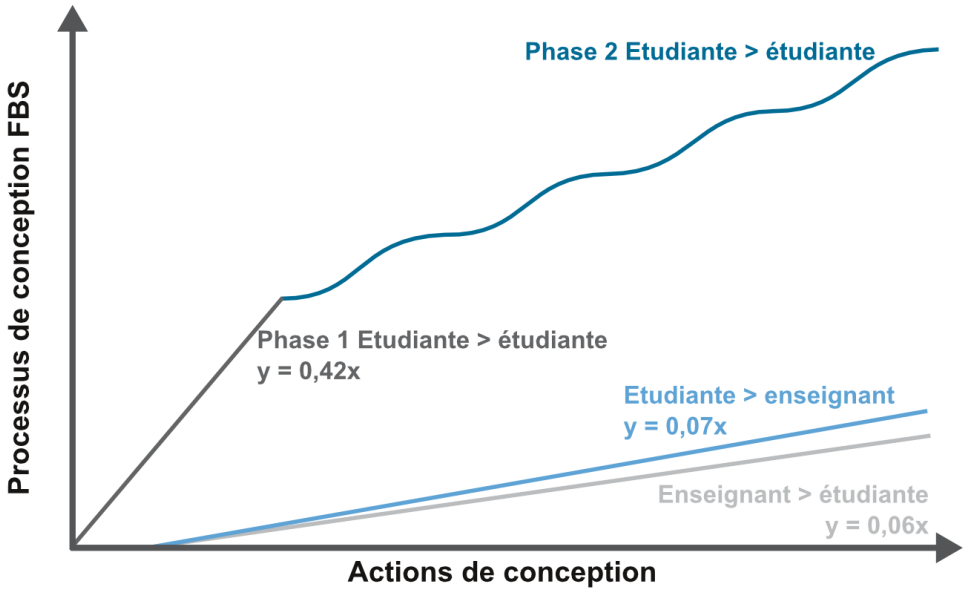


Figure 63 Modélisation des occurrences cumulées des processus de conception où l'étudiante participe

Dans cette section, nous avons vu comment se formalise les trois types d'engagement que nous avons introduits : silencieux, individuel et collaboratif. L'engagement de l'étudiante le plus présent est l'engagement silencieux qui inclut les stratégies pédagogiques de *modeling*, où l'enseignant fait une démonstration de pratique réflexive, et de *reflection*, où l'enseignant peut faire référence à d'autres projets ou précédents de conception pour amener

une réflexion par comparaison et analogie. L'engagement individuel de l'étudiante dans la session critique est important dans le début de la session et diminue ensuite. Lors de ce moment, les stratégies pédagogiques explorées sont l'*articulation*, où l'étudiante formalise ses processus de conception et décrit son projet et, l'*exploration*, où l'étudiante est amenée à reformuler ses problèmes dans le projet pour qu'elle puisse s'y attacher de manière autonome par la suite. L'engagement mutuel des participants dans la critique est constant, et est lié aux stratégies pédagogiques de type *coaching*, où l'enseignant accompagne l'étudiante dans la pratique réflexive et *scaffolding*, où l'enseignant intervient de manière ponctuelle pour apporter des informations constructives à l'étudiante sur un élément du projet.

5.2.2 Analyse de la pratique réflexive

5.2.2.1 Coévolution de l'espace problème et de l'espace solution

La navigation itérative entre espace problème et espace solution est essentielle dans l'activité de conception. Elle est une conséquence du type de problème, mal-défini, auquel le concepteur fait face. La proposition rapide de solution concept permet d'explorer le problème de conception et d'en réduire les possibilités de projet. Cependant, la fixation hâtive sur un concept peut appauvrir le processus de conception et la qualité du projet proposé. Pour cela, la reformulation du concept et des intentions de projet, et la proposition de solutions alternatives est fréquente dans le processus de conception. Ces caractéristiques sont intégrées dans la notion de coévolution de l'espace problème et de l'espace solution et elle sont importantes dans la situation de la critique de projet car l'étudiant doit acquérir ces compétences de proposition d'une solution concept, d'analyse de cette solution par rapport au contexte et de reformulation du problème et du concept par rapport à ce premier concept test.

Nous utilisons l'indicateur P-S pour étudier la coévolution de l'espace problème et de l'espace solution. L'indicateur P-S est une valeur comprise entre -1 et 1 calculée en divisant la différence entre le nombre de segments de type problème (R, F ou Be) et le nombre de segments de type solution (S et Bs) par le nombre total de segments de la session critique. La définition du programme, des normes par rapport au site (Plan Local d'Urbanisme) et au type de bâtiment (sécurité incendie, règles PMR), du concept du projet et des intentions de projet font partie de l'espace problème de conception, alors la concrétisation du projet et son fonctionnement font partie de l'espace solution de conception. Une valeur

d'indicateur P-S de 1 indique que l'effort cognitif est entièrement placé sur l'espace problème alors qu'une valeur d'indicateur P-S de -1 indique que l'effort cognitif est entièrement placé sur l'espace solution.

Les projets des étudiantes se concrétisent au fil du semestre et deviennent de plus en plus précis au cours des sessions en studio de projet. De ce fait, nous nous attendons à ce que la discussion durant les sessions critiques soit de plus en plus orientée sur la solution de conception plutôt que sur le problème de conception. Pour l'ensemble des sessions, l'indicateur P-S est négatif, ce qui signifie que l'activité de conception durant toutes les sessions se situe principalement dans l'espace solution (Tableau 11).

Tableau 11 Évolution du P-S indicateur de session en session

	Séance 1	Séance 2	Séance 3
Étudiante A	-0,36	-0,36	-0,53
Étudiante B	-0,30	-0,53	-0,72
Étudiante C	-0,38	-0,23	-0,50

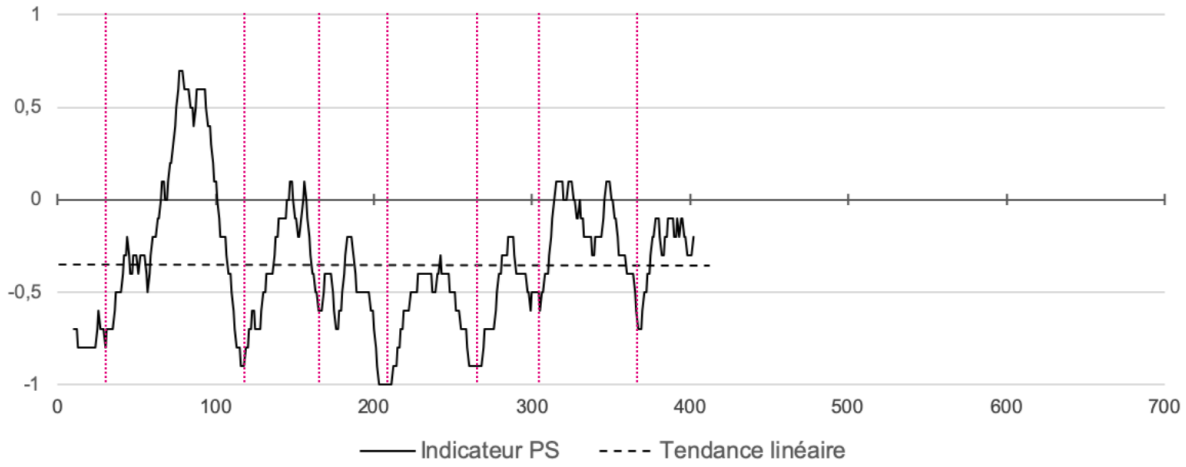
L'indicateur P-S pour l'étudiante A reste le même pour la première et la deuxième session (-0,36) et diminue pour la dernière session (-0,53). Les trois sessions critiques sont principalement focalisées sur la solution proposée, même si durant les deux premières sessions le projet est redéfini et questionné à un niveau conceptuel et par rapport aux intentions de projet. Le projet de l'étudiante A est la proposition d'implantation de deux greffes sur deux pignons de plots de logements existants, près d'une voie de chemin de fer. Lors de la première session critique, le programme proposé, la relation entre le projet et l'environnement ainsi que l'accès aux bâtiments sont questionnés. Lors de la deuxième session, les mêmes interrogations reviennent, principalement concernant le rapport entre la greffe, le pignon et la voie de chemin de fer, ainsi que l'organisation du bloc de circulation. Les typologies des logements sont également interrogées. Une partie de la session est focalisée sur la modification de la maquette pour tester différentes solutions. Lors de la dernière session, le système de circulation et d'implantation des greffes est validé, à quelques détails près, et la session porte sur la définition de la matérialité des façades et sur leur écriture architecturale. La validation du concept du projet entre la deuxième et troisième session est une explication de la variation de la valeur de l'indicateur P-S d'une session à l'autre.

Pour l'étudiante B, les valeurs de l'indicateur P-S diminuent au fur et à mesure de l'avancement du projet, passant de -0,30 à -0,53 pour la deuxième session et -0,72 pour la troisième session. Le projet de l'étudiante B est l'implantation d'une microbrasserie sur une parcelle triangulaire définie à l'intersection de deux voies de chemin de fer. La première session critique interroge le concept du projet à travers les thématiques de mixité et d'imbrication. Le traitement du rapport entre les deux bâtiments agricoles ainsi que leurs rapports à l'environnement ne sont pas satisfaisants et sont discutés pendant la session. Lors de la deuxième session critique, l'implantation du bâtiment est validée et la critique se recentre sur l'organisation spatiale des logements proposés, la structure du bâtiment et de la toiture. Cette session est focalisée sur la définition d'éléments concrets plutôt que sur le questionnement du concept comme la session précédente. Dans la dernière session, les plans des logements sont révisés une nouvelle fois et doivent être ajustés. La discussion tourne principalement autour de la façade et sa matérialité (façade en houblons et façade en polycarbonate).

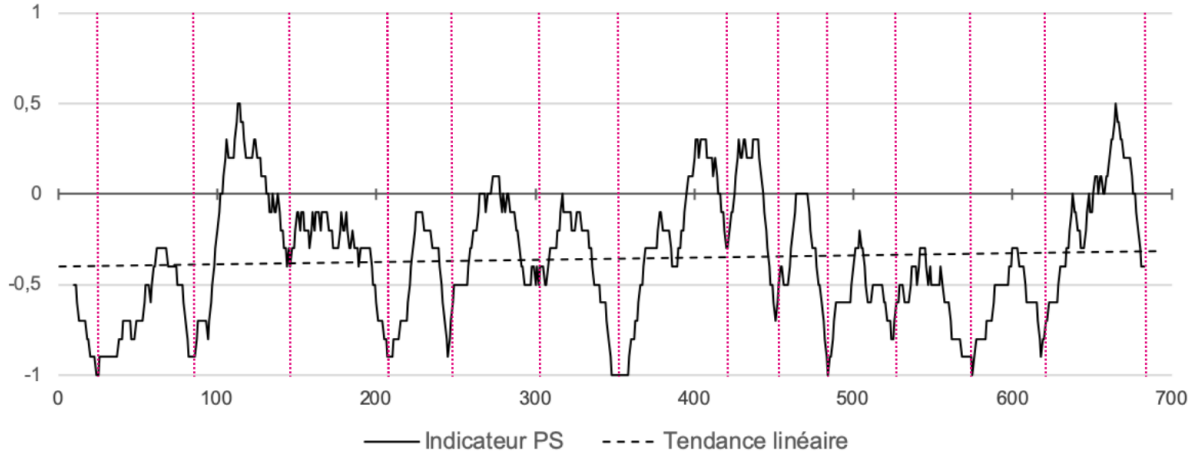
Pour l'étudiante C, on observe que la valeur de l'indicateur P-S augmente à la deuxième session, passant de -0,38 à -0,23. Ceci indique que l'espace problème du projet a été exploré de manière plus importante au cours de cette session. La valeur de l'indicateur de l'étudiante C pendant la session 3 est de -0,50, ce qui indique que l'espace solution est plus sollicité au cours de cette session qu'au cours des deux précédentes. L'étudiante C a pris plus de temps à définir la volumétrie de son projet. Le concept clé de ce projet est la définition d'un nouveau parcellaire avec le rehaussement du sol, ce qui génère un réseau de venelles. Deux types de bâtiments s'implantent sur les nouvelles parcelles, une tour de logements et des nefs habitées. Les deux premières sessions ont été focalisées sur le travail en maquette au 1/500^{éme} pour discuter de l'implantation des bâtiments sur l'ensemble de la parcelle et formaliser les deux typologies de bâtiments. La deuxième session se concentre sur la définition du parti pris conceptuel sur la tour (morphologie, matérialité et circulation). Cela peut expliquer l'augmentation de l'effort cognitif sur l'espace problème en session 2 qui diminue par la suite, car la session se focalise sur la concrétisation d'une proposition de projet. En effet, pour la dernière session, l'étudiante apporte les plans et coupes des nefs habitées et de la tour entièrement dessinés. Un point est fait sur la structure de la tour, et l'organisation spatiale des nefs habitées.

Pour chaque session nous avons calculé la valeur locale de l'indicateur P-S pour une fenêtre de 20 segments afin de représenter la courbe correspondant à l'indicateur P-S temporel (Figure 64 à Figure 66). L'indicateur P-S local dépasse la valeur 0, qui définit un équilibre de l'effort cognitif entre espace problème et espace solution, dans les deux premières sessions mais rarement pour la dernière session. Toutes les sessions montrent les mêmes caractéristiques d'évolution de l'indicateur. La courbe de l'indicateur P-S temporel représente une oscillation, entre une valeur de -1 et 0,6. Pour 7 sessions sur 9, l'indicateur P-S moyen, représenté par la tendance linéaire (ligne en pointillés sur les Figure 64 à Figure 66), augmente entre le début et la fin de la session, ce qui exprime une augmentation du temps passé sur l'espace problème au cours de la session. Pour les deux autres sessions, il n'y a pas de changement de la valeur moyenne entre le début et la fin de la session. L'évolution de l'indicateur P-S de session en session (Tableau 11) tend de plus en plus vers l'espace solution, mais il est intéressant de noter que sur la temporalité d'une session, le focus sur l'espace problème a tendance à augmenter.

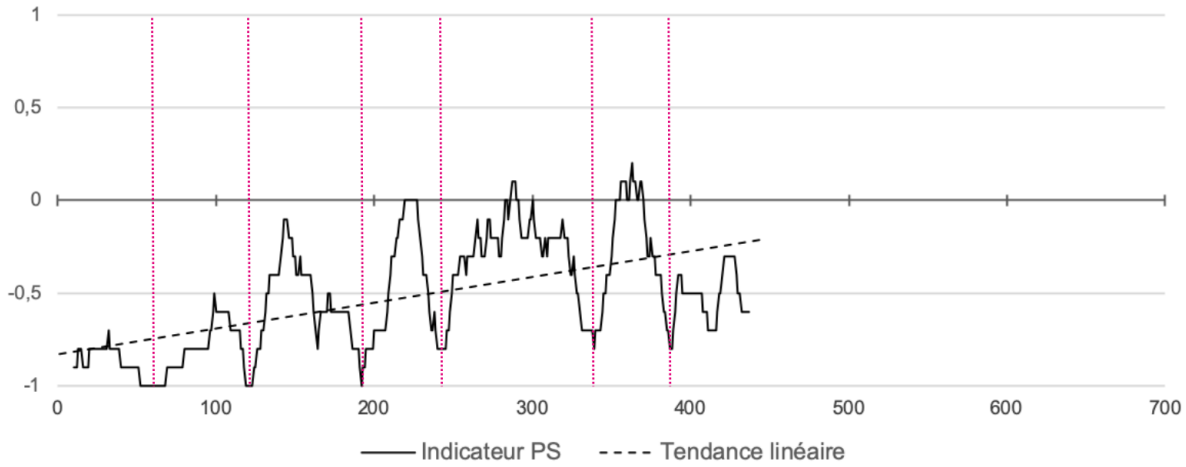
Sur chacun des graphes, nous avons indiqué des sections de sessions qui correspondent à un enchaînement d'un moment d'effort cognitif de la solution vers le problème (valeur augmente) et d'un moment d'effort cognitif du problème vers la solution (valeur diminue). Chacune de ces sections représente entre 50 et 100 verbalisations, ce qui correspond à une durée d'échange entre 4 et 8 minutes. Cette régularité que nous retrouvons sur l'ensemble des sessions rend compte de la coévolution de l'espace problème et de l'espace solution et de la caractéristique itérative de navigation entre problème et solution pendant la critique.



(a)

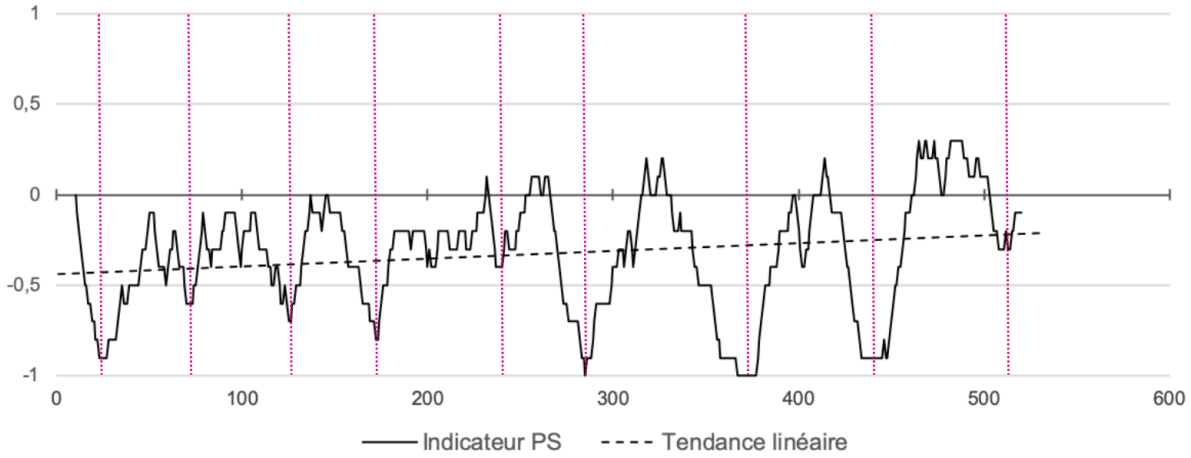


(b)

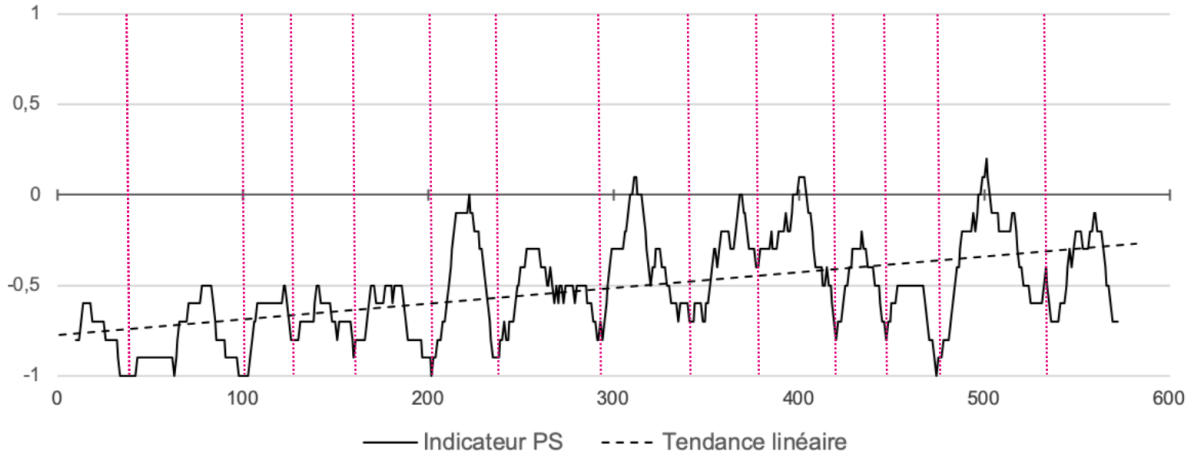


(c)

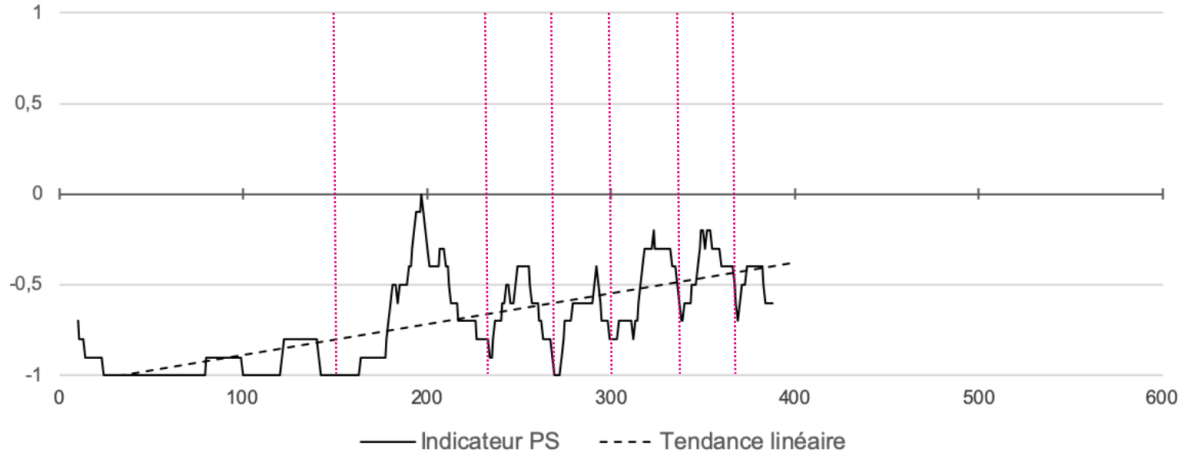
Figure 64 Indicateur P-S temporel pour l'étudiante A : session 1 (a), session 2 (b), session 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution.



(a)

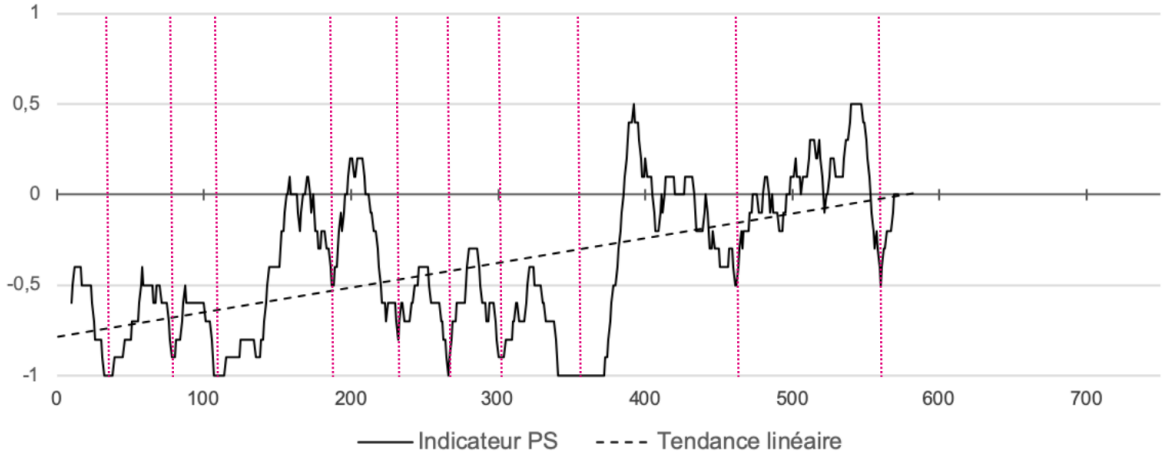


(b)

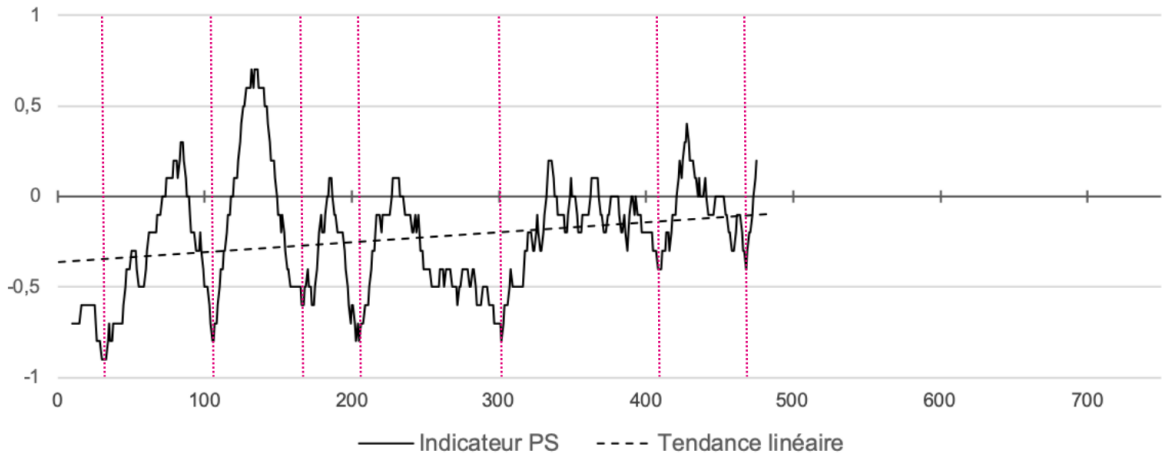


(c)

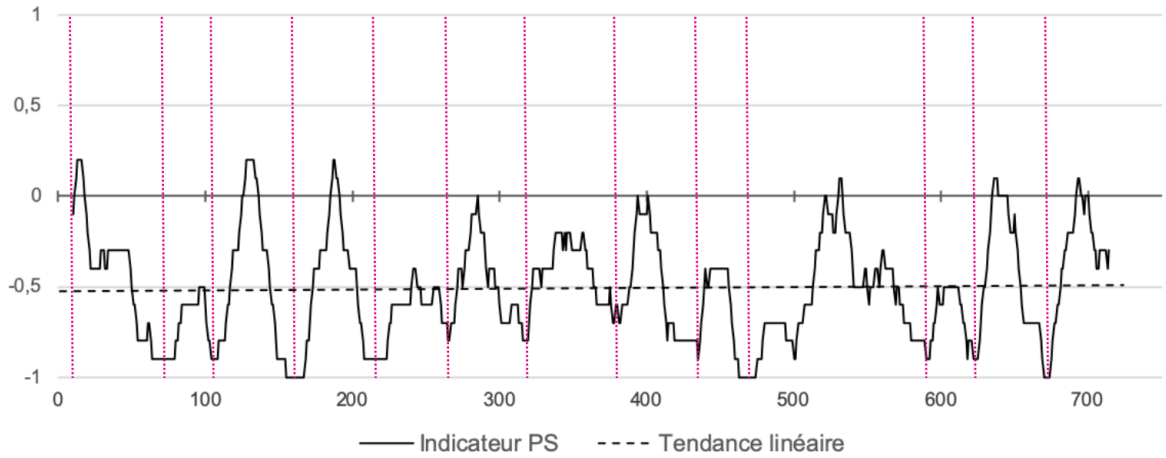
Figure 65 Indicateur P-S temporel pour l'étudiante B : session 1 (a), session 2 (b), session 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution.



(a)



(b)



(c)

Figure 66 Indicateur P-S temporel pour l'étudiante C : session 1 (a), session 2 (b), session 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution.

En résumé, nous avons vu que les sessions critiques sont de plus en en plus focalisées sur la solution du projet. Ces sessions ont été observées dans la dernière partie du semestre durant les semaines 10, 11 et 12 du studio (sur 14 semaines). Cependant, dans les deux premières sessions observées, le concept du projet est souvent questionné, notamment son implantation et son rapport avec l'environnement. Dans la dernière session critique, le cœur de la discussion est plutôt sur la définition de la matérialité des façades et l'organisation spatiale du logement. Le contenu de la session est en accord avec ce qui est indiqué par l'indicateur P-S.

L'indicateur P-S temporel offre une représentation de l'évolution de l'effort cognitif placé par alternance sur l'espace problème du projet et sur l'espace solution du projet. En général, les sessions critiques sont de plus en plus focalisées sur le problème de conception plutôt que la solution. Comme nous l'avons décrit à la section précédente, l'étudiante présente son avancement durant la première partie de la session. Ce moment est centré sur la solution proposée, et suivi d'une discussion sur certains éléments à revoir. L'indicateur P-S temporel met en avant la coévolution entre espace problème et espace solution par cycle de 4 à 8 min (50 à 100 segments du protocole) (Figure 67).

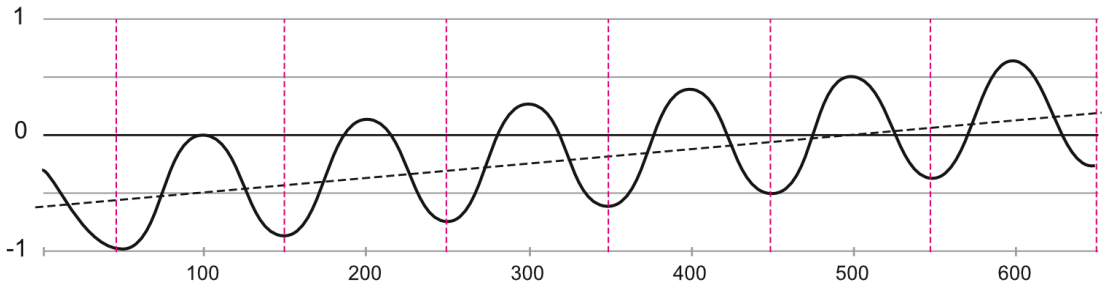


Figure 67 Tendance d'indicateur P-S temporel pour une session critique traditionnelle sur table. L'indicateur a tendance à augmenter entre le début et la fin de la session ce qui montre que l'activité est de plus en plus focalisée sur l'espace problème. Ici, nous représentons une oscillation sur une fenêtre de 100 segments (8 minutes) qui indique le phénomène itératif de la coévolution de l'espace problème et de l'espace solution durant l'activité de conception de la session critique.

5.2.2.2 Dominance des processus FBS

Pour chacune des sessions, nous avons calculé la distribution de chacun des processus de conception FBS (Tableau 12) pour comprendre la morphologie des sessions en terme de processus de conception formulés. Pour toutes les sessions exceptée la session 2 de l'étudiante C, les processus *Analysis* et *Reformulation 1* sont dominants et représentent au moins 50% de l'ensemble des processus de conception formulés pendant la session. Ces processus

se situent uniquement dans l'espace solution, ce qui montre encore la prévalence de l'effort cognitif placé sur la solution de conception plutôt que sur le problème de conception.

Tableau 12 Distribution (%) normalisée des processus de conception FBS pour chaque session

	Form.	Synth.	Analysis	Eval.	Ref. 1	Ref. 2	Ref.3
Étudiante A_1	1,3	17,5	23,5	12,8	27,4	16,2	1,3
Étudiante A_2	0,7	15,6	22,0	15,8	29,9	13,8	2,2
Étudiante A_3	1,8	9,5	29,4	17,6	32,1	6,8	2,7
Étudiante B_1	1,9	18,1	22,6	15,5	26,8	13,6	1,5
Étudiante B_2	0,9	12,9	27,0	15,1	32,1	10,1	1,9
Étudiante B_3	1,0	4,4	36,8	7,4	42,6	4,4	3,4
Étudiante C_1	3,8	11,5	25,7	19,9	25,3	11,5	2,3
Étudiante C_2	3,1	18,2	16,1	18,5	25,7	16,1	2,4
Étudiante C_3	0,7	12,7	26,7	14,2	35,0	10,3	0,5
Moyenne S. 1	**2,3**	**15,7**	**23,9**	**16,1**	**26,5**	**13,8**	**1,7**
Écart type S. 1	*1,3*	*3,7*	*1,6*	*3,6*	*1,1*	*2,4*	*0,5*
Moyenne S. 2	**1,6**	**15,5**	**21,7**	**16,5**	**29,2**	**13,3**	**2,2**
Écart type S. 2	*1,3*	*2,6*	*5,5*	*1,8*	*3,2*	*3,0*	*0,3*
Moyenne S. 3	**1,2**	**8,9**	**30,9**	**13,1**	**36,6**	**7,2**	**2,2**
Écart type S. 3	*0,6*	*4,2*	*5,2*	*5,2*	*5,4*	*2,9*	*1,5*

La distribution des processus de conception de type *Reformulation 1* augmente entre la première et la troisième session, avec une moyenne de 26,5% (σ =1,1) pour la session 1, 29,2% (σ =3,2) pour la session 2 et 36,6% (σ =5,4) pour la session 3. La distribution des processus *Analysis* diminue légèrement de la session 1 (M=23,9%, σ =1,6) à la session 2 (M=21,7%, σ =5,5) et augmente au cours de la troisième session (M=30,9%, σ =5,2).

La distribution des processus *Synthesis*, *Evaluation* et *Reformulation 2* est similaire pour les sessions 1 et 2. Pour les deux premières sessions ces processus représentent respectivement environ 15%, 16% et 13% de l'ensemble des processus de conception. Lors de la dernière session, la distribution moyenne de ces processus diminue : pour les processus *Synthesis*, elle est de 8,9% (σ =4,2), pour les processus *Evaluation*, elle est de 13,1% (σ =5,2) et pour les processus *Reformulation 2*, elle est de 7,2% (σ =2,9).

Les processus de *Formulation* et *Reformulation 3* représentent pour chaque session moins de 4% de l'ensemble des processus de conception. Les processus de *Formulation* ont

tendance à diminuer de session en session alors que les processus de *Reformulation 3* ont tendance à légèrement augmenter.

L'analyse factorielle des correspondances entre les neuf sessions critiques et les processus de conception FBS dominants donne une représentation qualitative des prévalences des processus de conception pour chaque session (Figure 68). Les processus de conception dominants utilisés pour l'analyse factorielle des correspondances sont *Synthesis*, *Analysis*, *Evaluation*, *Reformulation 1* et *Reformulation 2*. L'ensemble des sessions 1, 2 et 3 n'apparaît pas dans le même cadrant ce qui indique que nos neuf sessions ont des différences et similitudes relatives qui ne sont pas principalement liées à la temporalité des sessions en ce qui concerne la distribution des processus de conception. Les sessions 1 des trois étudiantes et deux des sessions 2 apparaissent d'un côté de la première dimension (partie droite du graphe). Les sessions 3 des trois étudiantes, ainsi que la session 2 de l'étudiante B apparaissent de l'autre côté de la première dimension (partie gauche du graphe).

La partie droite de la première dimension du graphe contient des processus de navigation entre espace problème et espace solution (*Synthesis*, *Evaluation* et *Reformulation 2*) alors que la partie gauche de la première dimension du graphe contient des processus principalement situés dans l'espace solution (*Analysis*, *Reformulation 1*). La représentation de la relation entre sessions critiques et processus de conception illustre une tendance observée par l'analyse de l'évolution de l'indicateur P-S. De manière générale, les sessions 1 et 2 s'associent aux processus *Synthesis*, *Evaluation* et *Reformulation 2* alors que les sessions 3 s'associent plutôt au processus *Analysis* et *Reformulation 1* qui sont des processus situés dans l'espace solution. Cela est cohérent avec notre observation des variations de l'indicateur P-S de session en session.

Nous avons pointé quelque divergences dans la distribution des processus de session en session mais dans l'ensemble il y a peu de variations. Comme nous pouvons le voir sur le diagramme à boîtes, les processus *Analysis* et *Reformulation 1* sont dominants, suivis par les processus *Synthesis*, *Analysis* et *Reformulation 2* (Figure 69). Les processus *Formulation* et *Reformulation 3* sont les moins fréquents tout au long de la session.

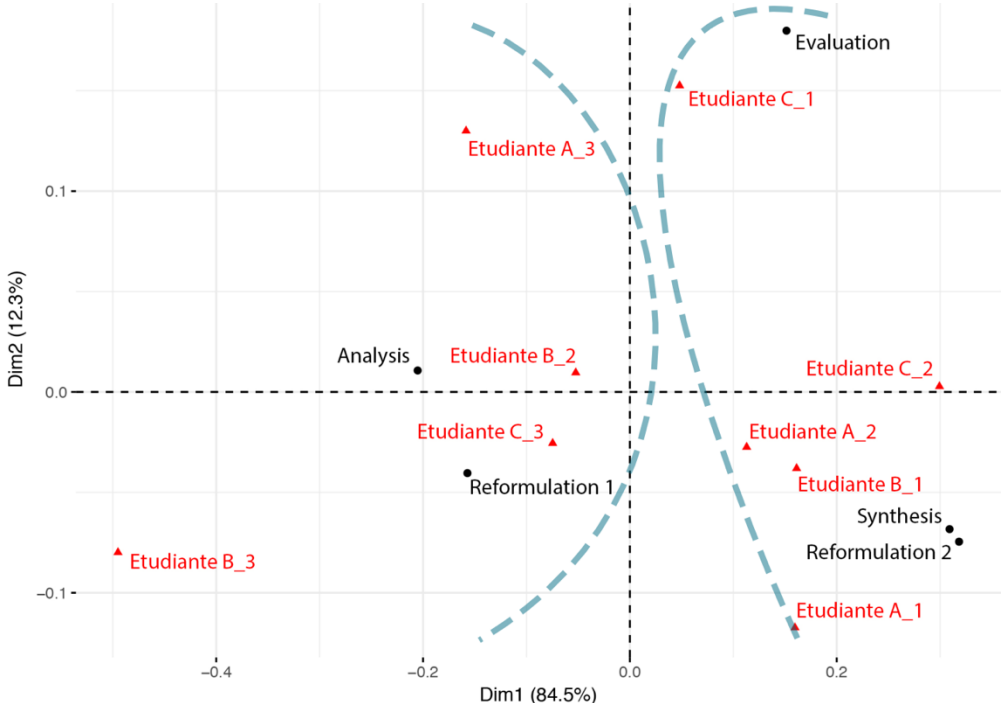


Figure 68 Analyse factorielle des correspondances entre les neufs sessions et les processus de conception FBS. 96,8% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les sessions (rouge) et les processus de conception (noir).

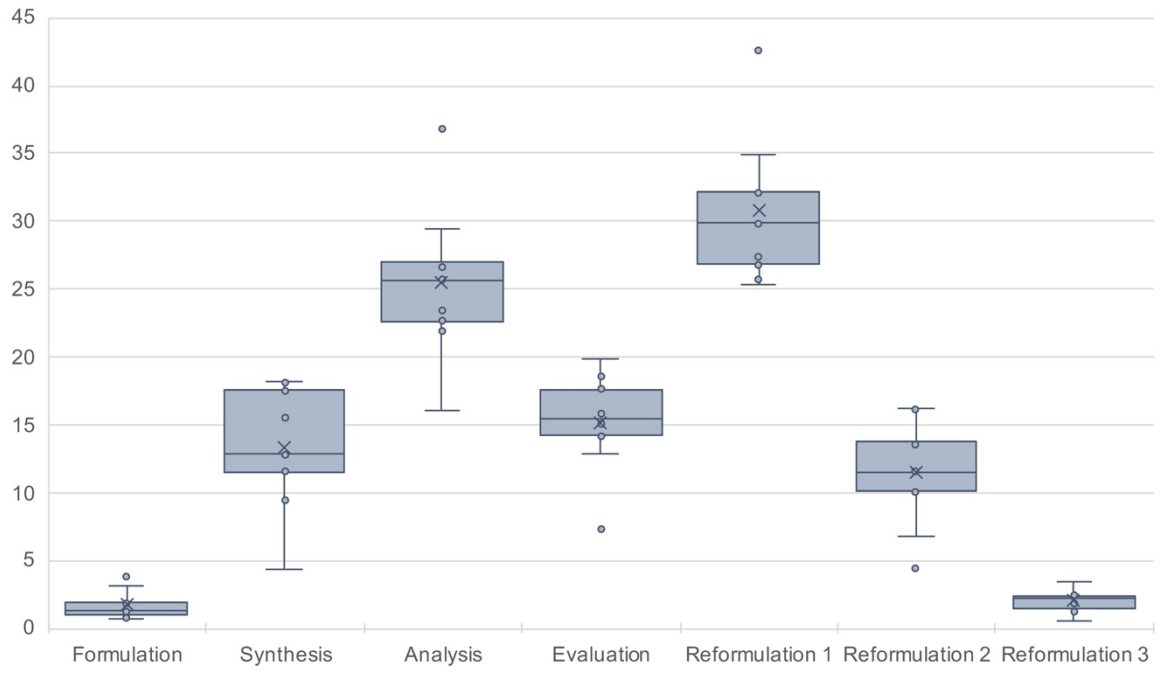


Figure 69 Diagramme en boîte de la distribution (%) des processus de conception FBS

En résumé, nous avons vu que la distribution des processus de conception FBS est quasiment identique entre la session 1 et 2. Une différence est observée dans la distribution des processus de conception FBS pour la dernière session avec une augmentation des processus

Analysis et *Reformulation 1* et une baisse des processus *Synthesis* et *Reformulation 2*. Ce changement concorde avec nos observations de l'évolution de l'effort cognitif de session en session, qui est de plus en plus centrée sur l'espace solution du projet. Cependant cette variation n'affecte pas la tendance générale de distribution des processus de conception.

La pratique réflexive mentorée durant la session critique se focalise principalement sur l'espace solution de l'espace de conception. Les processus de conception dominants, Analysis et Reformulation 1 se situent uniquement dans l'espace solution et représentent plus de la moitié de l'ensemble de l'activité de conception pendant la session critique. Ils consistent en l'explication et la description des éléments concrets développés dans le projet. La conception en architecture est orientée sur la solution car la synthèse de solutions concepts (*primary generator*) permet de reformuler le problème lié au programme, à l'environnement et aux intentions du concepteur.

5.2.2.3 Rôle de chaque acteur et évolution

Nous nous sommes intéressés au rôle de chaque acteur pour comprendre leur contribution dans la pratique réflexive mentorée de la session critique. L'étudiante initie la session en présentant son projet, et il s'ensuit un échange entre enseignant et étudiante sur le projet présenté. L'enseignant pourra demander des clarifications sur un élément, poser des questions pour pousser à la réflexion, pointer des éléments problématiques et parfois suggérer une solution partielle ou totale à un problème mis en avant. Nous cherchons à analyser s'il y a une association entre processus de conception FBS et participants qui illustrerait les rôles décrits ci-dessus. Pour chaque session, nous avons effectué une analyse factorielle des correspondances entre la distribution moyenne des processus de conception FBS dominants (session 1, 2 et 3) et les quatre interactions d'acteurs possibles. Les résultats des analyses factorielles de chaque session sont représentés dans un graphe (session 1 en Figure 70, session 2 en Figure 71, session 3 en Figure 72).

Nous observons une gradation entre processus individuels de l'enseignant, processus de co-conception, et processus individuels de l'étudiante sur chacun des graphes, par rapport à la dimension 1 (en abscisse). Les quatre interactions d'acteurs ont des positions relatives similaires pour l'ensemble des sessions.

Nous voyons également que les processus de navigation dans l'espace de conception (problème / solution) apparaissent d'un côté de la première dimension alors que les processus

situés dans l'espace solution (*Analysis* et *Reformulation 1*) se trouvent de l'autre côté de cette dimension (en abscisse). Les processus individuels de l'enseignant sont les seuls qui sont associés aux processus de navigation de l'espace de conception. Les processus *Evaluation* et de *Reformulation 2* correspondent avec l'action de pousser à la réflexion sur le projet et de pointer des éléments problématiques. Le processus *Synthesis* peut s'assimiler à la formalisation d'un élément de solution. La formulation de processus FBS par les étudiantes est associée aux processus d'*Analysis* pour toutes les sessions, ce qui est cohérent avec l'action de présenter et d'expliquer le projet.

En ce qui concerne les processus de co-conception, l'interaction enseignant > étudiante apparaît toujours dans le même quadrant que le processus *Reformulation 1* alors que l'interaction étudiant > enseignant apparaît toujours dans le même quadrant que le processus *Analysis*.

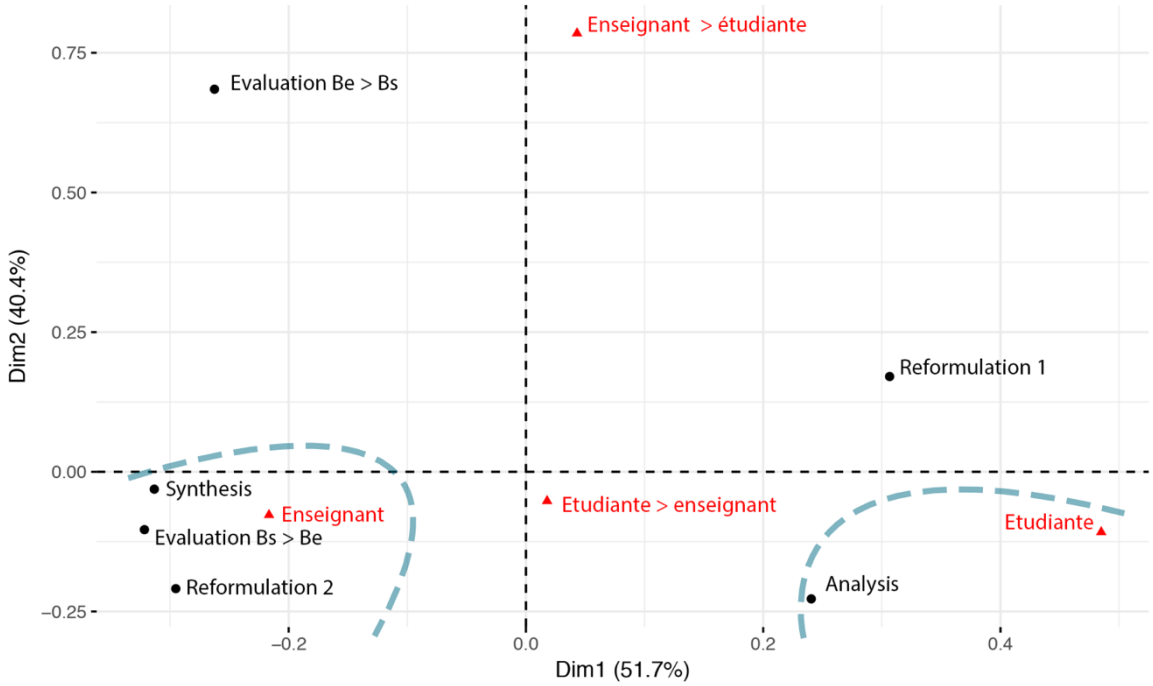


Figure 70 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions d'acteurs et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour la session 1. 92,3% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions d'acteurs (rouge) et les processus de conception (noir).

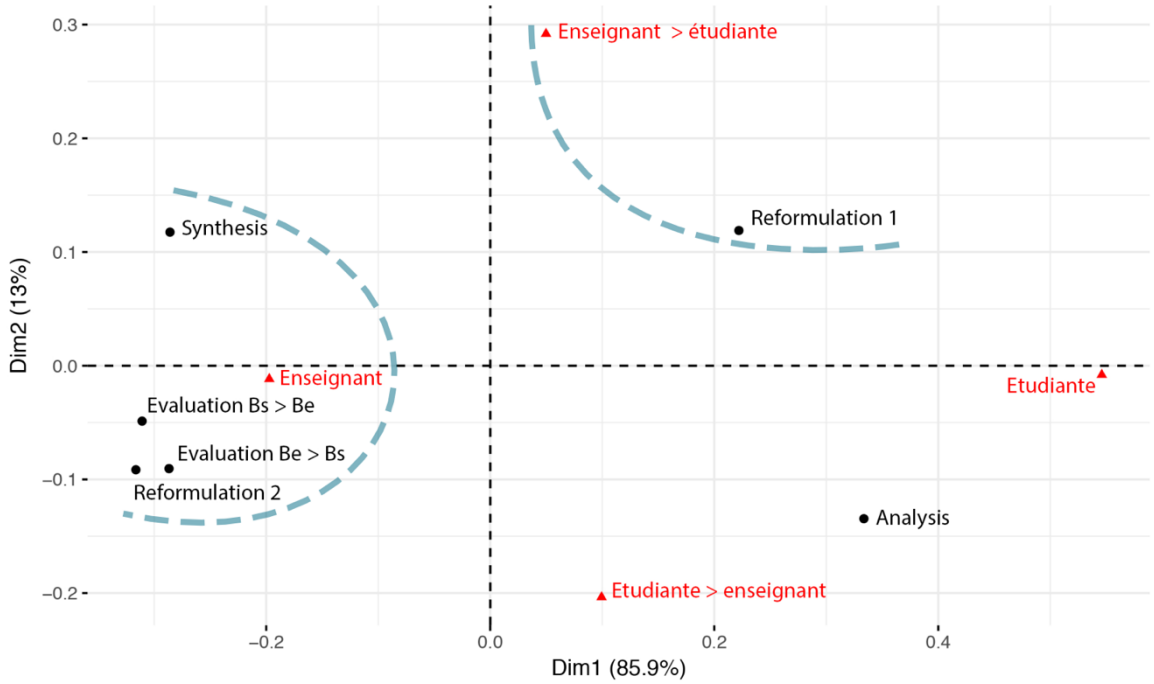


Figure 71 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions d'acteurs et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour la session 2. 98,1% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions d'acteurs (rouge) et les processus de conception (noir).

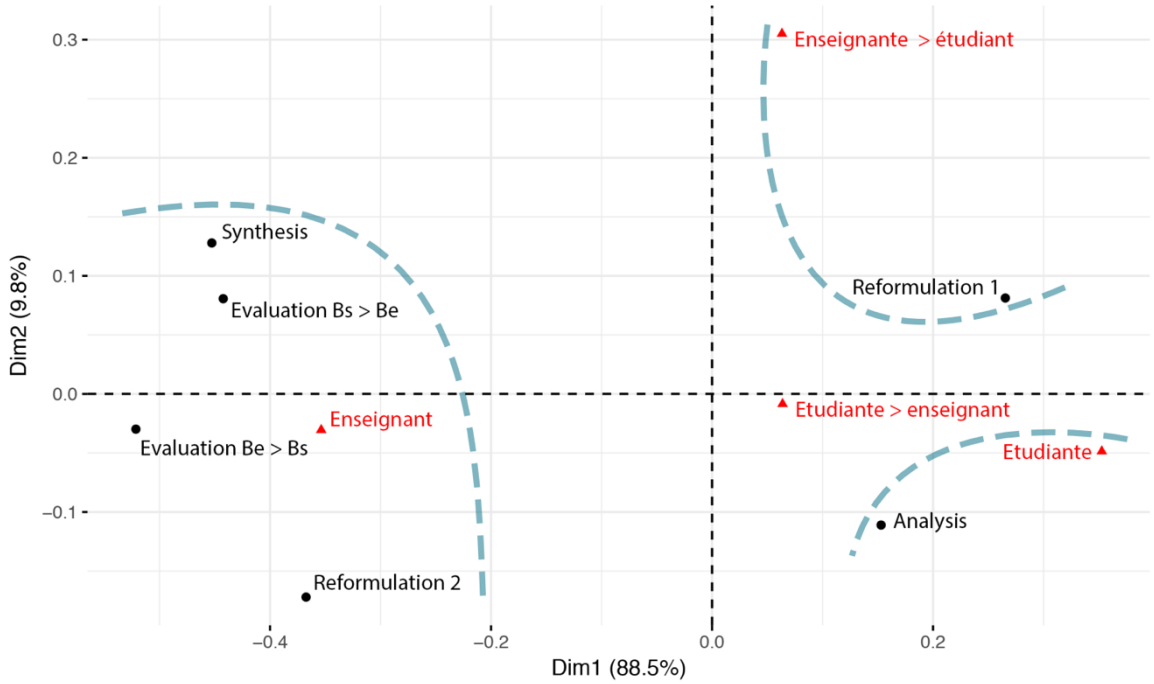


Figure 72 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions d'acteurs et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour la session 3. 98,3% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions d'acteurs (rouge) et les processus de conception (noir).

En résumé, nous remarquons qu'il y a peu d'évolution des rôles de chaque acteur au cours des trois sessions critiques. L'association des processus de conception FBS avec chaque acteur est cohérente avec leur rôle durant la session : l'enseignant évalue et questionne le projet (*Evaluation*), pointe des problèmes, reformule les intentions de projet (*Reformulation 2*) et peut parfois proposer une solution (*Synthesis*) ; l'étudiante présente et décrit le fonctionnement de son projet (*Analysis*).

5.2.2.4 Représentation qualitative des processus cognitifs de conception de chaque acteur

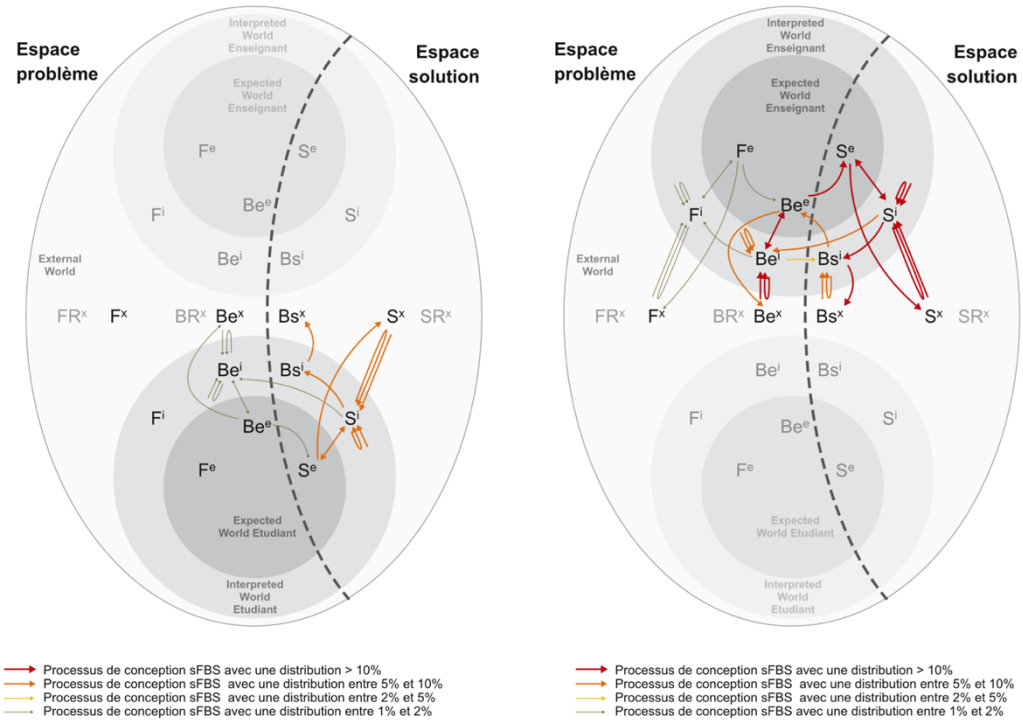
L'analyse factorielle des correspondances a révélé des différences relatives entre les processus de conception formulés par l'enseignant et l'étudiante pendant les sessions critiques. Pour avoir une représentation plus détaillée et qualitative du rôle de chaque acteur et de son évolution au cours des sessions, nous avons utilisé le modèle de co-conception situé FBS pour représenter les processus de conception situés FBS à chaque session. Les distributions moyennes des processus de conception représentant au moins 1% de l'ensemble des processus de conception formulés au cours d'une session sont représentés pour chaque type d'interaction.

Les processus de conception individuels dominants des étudiantes sont *Reformulation 1* et *Analysis* pour l'ensemble des trois sessions (voir flèches rouges et oranges Figure 73(a), Figure 74(a), Figure 75(a)). Les processus *Synthesis* et *Reformulation 2* et *Evaluation (Bs>Be)* apparaissent comme processus secondaires dans certaines des sessions critiques.

L'enseignant met en place des processus de conception individuels plus variés que les étudiantes (Figure 73(b), Figure 74(b), Figure 75(b)). Les processus mis en place sont similaires de session en session, seul le processus de *Formulation (F>Be)* disparaît dans la session 3 (Figure 75(b)). Les processus dominants formulés de manière individuelle par l'enseignant sont *Synthesis*, *Analysis* et *Reformulation 1* pour les trois sessions (flèches rouges pour les sessions 1 et 2 Figure 73(b) et Figure 74(b), et flèches oranges pour la session 3 Figure 75(b)). Les processus *Evaluation (Be>Bs)* ou *(Bs>Be)*, ainsi que les processus *Reformulation 2* sont également formulés par l'enseignant avec une distribution un peu plus faible (flèches oranges pour les sessions 1 et 2 Figure 73(b) et Figure 74(b), et flèches jaunes pour la session 3 Figure 75(b)).

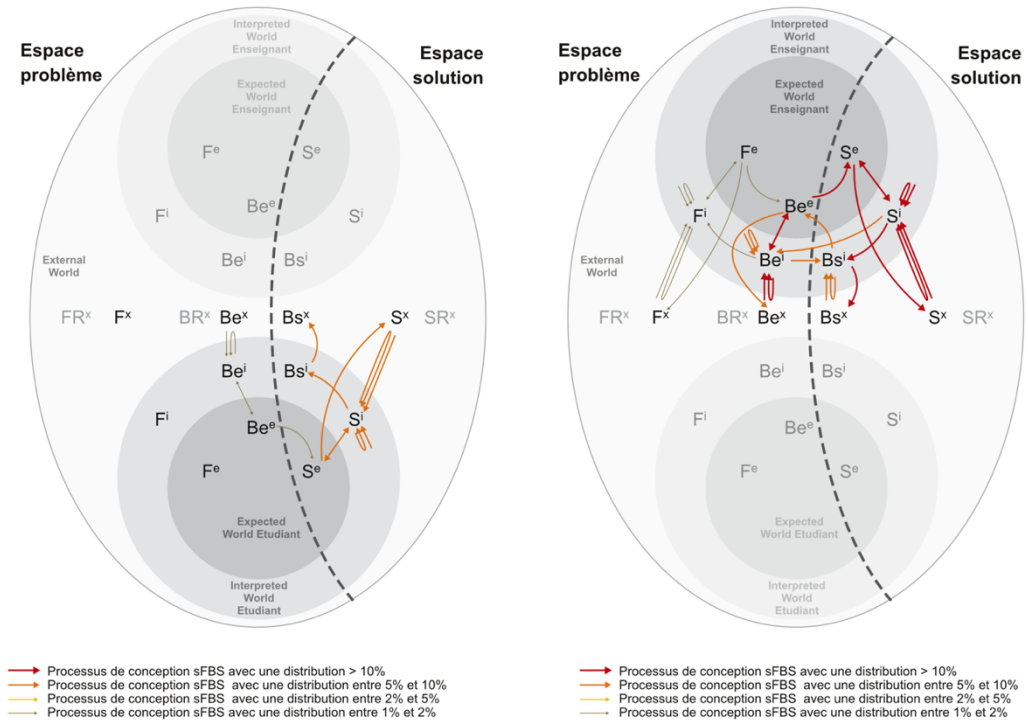
Les processus co-conçus changent légèrement de session en session. En ce qui concerne les processus co-conçus initiés par l'enseignant, les processus *Formulation (Be > Be)*, *Synthesis* et *Reformulation 1*, apparaissent sur l'ensemble des sessions et varient en intensité (Figure 76(a), Figure 77(a), Figure 78(a)). Seulement lors de la première session, le processus *Evaluation (Be > Bs)* est utilisé. Dans la deuxième session, le processus *Analysis* apparaît et devient dominant dans la dernière session.

Pour les processus co-conçus initiés par l'étudiante (Figure 76(b), Figure 77(b), Figure 78(b)), les processus *Reformulation 1* sont dominants dans toutes les sessions, de même que le processus *Analysis* dont la distribution augmente de session en session. Les processus de transitions de l'espace solution vers l'espace problème sont présents dans les deux premières sessions mais n'apparaissent pas dans la dernière session. Le processus de *Formulation (Be > Be)* apparaît dans toutes les sessions. Lors des processus de co-conception, nous observons une reformulation du problème de conception lors de processus co-conçus initiés par l'étudiante. Lorsque l'étudiante répond de manière collaborative à l'enseignant, les processus utilisés restent situés dans le même espace de conception, ou indiquent une navigation de l'espace problème à l'espace solution.



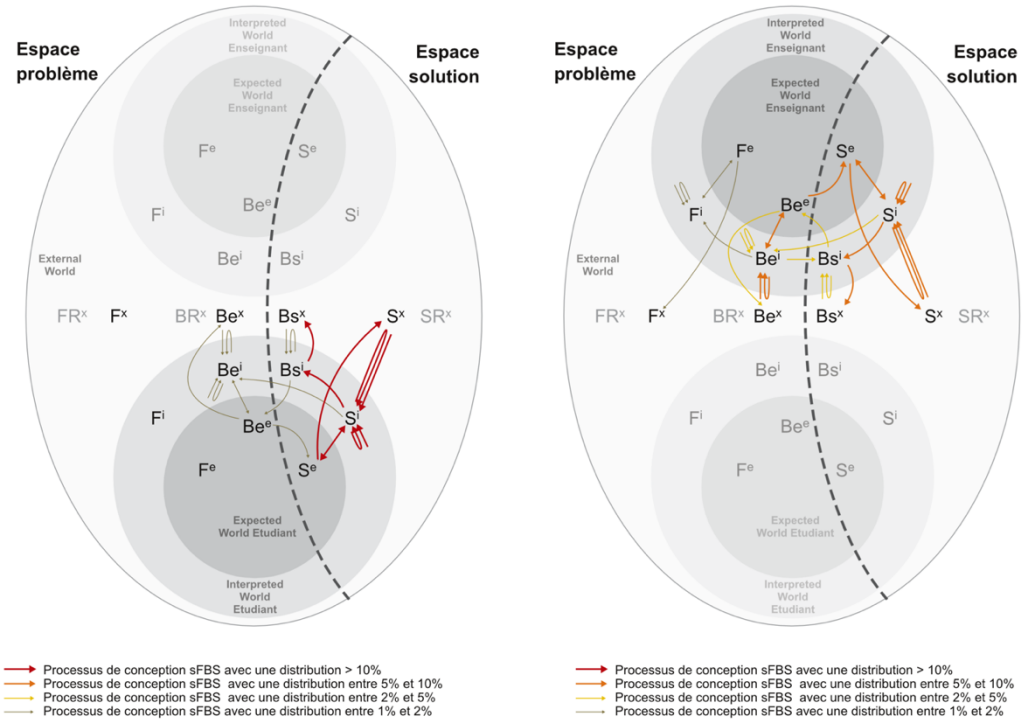
(a) (b)

Figure 73 Représentation des processus sFBS de conception individuels étudiante (a) et enseignant (b) pour la session 1



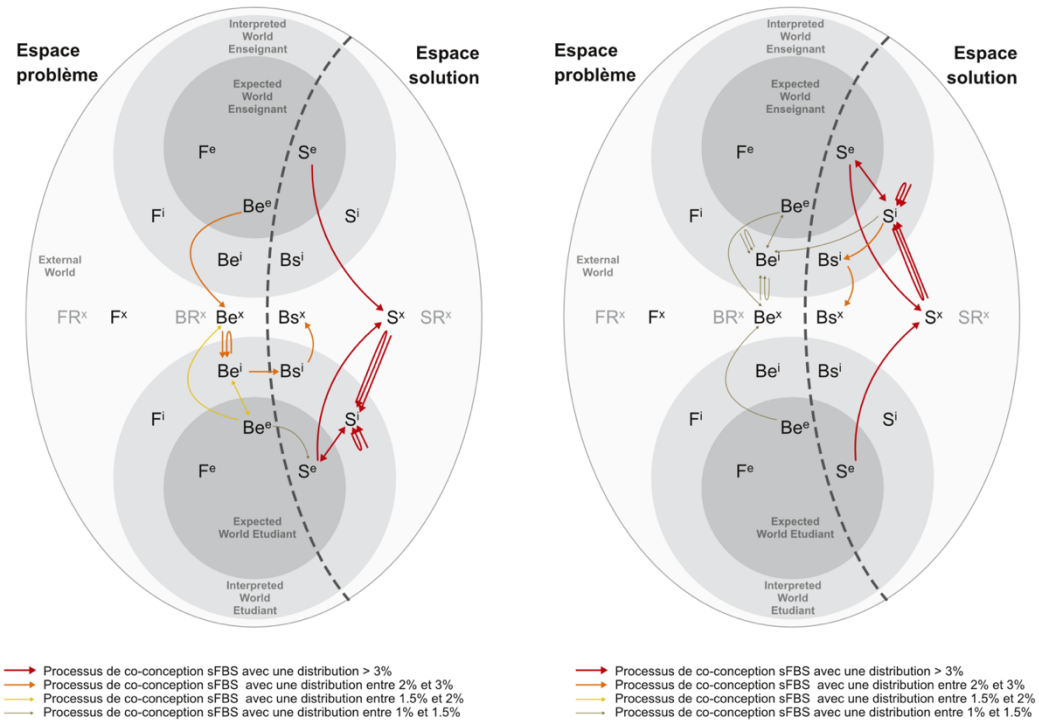
(a) (b)

Figure 74 Représentation des processus sFBS de conception individuels étudiante (a) et enseignant (b) pour la session 2



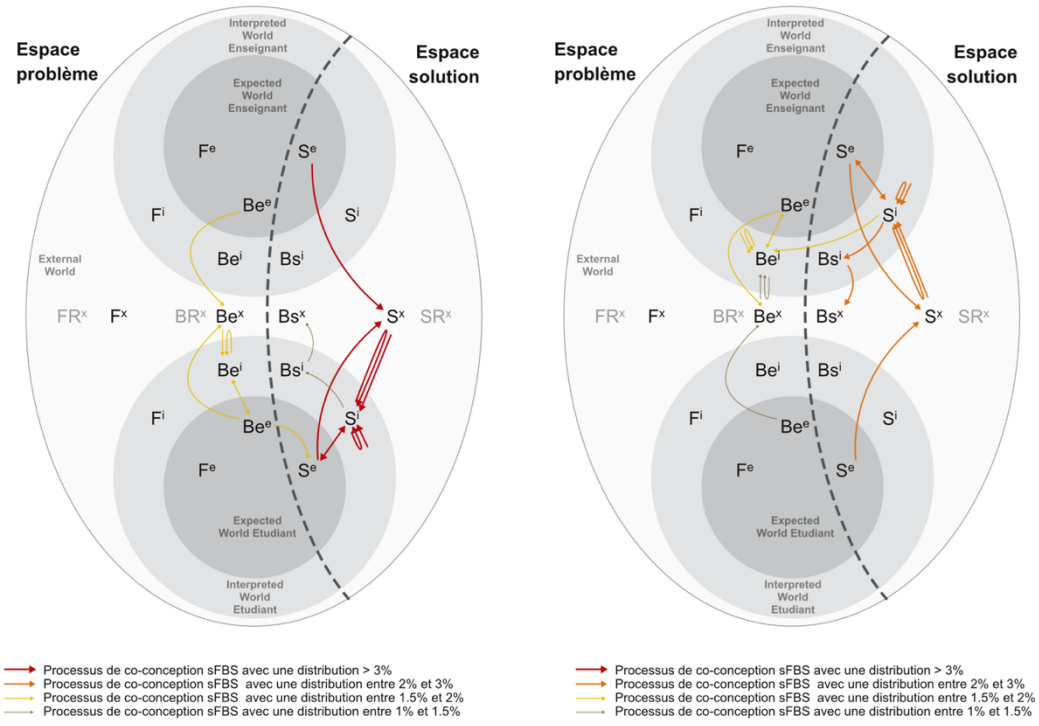
(a) (b)

Figure 75 Représentation des processus sFBS de conception individuels étudiante (a) et enseignant (b) pour la session 3



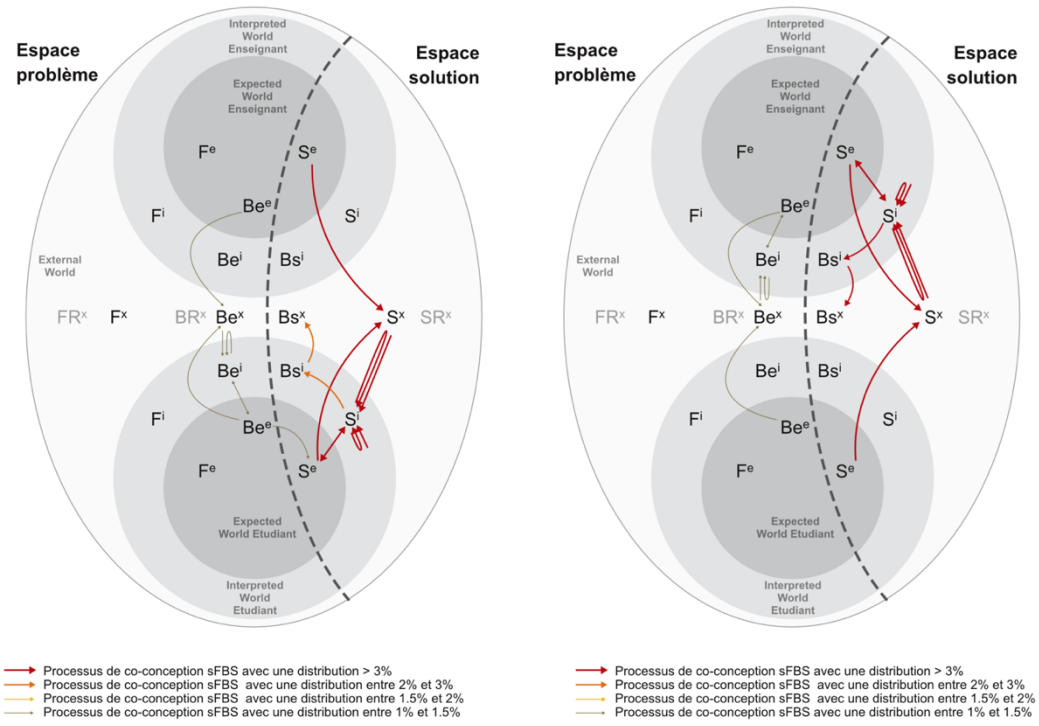
(a) (b)

Figure 76 Représentation des processus sFBS de co-conception enseignant > étudiante (a) et étudiante > enseignant (b) pour la session 1



(a) (b)

Figure 77 Représentation des processus sFBS de co-conception enseignant > étudiante (a) et étudiante > enseignant (b) pour la session 2



(a) (b)

Figure 78 Représentation des processus sFBS de co-conception (a) enseignant > étudiante et étudiante > enseignant (b) pour la session 3

En résumé nous avons vu ici encore que, de manière générale, les processus sont similaires de session en session, bien que leurs intensités varient. Les processus mis en place par l'enseignant sont beaucoup plus diversifiés que ceux des étudiantes, ce qui peut s'expliquer par la différence d'expertise entre les deux et/ou le format pédagogique de la session où l'étudiante propose un projet et l'enseignant l'évalue, en pointe les limites et accompagne l'étudiante dans la reformulation du problème et la proposition de solutions.

Sur le modèle, nous voyons que les processus de conception individuels de l'étudiante et les processus collaboratifs sont principalement situés dans l'espace solution. Lors de la formulation de ces processus individuels, l'enseignant porte un effort cognitif réparti entre solution et problème. Il s'engage dans la reformulation du problème par rapport à la solution proposée, et dans la propositions d'alternatives.

5.2.3 Utilisation de l'écosystème de représentations dans la critique traditionnelle

Le dernier volet de notre étude porte sur l'utilisation de l'écosystème de représentations pendant la session critique. Nous analysons la distribution des types d'actions sur l'écosystème de représentations de session en session, en fonction des acteurs. Nous avons également étudié la navigation dans l'écosystème de représentations par le changement de points de vue ou de dimensions de la représentation lors de la verbalisation d'un processus. Enfin, nous pouvons pointer des associations entre types d'actions sur l'écosystème de représentations et processus de conception.

Les actions possibles avec l'écosystème de représentations pour les sessions traditionnelles sont : représenter un élément par un geste, pointer une représentation, modéliser avec la maquette physique et dessiner. Pour chacune des neuf sessions, l'écosystème de représentations est composé d'une maquette physique, de plans et coupes papier du projet, parfois des élévations et diagrammes sont également apportés. Dans une des sessions, l'ordinateur est utilisé pour afficher une image de synthèse du projet.

5.2.3.1 Distribution des types d'actions

Nous avons quantifié les actions des participants sur l'écosystème de représentations (Figure 79). En moyenne, l'écosystème de représentations est sollicité en parallèle de la verbalisation d'un élément de conception dans 60% des cas. Parfois, une action d'un

participant est concourante avec la verbalisation d'un autre participant. Dans ce cas, nous associons l'action avec le participant qui agit sur l'écosystème de représentations. L'action de pointer une représentation est largement dominante sur les autres. Environ 6% des verbalisations sont accompagnées par la production d'un geste pour représenter un élément du projet. Dans 4% des cas, les verbalisations des participants sont formulées en parallèle de croquis, et dans 2% des cas de la modélisation du projet sur la maquette.

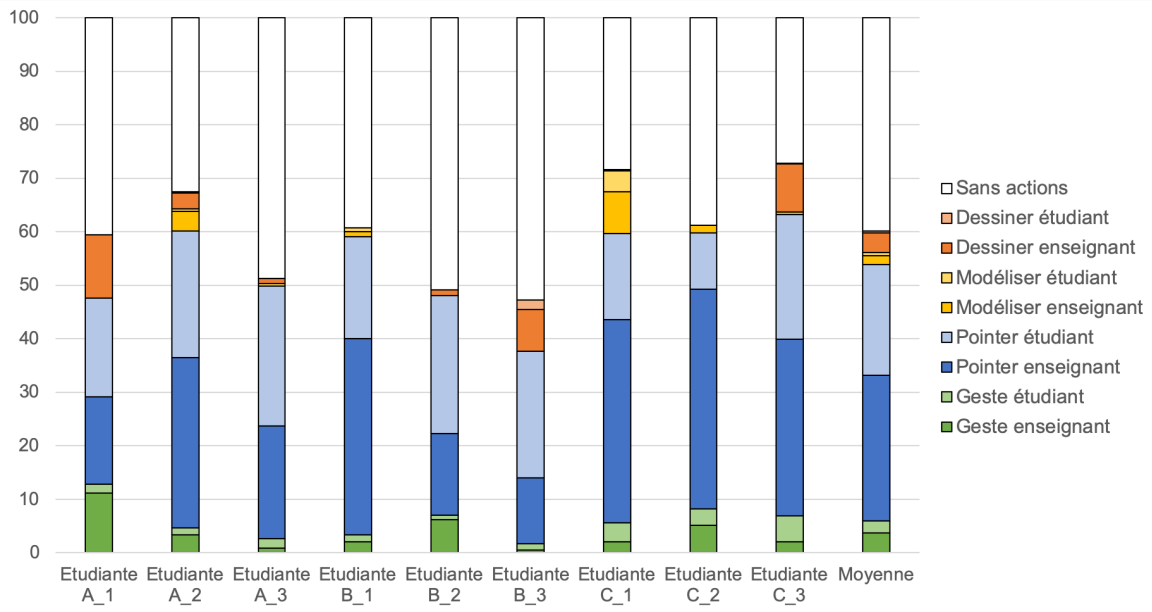


Figure 79 Distribution normalisée (%) des actions de chaque acteur sur l'écosystème de représentations pour chaque session

La référence à un élément en pointant la représentation est importante car cette action permet aux participants de s'accorder sur l'élément qui est discuté. Cette action est la plus présente dans nos protocoles. Lorsque les représentations physiques (plans, coupes, élévations, maquette) ne suffisent pas à illustrer ce qui est verbalisé, les participants font appel aux gestes ou aux croquis, bien souvent pour représenter un élément nouveau dans le projet ou expliquer un concept. La modélisation par la maquette physique est apparue dans quatre des neuf sessions pour tester de nouvelles solutions d'implantation des projets. Dans ces moments, l'action est rarement concourante avec une verbalisation. Ces trois dernières actions sont apparues dans nos protocoles mais ne sont pas dominantes. Elles sont concourantes avec une verbalisation pour environ 12% du temps.

5.2.3.2 *Navigation dans l'écosystème de représentations : points de vue et dimensions*

La navigation entre différents types de représentations pourra enrichir le processus de conception. Les concepteurs travaillent simultanément de manière synthétique et analytique et le changement de dimension ou de point de vue de la représentation est un support à ces deux types de réflexion.

Pour l'ensemble des sessions, au moins une représentation du projet en 2D (plans, coupes) et en 3D (maquette) fait partie de l'écosystème de représentations. La distribution des actions des participants sur les représentations en fonction de leur dimension montre une grande variation entre les sessions. Dans certains des cas (Étudiante A_1, Étudiante B_2, Étudiante B_3), les sessions critiques se déroulent expressément dans l'espace de représentation en 2D alors que pour d'autres cas (Étudiante B_1 et Étudiante C_1), les sessions critiques se déroulent principalement dans l'espace de représentation en 3D (Figure 80). Dans les autres cas, il y a plus d'équilibre entre sollicitation des représentations en 2D et représentations en 3D. En ce qui concerne les points de vue des représentations, la dominance est nette. Le principal point de vue utilisé est allocentré (vue d'oiseau) (Figure 81).

Nous avons mesuré la fréquence des changements de points de vue et de dimensions pour chacune des sessions. Nous considérons qu'il y a un changement de point de vue ou de dimension lorsque deux verbalisations qui se suivent sont formulées dans deux points de vue ou dimensions différents. Le nombre de segments par session n'est pas le même donc nous avons normalisé le nombre de changements par session pour un ensemble de 450 segments, ce qui correspond environ à 30 min d'échange (Tableau 13). Les changements de points de vue sont quasiment nuls, ce qui n'est pas étonnant puisque le point de vue égocentré (vue d'homme) n'est presque jamais utilisé. Les changements de dimensions sont beaucoup plus fréquents pour l'étudiante 1 de manière générale que pour les autres étudiantes. En moyenne sur l'ensemble des sessions, sur 450 segments ou environ 30 min de session critiques, il y a 10 changements de point de vue, soit une fois toute les trois minutes.

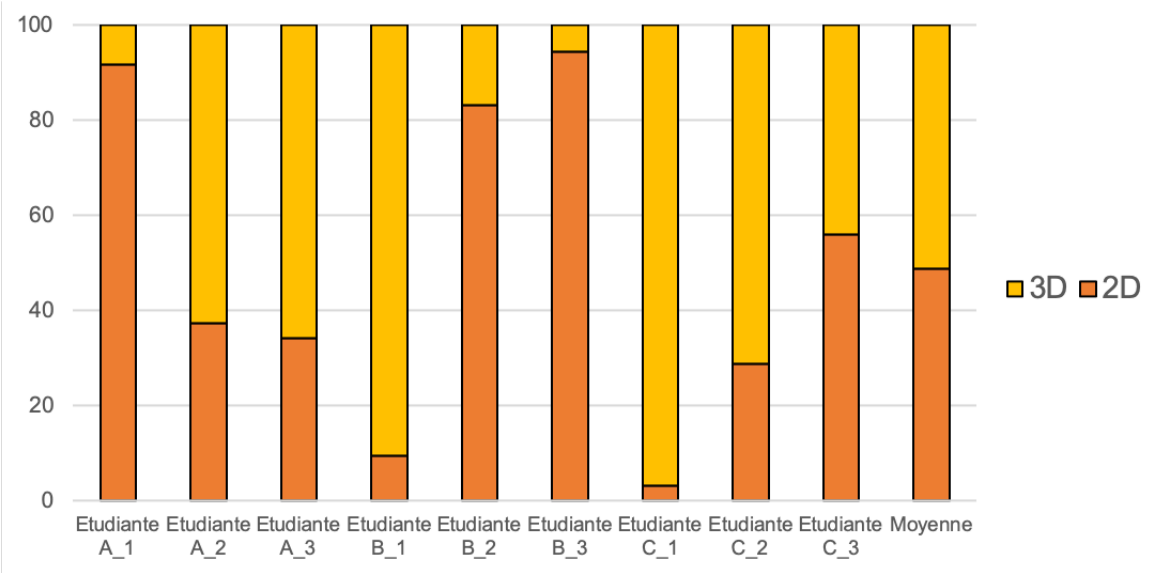


Figure 80 Distribution normalisée (%) de l'utilisation de la dimension de la représentation pour chaque session

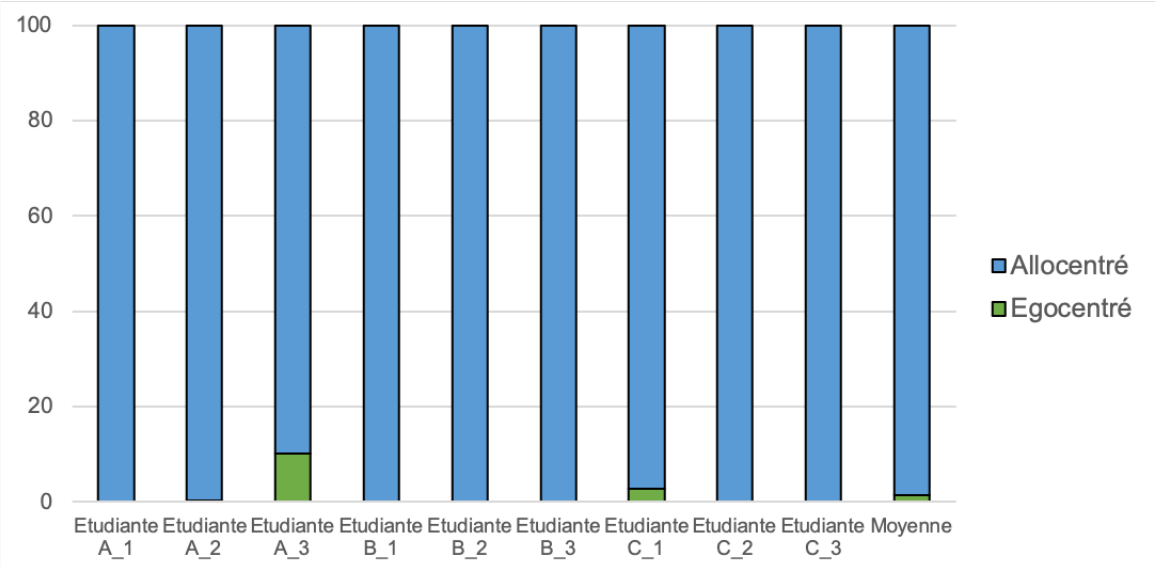


Figure 81 Distribution normalisée (%) de l'utilisation du point de vue de la représentation pour chaque session

Tableau 13 Occurrence des changements de points de vue et de dimension normalisée par session pour un ensemble de 450 segments (environ 30 min)

	Changement PoV	Changement dimension
Étudiante A_1	0	15
Étudiante A_2	1	14
Étudiante A_3	1	21
Étudiante B_1	0	5
Étudiante B_2	0	4
Étudiante B_3	0	1
Étudiante C_1	1	1
Étudiante C_2	0	19
Étudiante C_3	0	8
Moyenne	0	10

En résumé nous avons remarqué que le point de vue égocentré n'est quasiment pas exploité durant la critique. Ce type de représentation est important car il rend compte d'une expérience sensible de l'espace proposé. Le manque de navigation entre ces deux points de vue peut être une limite au développement de compétences permettant d'associer représentation du projet en vue d'en haut (plan et maquette) et projection de l'expérience sensible d'un futur usager dans cet espace. L'aller-retour entre représentation en 3D et 2D varie beaucoup en fonction des sessions. La maquette en 3D apporte une représentation volumétrique et synthétique du projet, alors que les représentations en 2D (plans, coupes et élévations) permettront de se focaliser sur des éléments spécifiques. La navigation entre les deux permet d'osciller entre plusieurs modes de réflexion. Durant les sessions de l'étudiante A, cet aller-retour entre les deux est récurrent, ce qui n'est pas le cas pour les deux autres étudiantes. Cette étudiante est celle qui a obtenu la meilleure note. Nous pensons que ces deux facteurs peuvent être liés mais il faudrait étudier beaucoup plus de cas pour généraliser un lien entre navigation dans l'écosystème de représentation et performance des étudiantes.

5.2.3.3 Relation entre écosystème de représentations et processus de conception

L'analyse factorielle des correspondances nous permet de mettre en relation les processus de conception FBS dominants et les actions des acteurs sur l'écosystème de représentations. Sur l'ensemble des sessions, l'action de modéliser n'est pas associée à des processus de

conception FBS. En effet, les tests avec la maquette sont souvent silencieux, et sont suivis par une explication de la solution proposée où les participants vont pointer des éléments du projet. Pour cela, seules les trois actions pointer, dessiner et représenter par un geste sont présentes dans l'analyse factorielle des correspondances.

Deux des actions sont présentes d'un côté de la dimension 1 (en abscisse), dessiner et représenter par un geste, alors que pointer se trouve de l'autre côté de cette dimension. Dessiner et représenter par un geste sont situés dans deux quadrants différents du graphe. Cela montre des différences relatives dans la correspondance entre processus de conception FBS et actions des acteurs sur l'écosystème de représentations. Pointer est associé aux processus *Evaluation*, dessiner aux processus d'*Analysis* et *Reformulation 1*, alors que représenter par un geste apparaît dans le même quadrant que les processus *Synthesis* et *Reformulation 1*.

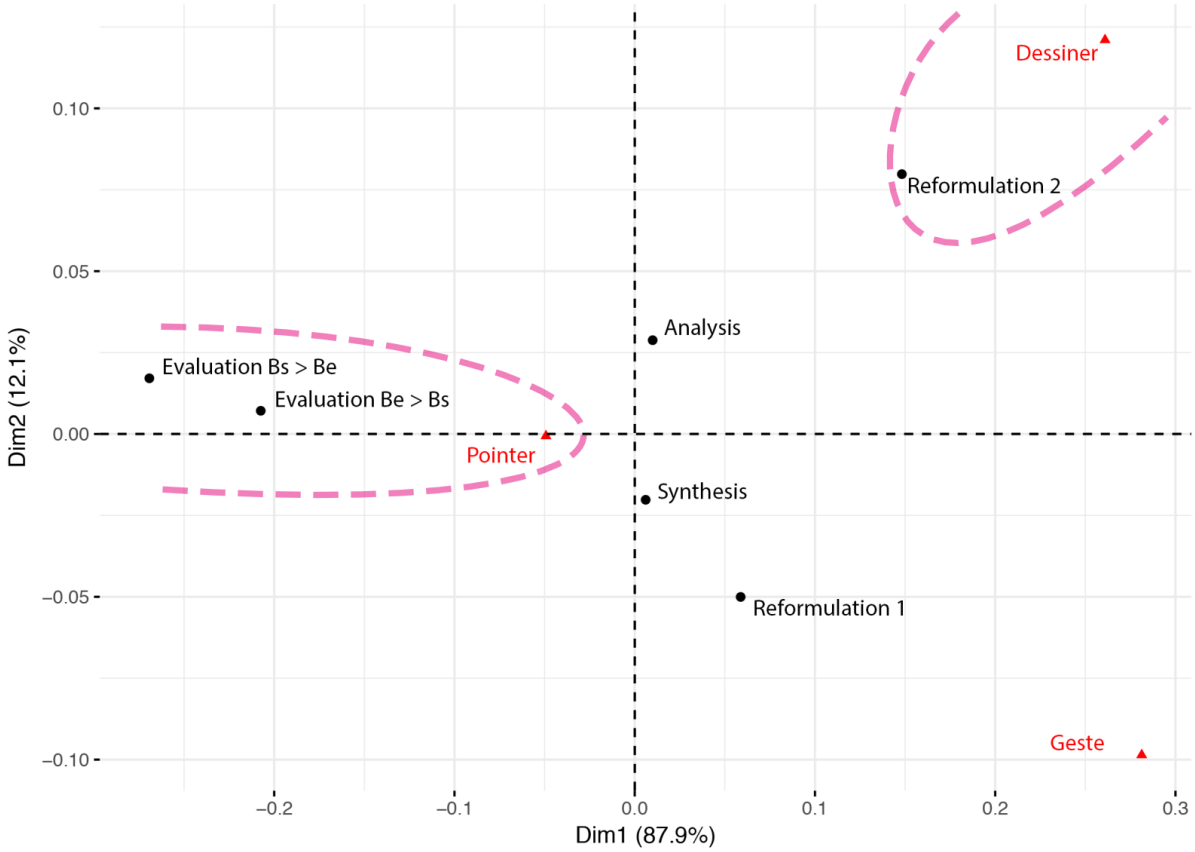


Figure 82 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions avec l'écosystème de représentations et la distribution moyenne des processus de conception FBS pour l'ensemble des sessions. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir).

En résumé, nous avons vu que les actions de dessiner et faire un geste pour représenter un élément sont souvent utilisées par les participants pour représenter des objets non référencés dans les représentations actuelles, comme un nouvel élément dans le projet, ou un concept. Pour cela nous nous attendions à ce que les actions de dessiner et représenter par un geste soient associées aux processus de *Synthesis*. Pointer fait référence à des éléments du projet présents dans les représentations. Nous nous attendions donc à ce que l'action de pointer soit associée aux processus *Analysis* et *Reformulation 1*. Ce n'est pas le cas dans les sessions que nous avons observées car cette action est associée aux processus d'évaluation, mais cela reste cohérent car l'évaluation est une comparaison entre l'effet actuel du projet et des intentions de projet. L'association de l'action dessiner avec le processus *Reformulation 2* est cependant cohérente car la flexibilité du dessin permet de réinterroger certains éléments du projet.

5.2.4 Bilan des entretiens et des questionnaires

Les trois étudiantes ont rempli un questionnaire ouvert à la fin de chaque session. Les trois questions posées sont les suivantes :

- Comment s'est passée la session de revue de projet ?
- Quels ont été les commentaires importants qui ont été formulés pendant l'échange ?
- Quels sont vos objectifs de travail pour la prochaine séance ?

À la suite des sessions observées, un entretien est organisé avec les étudiantes. Les questions suivantes sont posées :

- Qu'est-ce que tu as l'impression d'apprendre pendant le studio ?
- Qu'est-ce que tu tires des sessions d'échanges avec les enseignants pendant le studio ?

Les éléments pertinents qui sont ressortis des questionnaires et entretiens concernent l'apport de la critique durant la session et la réflexion sur l'apprentissage pendant la critique. Pour les étudiantes, les enseignants pendant la critique donnent des pistes, des directions sur le projet qui leur permettent de rebondir par rapport à leur avancement. Ils révèlent aussi des qualités dans le projet qui n'étaient pas forcément évidentes, par la reformulation du concept du projet et de l'articulation entre bâtiments et environnement. Elles soulignent la liberté de suivre ou non les propositions formulées par les enseignants en fonction de la

pertinence de ces commentaires par rapport à leur projet. La question de l'identité du projet est soulevée en ce sens, avec une opposition entre le projet de l'étudiante et le « projet du prof ». Il est également noté la difficulté de répondre aux questions soulevées pendant la session critique, car la solution n'apparaît pas, ce qui entraine une sensation de blocage, courante en studio de projet (Sachs, 1999). Ces commentaires sur l'apport de l'enseignant pendant la session critique sont cohérents avec la définition de cette situation dans d'autres études (cf §2.1.5) et les résultats empiriques que nous avons présentés plus haut.

Les étudiantes soulignent que l'apprentissage durant la session critique s'effectue de manière tacite. L'objet de l'apprentissage est décrit comme une gymnastique et un processus exigeant pour répondre à un programme par le développement d'un concept. Cette réponse est la seule pertinente aux questions posées sur l'apprentissage en studio. Les étudiantes interrogées ne sont pas capables de pointer ce qu'elles apprennent, ce qui illustre la dimension tacite de cet apprentissage. La clarification des objectifs d'apprentissage du studio comme 'une pratique réflexive' serait intéressante pour démystifier les enjeux du studio de projet (Anthony, 1991; Dinham, 1989).

5.3 Résumé des résultats

Notre étude de cas nous a permis de décrire la situation de la session critique. Les questions de recherche auxquelles nous souhaitons apporter des réponses sont les suivantes :

- Quels sont les rôles de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?
- Quelles sont les actions des participants à la session critique sur l'écosystème de représentations ?

L'étude de cas que nous avons présentées permet de définir une ligne de référence pour la suite de notre analyse. Nos résultats ne peuvent pas être généralisés car notre échantillon est réduit. Cependant, nous pouvons formuler les tendances qui sont ressorties de nos cas d'étude car elles permettent d'apporter des éléments de réponses aux questions posées ci-dessus.

5.3.1 Les rôles de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée des sessions critiques

La pratique réflexive mentorée vise à placer l'étudiant dans plusieurs situations par rapport à l'activité de conception : active, observation réflexive et collaborative. La moitié des processus de conception de la session est formulée par l'enseignant de manière individuelle. Durant ce moment, l'enseignant pourra faire une démonstration, évaluer le projet, proposer une direction à suivre pour avancer dans le processus de conception ou formaliser une solution ou un élément de réponse aux questionnements soulevés. Les interventions de l'enseignant sont associées aux processus *Evaluation*, *Reformulation 2* et *Synthesis*. Ces processus correspondent au rôle décrit. Le processus *Evaluation* permet de questionner la relation entre intention de projet (*expected Behavior* (Be)) et état actuel du projet (*Behavior from structure* (Bs)). Le processus de *Reformulation 2* interroge une intention de projet (*expected Behavior* (Be)) par rapport à un élément défini dans le projet (*Structure* (S)). Le processus de *Synthesis* est à l'origine de la proposition d'une solution concrète (*Structure* (S)) par rapport à une intention de projet. Ces processus indiquent une navigation entre espace problème et espace solution. L'enseignant est le principal moteur de la navigation de l'espace problème vers l'espace solution avec les processus *Evaluation (Bs>Be)* et

Reformulation 2. Il est également moteur de la transition de l'espace problème vers l'espace solution par le biais des processus *Evaluation (Be>Bs)* et *Synthesis*.

La navigation entre ces deux espaces est importante dans l'activité de conception. La synthèse d'une solution sert de *primary generator* (Darke, 1979) pour réduire l'espace du problème. Les étudiants peinent souvent à synthétiser les éléments qu'ils tirent de leur analyse de site en un concept de projet. Le rôle de l'enseignant est d'accompagner les étudiants dans cette tâche pour qu'ils acquièrent cette gymnastique d'aller-retour entre exigences du programme et concept formalisé. La dimension itérative du processus de conception passe par le questionnement du projet, qui est mené par l'enseignant.

Durant les sessions, les étudiants se focalisent principalement sur l'état actuel du projet et sa solution. Ils interviennent principalement dans la critique par le biais de processus *Analysis* et *Reformulation 1*. Leur participation se dissocie en deux phases, la première où ils présentent leur projet et mènent la discussion, et la seconde où ils sont plutôt dans l'écoute.

Lors des moments de collaboration, les processus *Reformulation 1* et *Analysis* sont les plus courants. Les étudiants apportent des éléments de description supplémentaires sur leur projet et formulent des réponses aux critiques verbalisées par l'enseignant. Les processus d'évaluation du projet apparaissent également lors d'échanges collaboratifs entre enseignants et étudiants. Par ce biais, les enseignants incitent les étudiants à évaluer leur projet en comparant intentions de projet et projet proposé, et les poussent à la réflexion par la reformulation d'intentions de projet. Cependant, ces processus ne sont pas dominants.

5.3.2 Actions des participants à la session critique sur l'écosystème de représentations

Environ 60% des verbalisations qui sont formulées pendant la session critique sont accompagnées d'une interaction avec l'écosystème de représentations. Les actions de geste, désigner un élément et représenter un élément, accompagnent ce qui est formulé par les participants pour la moitié du temps de la session. L'action de pointer une représentation est largement dominante sur les autres et permet de faire référence à un élément du projet. Le processus de référenciation par le pointage permet l'élaboration et le maintien du *common ground* entre les participants (Defays, Jeunejean,& Giboin, 2014). L'utilisation du geste pour représenter un élément ou un concept et du dessin est beaucoup moins présente mais est apparue dans chacune des sessions.

Selon Détienne, Visser, & Tabary (2006), l'action de dessiner tend à s'associer avec des activités de génération de solution alors que l'action de montrer (pointer) correspond à des actions d'interprétation ou d'information. Contrairement à nos attentes, dans nos cas d'étude, l'action de dessiner est plutôt associée au processus de *Reformulation 2* qu'au processus de *Synthesis*, qui est un marqueur de la génération d'une solution. L'action de pointer est associée aux processus *Evaluation*, ce qui est cohérent avec la notion d'interprétation, et qui se formalise dans notre cas par la comparaison entre intentions de projet et état actuel du projet.

5.4 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté une forme de pratique réflexive mentorée basée sur nos neuf sessions de projets. Cette étude empirique a eu pour intérêt de définir des caractéristiques de la pratique réflexive mentorée dans le cas des sessions critiques traditionnelles sur table. Par l'étude de sessions critiques sur plusieurs semaines, nous souhaitions analyser si une évolution marquante était présente de session en session. Dans notre échantillon ce n'est pas le cas et la pratique réflexive mentorée de chacune des sessions est très similaire.

Nous pouvons synthétiser les caractéristiques de la pratique réflexive mentorée en quelques points. Nous avons vu que les processus de conception individuels sont dominants et représentent des moments où l'étudiant présente son projet et le clarifie, et où l'enseignant fait une démonstration et questionne le projet. Chaque participant a un rôle bien défini qui perdure à chaque session.

La pratique réflexive est définie comme une conversation réflexive entre le concepteur et les représentations du projet. Nos analyses ont montré que l'écosystème de représentations pendant la session critique est souvent sollicité pour accompagner la parole des participants. Les gestes sont dominants et servent soit à référencer un élément, ce qui est important pour la collaboration entre les acteurs, soit à représenter un élément ou concept. Le dessin et la modélisation par la maquette d'étude sont également exploités pour questionner et reformuler les intentions du projet.

Chapitre 6 Analyses de sessions critiques dans des écosystèmes de représentations alternatifs

Dans le précédent chapitre, nous avons exploré la notion de pratique réflexive mentorée pour des sessions critiques dites traditionnelles, c'est-à-dire sur table, avec un écosystème de représentations comprenant des plans, des coupes, des élévations et des maquettes. L'objectif de ce chapitre est de discuter les différences de pratique réflexive mentorée lors de sessions critiques alternatives, avec un changement d'écosystème de représentations. Nous articulons nos trois cas d'étude alternatifs, le cas maquette, le cas Hyve 3D, le cas SDC (Studio Digital Collaboratif) avec le cas traditionnel présenté précédemment.

Nous commencerons par présenter les trois cas d'études alternatifs avant d'explorer les différences et similitudes entre les sessions critiques situées dans ces trois écosystèmes de représentations et celles situées dans l'écosystème de représentation traditionnel. La comparaison de ces cas est menée par rapport à trois critères : l'engagement de l'étudiant, le rôle de chaque acteur dans la pratique réflexive et l'utilisation de l'écosystème de représentation.

6.1 Présentation des cas d'étude

Quatre écosystèmes de représentations ont été étudiés sur l'ensemble de la recherche. Le cas traditionnel, présenté au chapitre précédent, nous donne une ligne de référence par rapport aux autres situations. Le cas de la maquette à grande échelle offre un type de session critique entièrement analogue, avec un outil de conception et de représentation courant pour les architectes. Les deux derniers cas, Hyve-3D et SDC, proposent des écosystèmes de représentations entièrement numériques. Le Hyve-3D propose à la fois une interface de dessin en 3D et une immersion dans l'environnement virtuel du projet. L'enjeu du SDC est

la mise en place d'un studio de projet à distance, intégrant des outils soutenant la conception collaborative (Safin & Leclercq, 2009). Les sessions critiques dans le SDC divergent de nos autres sessions non seulement par la différence d'écosystème de représentations utilisé mais aussi par la situation de la critique sur deux sites. L'écosystème de représentations utilisé est de type table interactive où les utilisateurs peuvent dessiner en 2D sur les documents chargés (plans, coupes, perspectives). Ces documents, dessins et annotations apparaissent en simultané sur les deux sites par le biais du logiciel SketSha (Elsen & Leclercq, 2008). Le Hyve-3D et le SDC proposent tous les deux un support de co-conception. Le Hyve-3D offre la possibilité de collaborer par le dessin en 3D alors que SketSha offre la possibilité de collaborer par le dessin en 2D (Safin, Dorta, & Leclercq, 2013).

6.1.1 Le cas maquette : studio de projet Construction Architecturale

Pour le cas d'étude maquette, quatre étudiants de l'option de projet niveau master « Construction Architecturale » de l'Ensa Nantes ont été suivis sur un ensemble de 4 semaines. Le projet proposé pour ce studio est le développement d'un équipement public intégrant des espaces de concerts, un fablab, une bibliothèque, des équipements sportifs (spa, escalade, skatepark) et un espace d'exposition. Le site du projet est situé en région parisienne, où se trouve une piscine désaffectée. La thématique conceptuelle imposée pour le projet est l'hybridation.

La première séance de projet observée était focalisée sur le développement du concept du projet. Les étudiants étaient libres d'apporter les documents de leur choix et la session s'est passée en tête à tête avec un enseignant. La deuxième séance fut une revue de projet de type jury, où le concept du projet était évalué et validé par un jury composé des deux enseignants titulaires de l'option ainsi que d'un invité externe. Les étudiants y ont présenté leur projet sur une présentation de type Power Point. La troisième séance était une session critique sur table similaire à la première session dans son format. La session était focalisée sur le développement du projet, et les étudiants étaient libres en ce qui concerne les supports de représentation utilisés. La quatrième séance était également focalisée sur le développement du projet, cependant l'écosystème de représentations utilisé pendant la critique était imposé : une maquette du projet à l'échelle 1/100ème insérée dans une maquette du site à la même échelle (Figure 83). La volonté de l'encadrement pédagogique était de favoriser

l'immersion dans la maquette, ainsi que d'appréhender le rapport du projet au site par l'utilisation de la maquette grande échelle. La session se déroule autour d'un échange entre l'étudiant et un enseignant, avec l'intervention, en fonction des cas, d'un second enseignant.

Figure 83 Exemple de session critique avec l'écosystème maquette grande échelle (1/100ème)

Seule l'analyse de la dernière session de ce cas a été intégrée dans la partie de résultats. Un des étudiants n'avait pas réalisé sa maquette à l'échelle demandée, au 1/100ème, pour utiliser la maquette de site. Pour cela, une des sessions a été enlevée de l'étude et nous n'avons analysé que les sessions critiques de trois étudiants : étudiante D, étudiant E et étudiant F. Après chacune des sessions, un court entretien (10 min) est mis en place avec les étudiants pour recueillir leurs ressentis sur la session, ce qu'ils en ont retenu et leurs objectifs de travail pour la semaine suivante.

6.1.1.1 Présentation des sessions des étudiants

L'étudiante D explore le concept du paysage à travers son projet (Figure 84). L'enjeu est de générer une topographie intégrant les différents éléments du programme, et de jouer sur les notions de sous-faces et de surfaces pour hybrider les usages. Lors de la session critique

maquette, son concept est moins avancé que celui des autres étudiants. En effet, l'étudiante peine à formaliser son concept et oscille entre un travail en bande ou en triangulation. Les projets utopiques de Claude Parent reviennent souvent comme référence. Pour l'étudiante, le travail en maquette physique est important car elle ne parvient pas à modéliser son projet sur un logiciel de CAO. Les commentaires lors de la session sont orientés sur la formalisation du concept en un projet d'architecture. Les enseignants invitent l'étudiante à manipuler la maquette physique en parallèle du dessin en plan pour l'aider à formaliser et développer son projet. La question de la relation entre le paysage intérieur généré, le paysage urbain extérieur qui contextualise le projet et l'enveloppe est également évoquée.

Figure 84 Session critique maquette de l'étudiante D. Pour cette session la maquette de l'étudiante représente le concept de paysage qui définit le parti pris du projet. Le travail en triangle est un des essais de formalisation du concept. Un test en maquette en bande est également apporté pour la session critique.

Le projet de l'étudiant E se compose de cinq séquences renfermant chacune plusieurs programmes, par exemple le skatepark, le mur d'escalade et la salle de concert (Figure 85). Le projet de cet étudiant est assez avancé en terme de développement des plans mais les enseignants pointent des lacunes concernant le concept du projet proposé. Ils dénotent un manque d'hybridation des programmes de manière transversale aux cinq séquences proposées. Cet étudiant travaille par le biais de maquettes conceptuelles à plus petite échelle (1/200ème) depuis le début du studio car ce médium de conception lui convient le mieux. Son travail par séquence est jugé intéressant mais la synthèse de ces séquences n'est pas satisfaisante. Durant cette session, les séquences sont révisées une par une. Le manque d'hybridation de certains des programmes est soulevé, et le manque de cohésion de l'ensemble est le commentaire central. En fin de session critique, le rapport du projet aux bâtiments alentours est évoqué et il est suggéré de revoir les espacements entre ces entités.

Figure 85 Session critique maquette de l'étudiant E. Les cinq séquences du projet de l'étudiant E apparaissent entre les blocs de circulations du projet, représentés en carton gris sur la maquette.

La session critique sur maquette de l'étudiant F a été une session importante pour lui sur l'ensemble du studio car la formalisation de son concept est appréciée et validée durant cette session. La métaphore de la forêt est prise comme point de départ du projet et concept général. À chacune des sessions critiques que nous avons observées, l'étudiant F a proposé un projet différent en tentant de répondre au programme posé et au concept choisi. La maquette apportée pour cette session exprime l'organisation du projet par plateaux, de densités variables, illustrant différentes caractéristiques de la forêt (lisière, sous-bois, clairière) (Figure 86). Lors de la session, l'enseignant synthétise les qualités de la proposition de l'étudiant. Il met en avant la lisibilité du projet et suggère à l'étudiant de ne rien y ajouter, seulement de développer les éléments déjà présents : la variation de la hauteur des plateaux, la variation de la densité des poteaux et la transparence de chacun des plateaux.

Figure 86 Session critique maquette de l'étudiant F. La maquette au 1/100ème représente le dernier projet de l'étudiant. La maquette au 1/500ème, posée sur un des bâtiments du contexte urbain, illustre un des tests de projet réalisés par l'étudiant durant les sessions précédentes.

6.1.2 Le cas Hyve-3D : deux studios de projet

Nous avons étudié des sessions critiques de deux studios de projet différents dans le Hyve-3D. À l'automne 2017, nous avons mis en place un atelier de découverte du Hyve-3D à Bordeaux (accueil de l'équipe LID du laboratoire MICA à la MSHS, avec la collaboration de l'Hybridlab de l'Université de Montréal). Plusieurs étudiants d'un studio de projet de l'Ensa Nantes y ont participé, et dans ce cadre, nous avons observé et filmé quelques sessions critiques dans le Hyve-3D. Le deuxième ensemble de sessions critiques que nous avons analysé a été filmé dans un studio de design industriel de l'Université de Montréal. Lors de ma mobilité à l'Hybridlab de l'Université de Montréal (cf 1.4, p.32), l'analyse de ces sessions critiques était l'objectif de mon travail.

6.1.2.1 Studio Architecture en Représentation de l'Ensa Nantes

Le cas d'étude dans le Hyve-3D comprend des sessions du studio de projet de niveau master « Architecture en Représentation » de l'Ensa Nantes. Les étudiants de ce studio travaillent les premières semaines du studio sur une réinterprétation de la villa Arpel de Jacques Tati avant de s'engager sur un des deux projets proposés. Le premier projet est le développement d'un hôtel sur la thématique des films de Jacques Tati. Le site du projet est à Palm Spring en Californie (États-Unis). Le deuxième projet est le développement et la production d'un décor scénographique inspiré du monde de Tati, qui servira par la suite au tournage d'un court-métrage et à des représentations théâtrales. Les sessions critiques de projet pour ce studio se déroulent souvent sur table, ou avec des dispositifs de représentation immersive (Cardboard ou écran immersif).

Pour une des séances, un groupe de quelques étudiants a participé à un atelier de découverte du Hyve-3D à Bordeaux. Le premier jour du workshop, les étudiants ont été formés à l'utilisation du Hyve-3D. La visualisation des villas Arpel des étudiants est le support de l'entrainement à la prise en main du Hyve-3D. L'après-midi, les étudiants ont travaillé sur la conception de leur projet, l'hôtel ou le décor, sur une plage de 45 minutes chacun où ils ont pu faire des aller-retours entre logiciel de CAO (SketchUp) et Hyve-3D. Le lendemain, chaque étudiant a présenté individuellement l'avancement de son projet à l'enseignant du studio (Figure 87). La séance est intervenue dans le premier tiers du semestre, donc dans la phase de recherche conceptuelle autour du projet.

Sur les cinq étudiants ayant participé au workshop, deux travaillaient sur le projet de l'hôtel de Tati à Palm Spring et les trois autres sur le projet de décor. Nous n'avons pu exploiter que trois des sessions critiques. En effet, une des étudiantes a préféré présenter son projet sur son ordinateur sur SketchUp, et la session critique Hyve-3D d'un étudiant a été interrompue trop souvent pour être exploitable. Sur les trois étudiants dont les sessions critiques ont pu être analysées, un étudiant a travaillé sur le projet de l'hôtel de Tati, et les deux autres sur le décor de film. Ces sessions sont les plus courtes de l'ensemble de nos cas, en effet elles varient entre 10 et 20 min. Cette contrainte de temps est en partie due au format du workshop.

Pour ce cas d'étude, nous avons un biais supplémentaire dû aux effets de l'apprentissage de l'utilisation du Hyve-3D. En effet, les étudiants ont peu de temps pour se familiariser avec l'outil ce qui a eu un impact sur la manière dont ils ont présenté leur projet. De plus, l'enseignant a eu lui aussi peu de temps pour prendre en main l'outil ce qui a pu mener à des frustrations lors de la session critique.

À la suite du workshop, nous avons mis en place un entretien groupé d'une heure visant à interroger les étudiants sur leur ressenti quant à l'utilisation du Hyve-3D pour la conception et pour la situation d'apprentissage de la conception en studio de projet.

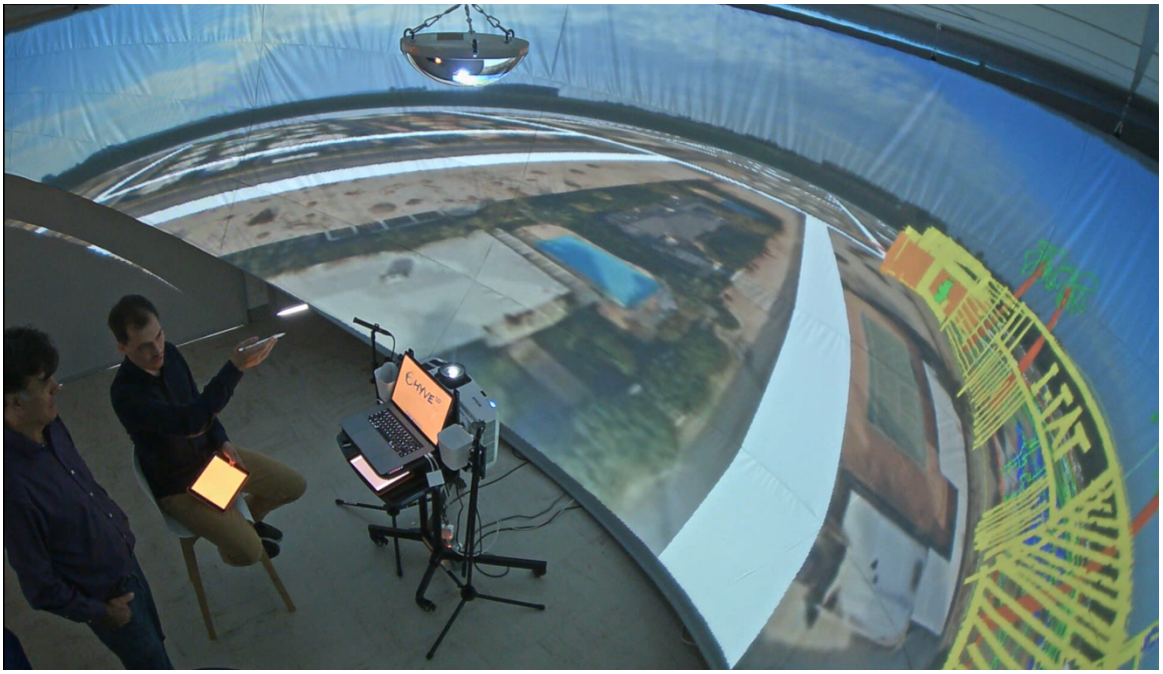


Figure 87 **Exemple de session Hyve-3D**. Le Hyve-3D se compose d'un écran immersif courbe où le projet de l'étudiant est projeté à l'échelle 1, et d'une interface de dessin et de navigation appelée Curseur 3D (Ipad).

6.1.2.2 *Présentation des sessions des étudiants du studio Architecture en Représentation*

L'étudiant G travaille sur le projet d'un hôtel à Palm Spring, proposant une réinterprétation du monde de Jacques Tati (Figure 88). Le concept du projet, qui se formalise en un long bloc, est de jouer sur la transparence et la lisibilité des espaces. Un contraste est créé entre un jeu de transparence des espaces et une organisation des chambres en un labyrinthe. Les commentaires formulés pendant la session critique traitent du rapport entre environnement intérieur, semi-intérieur / semi-extérieur et extérieur, et du rapport d'échelle du bâtiment qui semble trop long. La question du climat en Californie est également évoquée et un système en terrasse pour baisser la température extérieure est proposé.

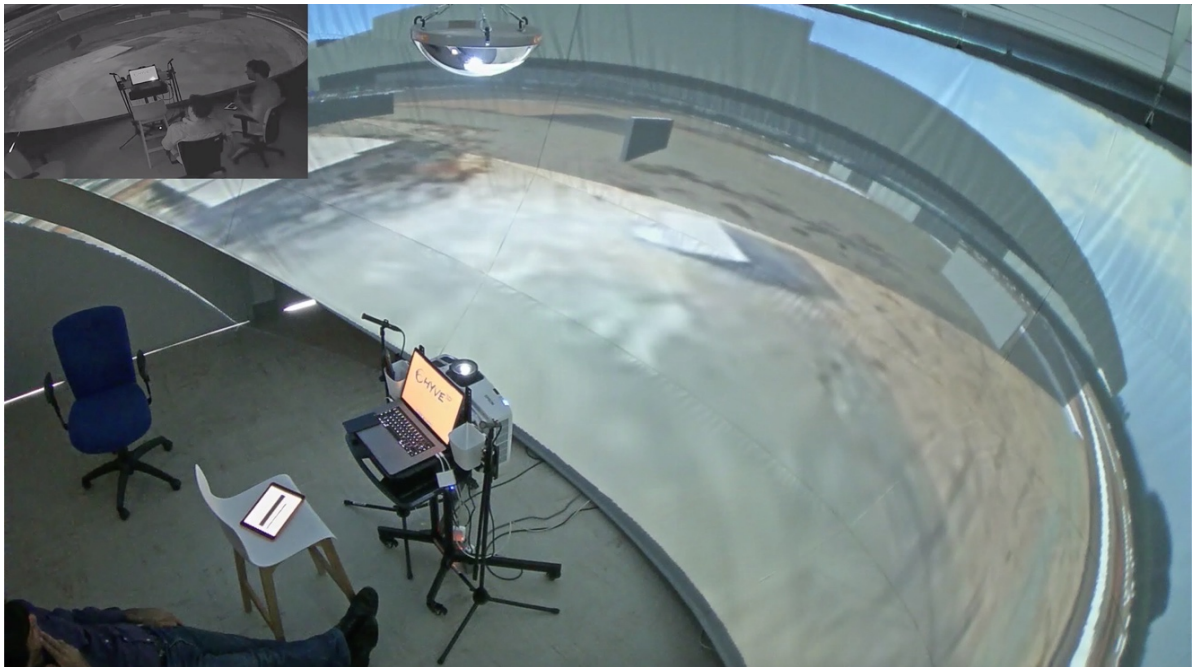


Figure 88 Session critique Hyve-3D de l'étudiant G. Le bâtiment en long définissant le projet de l'étudiant est visible à l'échelle 1 sur l'écran immersif courbe.

L'étudiante H travaille sur le projet de décor (Figure 89). Son projet se développe autour du concept d'entrée et de sortie dans le décor, où le cheminement se fait par un ensemble de portes donnant accès sur différentes pièces représentées par un fond de décor. L'enseignant pointe les éléments techniques à gérer par rapport à cette proposition comme la présence de béquilles derrière le mur de portes ce qui peut altérer le cheminement des acteurs. Il propose la mise en place d'un dégagement menant à un escalier ou un ascenseur dans le mur de portes pour permettre d'avoir un angle-mort où les acteurs peuvent attendre ou entreposer des choses. En fin de session critique, un réaménagement du lobby est proposé, où la position et la forme du bureau de réception sont ajustées.

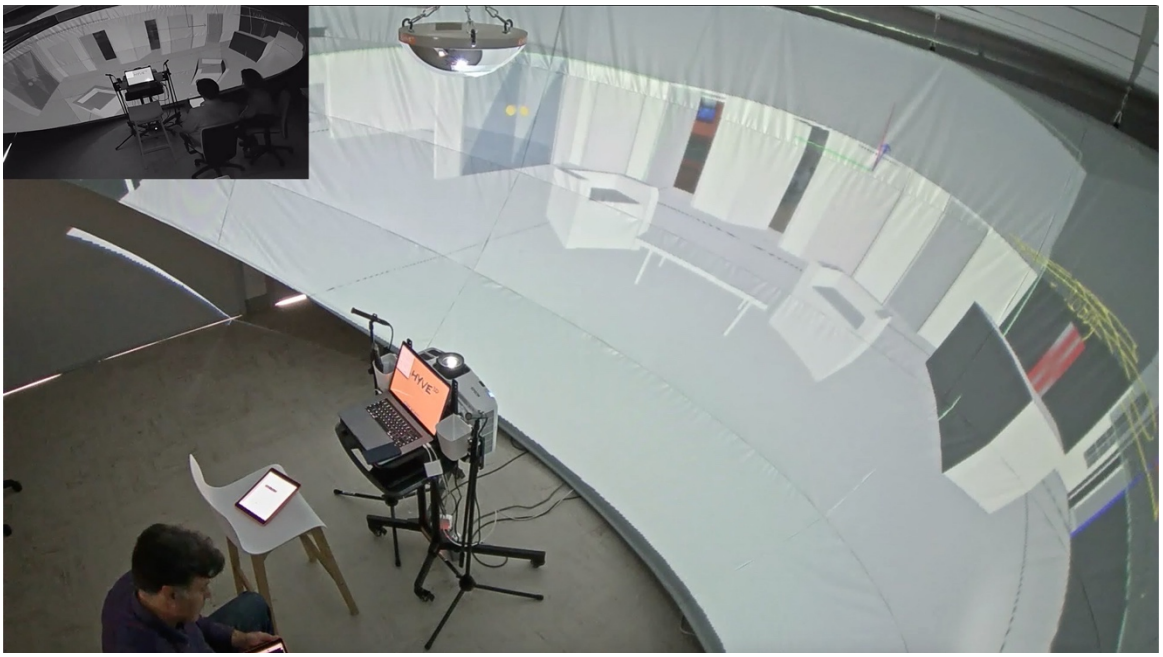


Figure 89 Session critique Hyve-3D de l'étudiante H. Sur la maquette du projet, nous voyons le mur de portes au fond du lobby. L'enseignant dessine un nouvel emplacement du bureau d'accueil dont les traits de dessin apparaissent en jaune sur la droite de la photo.

L'étudiant I travaille également sur le projet de décor (Figure 90). Pour cette session critique, il questionne l'emplacement du décor dans le bâtiment où le décor sera installé. Il propose un projet de décor fermé avec la possibilité d'enlever un mur, mais cela ne convient pas. Souvent les décors sont en angle ou à trois faces pour que le tournage soit plus facile à réaliser. Les commentaires de l'enseignant reprennent les questionnements de l'étudiant sur la position du module dans le bâtiment. Il est suggéré de prendre en compte la linéarité du local, de garder une bande pour pouvoir filmer en déplaçant la caméra le long de cette bande, et de réfléchir à l'emplacement du public dans le cas de l'utilisation du décor pour une pièce de théâtre.

Figure 90 Session critique Hyve-3D de l'étudiant I. La proposition de décor fermé, placé au centre du bâtiment, est visible sur l'image. L'étudiant dessine en rouge une bande de passage sur un des côtés du bâtiment, comme le suggère l'enseignant.

6.1.2.3 Studio design industriel Université de Montréal

Lors de ma mobilité à l'Hybridlab de l'Université de Montréal, j'ai eu l'occasion d'analyser des sessions critiques de projets également situées dans le Hyve-3D. Ce studio de projet a été observé et filmé avant mon arrivée, et l'objectif de ma mobilité était de poursuivre l'analyse de ces sessions critiques. La configuration de ces sessions critiques est un peu différente de celles que nous avons observées à Bordeaux car la critique est multi-sites

(Montréal, Nancy et Milan). En ce sens, ce type de critique se rapproche du format des critiques dans le SDC.

Ce studio de projet en design industriel est centré sur la pédagogie dites de co-design, développée par l'Hybridlab. Le projet des étudiants est un travail sur des structures légères dans une voiture et est présenté à la fin du semestre à un client dans l'industrie automobile. Le projet dure 14 semaines et les quatre premières semaines se focalisent sur la phase d'idéation, où les étudiants développent le concept de leur projet en collaboration avec leur enseignant et plusieurs collaborateurs issus du monde professionnel. L'analyse que nous avons faite se concentre sur les sessions d'idéation.

Dans ce studio, pour les sessions critiques, les étudiants et l'enseignant référent sont localisés à Montréal, et connectés avec un ou deux collaborateurs, un à Nancy spécialisé en ergonomie, et/ou un second collaborateur à Milan, professionnel en design industriel. Chacun des collaborateurs est également dans un Hyve-3D et a la possibilité d'interagir avec les autres sites. L'analyse de ces sessions critiques s'est focalisée sur l'expérience de l'étudiant et son engagement dans l'activité de conception. Ce cas d'étude est également intégré dans le corps de ce document, bien que la méthode d'analyse des sessions critiques diffère. En effet, pour ces sessions critiques, nous avons utilisé la méthodologie et le cadre de références développés à l'Hybridlab (*Design conversations* et *Design Flow* cf 0). Les résultats sont publiés dans Boudhraa *et al.* (2019) et nous les détaillerons dans la section 6.2.1.3.

6.1.3 Le Studio Digital Collaboratif à l'université de Liège

Le dernier cas d'étude, le Studio Digital Collaboratif (SDC), est un studio de master, où le projet est développé en groupes par des étudiants ingénieurs/architectes de l'université de Liège et des étudiants architectes de l'ENSA Nancy. Ce studio collaboratif distant est mis en place depuis 2007. La collaboration et les sessions critiques à distance prennent place dans le SDC (Safin & Leclercq, 2009), développé par le laboratoire LUCID de l'Université de Liège. Cet environnement multimodal de collaboration à distance fonctionne avec une interface de communication orale (Skype) et une interface de dessin, SketSha (Figure 91). Le SDC a fait l'objet de plusieurs recherches sur l'apport de l'outil pour la collaboration entre les étudiants (Elsen & Leclercq, 2008; Safin, Dorta, & Leclercq, 2013).

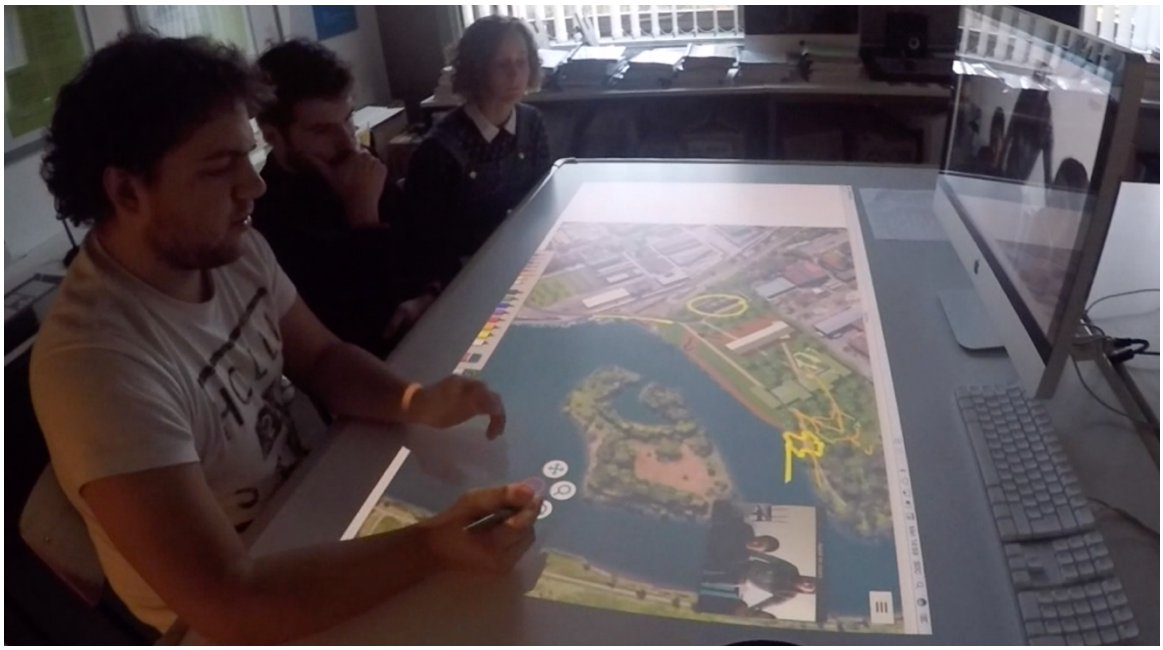


Figure 91 Exemple de session SDC sur le site de Liège. Les documents des étudiants (plans, coupes, images) sont projetés sur la table, et chacun des participants peut dessiner ou annoter les documents présentés. Les éléments projetés sont partagés avec l'équipe de Nancy, qui est connectée par Skype et que l'on aperçoit sur l'écran d'ordinateur.

Dans notre cas, une séance a été observée et enregistrée à Liège. Trois groupes ont été observés, chacun composé de quatre à cinq étudiants, deux à Liège et deux ou trois à Nancy et de deux enseignants, un sur chacun des sites. Cette séance a eu lieu dans la phase finale du projet. Pour ce studio de projet, les étudiants ont travaillé sur le développement d'un centre scolaire incluant un internat, des salles communes, un amphithéâtre, un réfectoire, un Club House ainsi qu'un centre d'aviron. Aucun entretien n'a été mis en place pour ce cas d'étude.

Pour chacune des sessions, chaque document est passé en revue dans un ordre similaire. La session commence par la description du plan masse et l'insertion du bâtiment dans le site. Les étudiants font référence aux remarques de la semaine précédente et mettent en avant ce qui a été changé. Ensuite, les plans et les coupes du bâtiment sont passés en revue, avant de finir par une étude de la proposition des façades des bâtiments présentées sur des images de synthèse.

6.1.3.1 Présentation des sessions des étudiants

Le projet du groupe J se développe en deux bâtiments longs et courbés (Figure 92). Le début de la session se focalise sur la gestion des accès au bâtiment et l'organisation des parkings. Ensuite, la critique est centrée sur le bâtiment contenant l'amphithéâtre. Il est noté un problème fonctionnel au niveau du dimensionnement et du positionnement du foyer de l'amphithéâtre. Les autres commentaires concernent les circulations du bâtiment d'internat et de réfectoire qui sont à ajuster. De même, la composition du mur rideau en façade n'est pas encore satisfaisante.

Figure 92 Session critique SDC du groupe J. Au début de la session critique, l'enseignant passe en revue les changements opérés concernant les accès aux bâtiments et l'organisation du parking sur le plan masse.

Le projet du groupe K est composé de plusieurs bâtiments rectangulaires avec une structure en treillis (Figure 93). Pour ce groupe, le début de la session se focalise sur le Club House car c'était le bâtiment problématique la semaine passée. Ici encore, la circulation n'est pas satisfaisante et nécessite d'être ajustée notamment par rapport à la structure en treillis et l'accès aux espaces communs du bâtiment. Les suggestions sont de concentrer une circulation verticale au centre du bâtiment et d'agrandir certaines des circulations horizontales pour les intégrer dans les espaces communs.

Figure 93 Session critique SDC du groupe K. Les traits en rouge sur le plan et la coupe indiquent l'emplacement possible de la circulation verticale au centre du bâtiment.

Le dernier groupe (L) est composé de 5 étudiants alors que les deux autres étaient composé de 4 étudiants. Le projet du groupe L se compose de trois bâtiments, le premier en long et les deux autres en forme de U. L'organisation des chambres de l'internat ainsi que les circulations sont discutées pendant la session. Il est remarqué que le plan proposé fonctionne mieux que la semaine passée mais n'est pas encore complétement satisfaisant. Le système proposé est d'avoir une circulation libre en façade et des blocs de programme au centre de chaque bâtiment (Figure 94). La matérialité des façades du projet est abordée en fin de session et des changements sont suggérés pour le bâtiment du club d'avion.

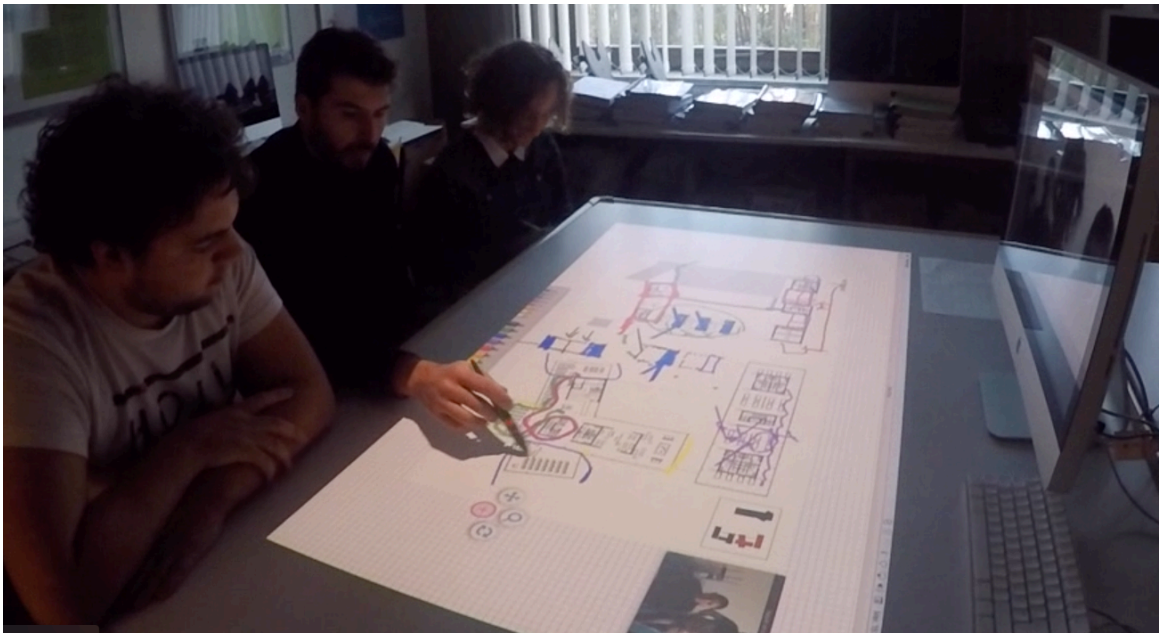


Figure 94 **Session critique SDC du groupe L.** Sur les plans affichés, l'organisation spatiale du bâtiment est lisible : une circulation libre en façade et des blocs aux centres.

6.1.4 Synthèse des cas d'étude observés

Comme nous l'avons vu, pour ces cas alternatifs, seule une session critique pour trois étudiants ou groupe d'étudiants a été observée et analysée. Le diagramme en Figure 95 représente l'ensemble de nos cas d'étude. Dans le chapitre précédent, nous avions considéré chaque session comme un sous-cas, et nous les avions comparé entre elle. Dans ce chapitre, nous considérons l'ensemble des sessions critiques effectuées dans un type d'écosystème particulier comme un cas. Nous nous attacherons à comparer chacun de ces cas entre eux, comme l'indiquent les flèches sur le bas du diagramme.

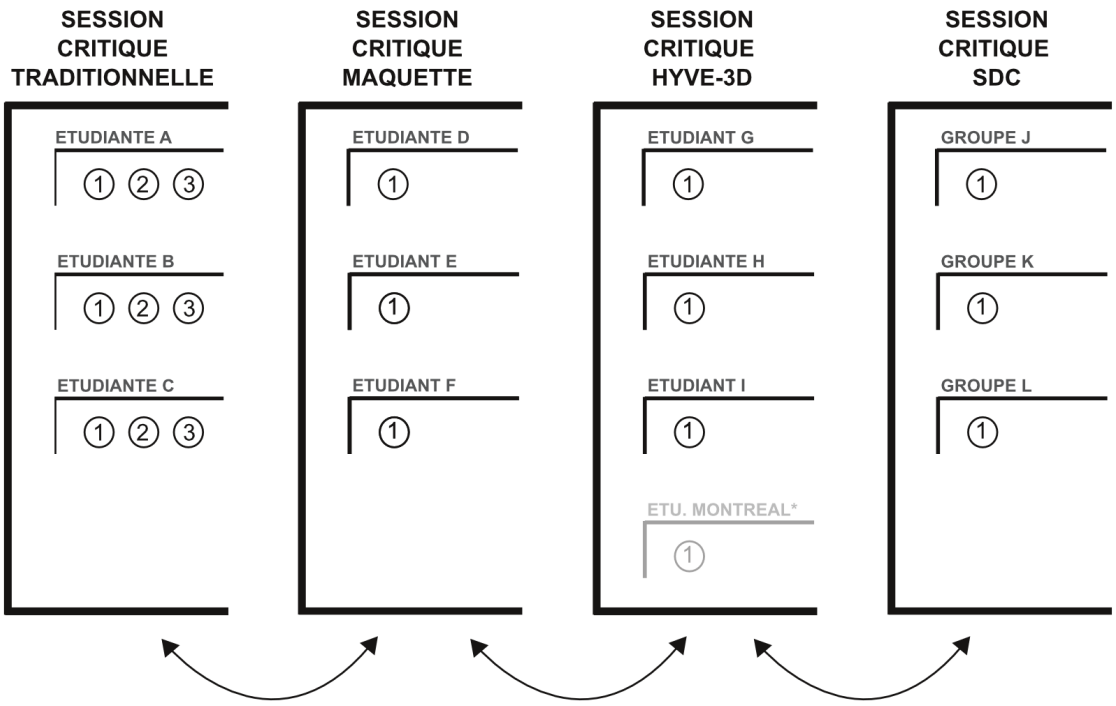


Figure 95 **Représentations des cas d'études étudiés**

6.1.5 Représentation de la situation de la session critique sur le modèle de pratique réflexive mentorée

Dans notre étude, nous avons été confrontés à trois types de critiques par rapport au nombre de participants. Le type A, le plus courant est la session critique en tête-à-tête entre un enseignant et un étudiant (Figure 96). Les étudiants travaillant de manière individuelle sur le projet étaient parfois mentorés par deux enseignants (type B Figure 97). Enfin, le SDC propose un projet collaboratif distant à quatre ou cinq étudiants, par groupe de deux ou trois dans deux universités différentes (type C). Un enseignant de chaque université participe à la session critique (Figure 98). Dans chacun de ces cas, les participants communiquent à travers le projet décrit dans l'espace externe par une instance de *Requirement* (R), de *Function* (F), de *Behavior* (B) et de *Structure* (S). Un unique projet est représenté dans l'espace externe qui est le point focal de l'activité de conception et des interactions.

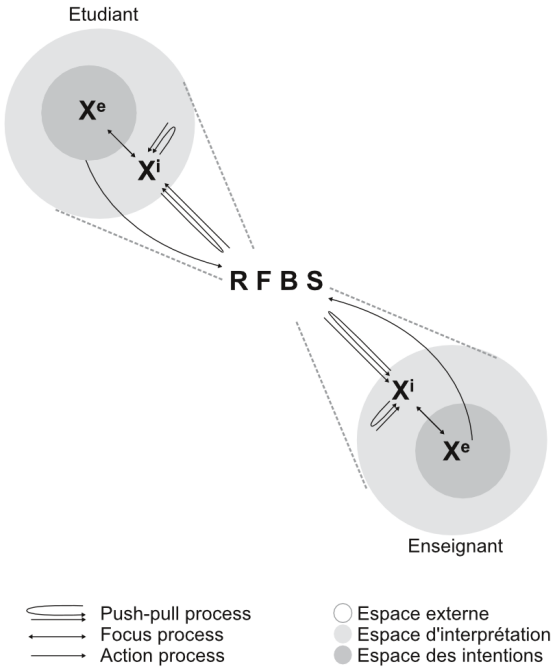


Figure 96 Situation de session critique type A avec un enseignant et un étudiant. Chaque participant possède son espace interne d'interprétation du projet et d'intentions de projet. Le projet défini par des représentations externes sous la forme de R, F, B et S est partagé et concentre les interactions entre les participants.

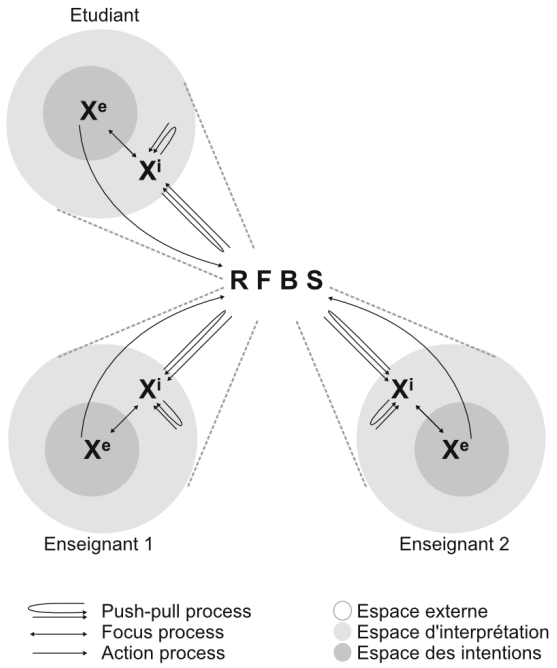


Figure 97 Situation de session critique type B avec deux enseignants et un étudiant. Les trois participants agissent sur le projet représenté dans l'espace externe par la formalisation d'éléments du projet sous la forme R, F, B ou S.

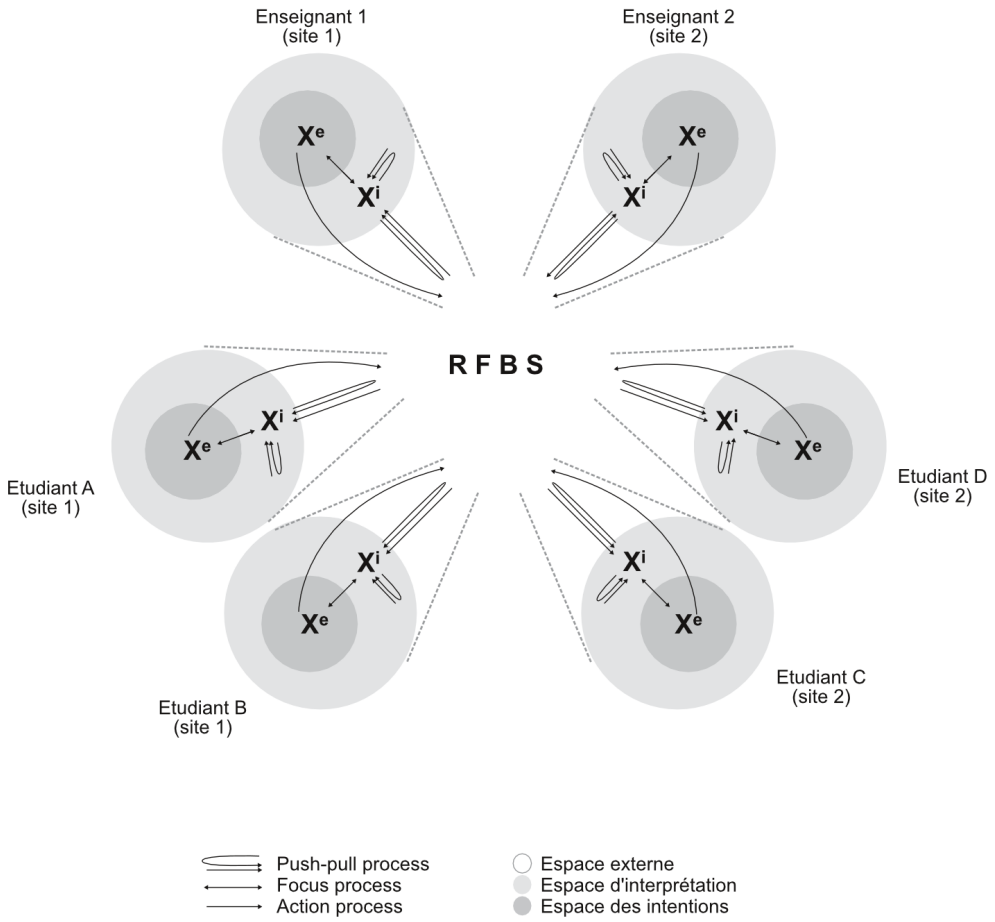


Figure 98 Situation de session critique de type C avec deux enseignants et quatre étudiants. Dans le cas représenté ici, chaque participant peut exprimer ses intentions de projet par une action sur l'espace externe de représentation du projet. Dans le cas de la critique multi-sites, les représentations externes numériques sont dupliquées à l'identique et les actions sur les représentations externes sont perçues en temps réel.

Pour rappel, sur les neuf sessions traditionnelles, sept sont de type A et deux de type B. Pour les sessions maquette, une session est de type A et les deux autres de type B. L'ensemble des sessions Hyve-3D est de type A, et l'ensemble des sessions SDC est type C. Cependant, dans la partie d'analyse, nous avons simplifié la dynamique de chaque session en la considérant comme une session deux acteurs en fonction de leur rôle, étudiant ou enseignant, de sorte que la représentation de chacune des sessions soit similaire à la situation présentée en Figure 96.

6.1.6 Description comparative des quatre écosystèmes de représentations

La description de chacun de nos écosystèmes de représentations par rapport à leurs caractéristiques et aux cinq actions de manipulation des représentations nous permet de pointer leurs différences (Tableau 14).

Tableau 14 Caractérisation des écosystèmes de représentations de nos cas d'étude

	Traditionnel	Maquette	HYVE 3D	SDC
Matérialités	Analogue Numérique	Analogue	Numérique	Numérique
Dimensions	2D 3D	3D	2D (curseur 3D) 3D (écran immersif)	2D 3D
Échelles / points de vue	Éch. architecturales (1/100ème, 1/200ème) Égocentré Allocentré	1/100ème Égocentré Allocentré	Échelle dynamique Égocentré Allocentré	Échelle dynamique Égocentré Allocentré
Actions / manipulation	Pointer Dessiner Modéliser Geste	Pointer Dessiner Modéliser Geste	Pointer Dessiner Naviguer Geste	Pointer Dessiner Geste
Synchronisation	Non	Non	2D (curseur 3D) et 3D (écran immersif) synchronisé	Non

Dans le cas traditionnel, la matérialité de l'écosystème de représentations est à dominance analogue mais contient parfois des documents numériques. Dans les sessions maquette, la matérialité de l'écosystème de représentations est seulement analogue alors que pour les sessions Hyve-3D et SDC, il est entièrement numérique. Excepté pour les sessions maquette qui se déroulent principalement sur un support 3D, l'écosystème de représentations des autres cas comprend des représentations du projet en 2D et en 3D. Les échelles et points de vue sont variés pour l'ensemble des cas. Pour les cas Hyve-3D et SDC, l'échelle est dynamique à l'inverse des autres cas où elle est figée (échelles architecturales).

Les actions possibles sur les représentations sont distinctes entre les écosystèmes de représentations. Pour l'ensemble des cas, enseignants et étudiants ont l'opportunité de pointer, dessiner (limité dans les sessions maquette) ou représenter par un geste. Dans les sessions

traditionnelles et maquette, il est possible de modéliser le projet. Uniquement lors des sessions Hyve-3D, les participants ont la possibilité de naviguer dans la représentation du projet. La synchronisation des représentations 2D et 3D, qui implique qu'un changement ou dessin fait sur une représentation du projet en 2D est visible sur une représentation du projet en 3D ou inversement, n'est possible que dans l'écosystème Hyve-3D.

6.1.7 Données temporelles des sessions

Pour chacun des studios de projet, le moment d'observation en studio varie (Figure 99). De manière générale, les sessions que nous avons observées se situent dans la deuxième moitié du semestre, en théorie après la phase de développement du concept. Cependant, pour tous les cas, excepté le studio SDC, les concepts de projet étaient toujours en phase de développement durant les sessions critiques observées. Dans les sessions SDC, le concept du projet est évoqué par l'enseignant lorsque la proposition de développement du projet s'éloigne du parti pris d'origine.

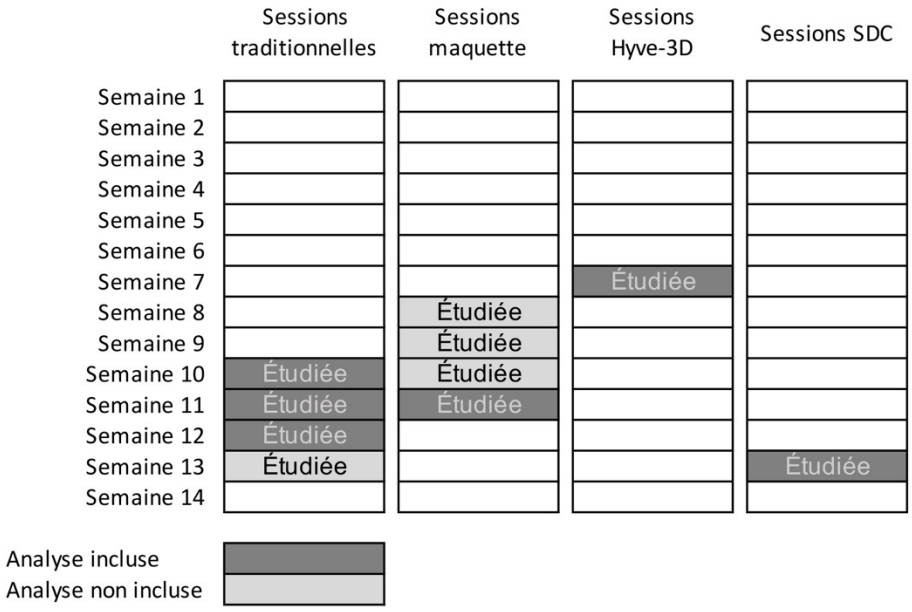


Figure 99 Situation temporelle des sessions étudiées sur un semestre de projet de 14 semaines

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les sessions critiques dans l'écosystème de représentations traditionnel durent en moyenne 50 minutes. Les sessions de type maquette sont en général deux fois plus courtes est durent entre 22 et 26 minutes (Tableau 15). Les

sessions Hyve-3D sont les plus courtes et durent entre 10 et 18 minutes. Enfin, les sessions SDC durent chacune 41 minutes.

Tableau 15 Durée des sessions critiques observées pour chacune des sessions

Cas	Sessions	Durée session (min)
Traditionnel	Étudiante A_1	29
	Étudiante A_2	56
	Étudiante A_3	43
	Étudiante B_1	53
	Étudiante B_2	52
	Étudiante B_3	35
	Étudiante C_1	58
	Étudiante C_2	52
	Étudiante C_3	60
Maquette	Étudiante D	26
	Étudiant E	22
	Étudiant F	23
Hyve-3D	Étudiant G	12
	Étudiante H	18
	Étudiant I	10
SDC	Groupe J	41
	Groupe K	41
	Groupe L	41

6.1.8 Limites de l'analyse

La comparaison entre nos cas d'étude nous permet de mettre en avant certaines limites de notre recherche. Tout d'abord, nous avons un nombre de cas restreint pour chacun des types d'écosystème de représentations, excepté pour le cas des sessions critiques de type traditionnel. De plus, chacun des studios de projet est mené par une équipe encadrante différente, avec une proposition de projet différente. Comme nous l'avons vu, parfois au sein d'un même studio de projet, les programmes et sites de projet peuvent varier. Nous avons également souligné les différences de nombre de participants à la critique, les différentes temporalités d'observation des studios de projet et les différences de longueur des sessions, de 10 min pour la plus courte à 60 minutes pour la plus longue. Nos observations *in vivo* ont été contraintes par les aléas du studio : étudiants souhaitant se retirer de l'étude en cours,

étudiants absents une séance, ou encore enseignants ne respectant pas le temps défini pour la session critique. Notre position, en dehors de l'équipe d'encadrement du studio, nous a permis d'avoir un échange informel et facilité avec les étudiants. Cependant, par cette position, nous avions peu de contrôle sur le déroulement des studios de projet, sur le choix de l'exercice et sur le nombre d'étudiants participants à l'étude. Ces limites sont à prendre en compte dans l'interprétation de nos résultats.

Malgré les limites pointées, les outils méthodologiques que nous utilisons nous permettent de comparer chacun des cas par rapport aux autres de manière à faire ressortir leur similarités et différences.

6.2 Résultats

L'étude de ces cas a pour objectif de répondre à notre troisième question de recherche, liée à l'altération de la situation de la critique par l'utilisation d'écosystèmes de représentations alternatifs.

- Quel est l'effet de l'utilisation d'écosystèmes de représentations alternatifs sur la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?

Comme dans le chapitre précédent, nous étudierons chaque cas de sessions critiques par rapport à trois éléments décrivant cette situation : la variation des modes pédagogiques, l'analyse de la pratique réflexive et l'utilisation de l'écosystème de représentations. Nous verrons en quoi l'écosystème de représentations peut avoir un effet sur l'engagement des étudiants dans la session critique, peut inciter à l'évaluation du projet, la reformulation des intentions de projet et la proposition de solutions, et permet d'amplifier les actions des participants sur les représentations du projet.

Nous utilisons les mêmes outils méthodologiques que dans le chapitre précédent pour explorer ces pratiques en fonction de l'écosystème de représentations utilisé. Pour parler de l'engagement des étudiants dans la session critique, nous regarderons la distribution des processus de conception FBS individuels et co-conçus ainsi que l'occurrence cumulative de ces processus au cours de la session. Pour explorer la pratique réflexive au cours de

chaque session, nous nous attacherons à certaines de ses caractéristiques comme la coévolution de l'espace solution et de l'espace problème, que nous représenterons par les valeurs de l'indicateur P-S. L'utilisation de l'écosystème de représentations est étudiée à travers la distribution des actions des participants sur l'écosystème de représentations et la manière dont les enseignants et étudiants naviguent dans l'espace des représentions du projet (changement de point de vue ou de dimension).

6.2.1 Favoriser l'engagement des étudiants dans la session critique

Nous avons déterminé trois types d'engagement de la part de l'étudiant : un engagement silencieux qui est associé à des stratégie pédagogique de type *modeling* et *reflection*, un engagement individuel actif qui est associé à des stratégies pédagogiques de type *exploration* et *articulation* et un engagement collaboratif, qui est associé à des stratégies pédagogiques de type *coaching* et *scaffolding*.

6.2.1.1 Engagement des étudiants dans les processus de co-conception FBS

Pour étudier la distribution de ces types d'engagements, nous nous sommes attachés, dans un premier temps, à la distribution normalisée des processus de conception individuels et co-conçus, tous acteurs confondus, par rapport à l'ensemble des processus potentiels (Tableau 16). Les processus de conception individuels sont l'ensemble des processus construits par l'enseignant ou l'étudiant seulement. Pour calculer la part des processus de co-conception, nous avons pris en compte l'ensemble des processus de conception FBS co-construits entre l'enseignant et l'étudiant. Les processus qui ne sont pas identifiés comme un des huit processus de conception FBS font néanmoins partie de l'activité de conception mais ne sont pas comptés comme processus de conception (cf. exemple des deux systèmes de réflexion *fast and slow* de Kahneman (2011) dans la section 5.2.1.1, p.161).

Les données qui suivent sont les moyennes par cas des distributions de processus de chacune des sessions des étudiants. Pour le cas traditionnel, les distributions moyennes des neuf sessions détaillées au chapitre précédent sont utilisées. Pour les trois autres cas, les moyennes des trois sessions de chaque cas sont utilisées.

Pour l'ensemble des cas, la part des processus de conception individuelle est largement supérieure à la part des processus de co-conception. La part des processus co-conçus est la plus faible pour les sessions maquette (M=10,7%, σ =1,6) et les sessions SDC (M=11,5%, σ =3,2). Ils sont plus fréquents dans les sessions Hyve-3D, avec une moyenne de 14,2% (σ =1,2) et les sessions traditionnelles (M=13,6%, σ =4,2).

Tableau 16 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS (individuels et co-conçus) sur l'ensemble des processus potentiels pour chaque session

	Co-conception	Conception individuelle	Pas de processus FBS
Moyenne Traditionnelle	**13,6**	**48,8**	**37,6**
Écart type Traditionnelle	*4,2*	*6,7*	*7,3*
Moyenne maquette	**10,7**	**45,5**	**43,8**
Écart type maquette	*1,6*	*3,2*	*1,6*
Moyenne Hyve 3D	**14,2**	**45,5**	**40,4**
Écart type Hyve 3D	*1,2*	*7,3*	*8,3*
Moyenne SDC	**11,5**	**45,9**	**42,6**
Écart type SDC	*3,2*	*6,2*	*3,3*

Pour avoir une analyse plus précise de l'engagement de chaque acteur dans la session critique, nous avons mesuré pour l'ensemble des processus de conception FBS (individuels et co-conçus, ce qui représente entre 50 et 70% de l'ensemble des processus), leur distribution en fonction des acteurs qui les ont formulés (Tableau 17).

Pour rappel, quatre possibilités apparaissent quant à la construction des processus : l'étudiant formule des processus de conception FBS de manière individuelle, l'enseignant formule des processus de conception FBS de manière individuelle, l'étudiant formule le premier élément du processus de conception FBS et l'enseignant le second, et inversement. Comme nous l'avons évoqué précédemment certaines sessions impliquent plusieurs étudiants ou plusieurs enseignants, que nous avons regroupés sous deux types d'acteurs uniques, étudiant et enseignant.

Dans chacune des sessions, tous écosystèmes de représentations confondus, les processus de conception FBS formulés par l'enseignant prévalent (Tableau 17). En effet, l'enseignant domine la session en terme de production de processus de conception individuels. Pour les sessions dans le Hyve-3D, la dominance est la plus forte (M= 61,3%, SD=9,8). Cette part

de processus individuels construits par l'enseignant diminue légèrement pour les sessions traditionnelles (M=52,1%, σ =12,5), les sessions SDC (M=52,5%, σ =16,9) et les sessions maquette (M=52,4%, σ =8,3).

Dans la plupart des cas, les processus co-conçus construits par une interaction initiée par l'enseignant et continuée par l'étudiant ont une distribution équivalente aux processus co-construits initiés par l'étudiant et continués par l'enseignant (cf colonne « Processus co-conçus étudiant > enseignant » et colonne « Processus co-conçus enseignant > étudiant » du Tableau 17). Nous notons une plus grande différence entre ces deux valeurs pour le cas Hyve-3D où la distribution des processus FBS co-conçus enseignant > étudiant est plus élevée que celle des processus co-conçus étudiant > enseignant.

La distribution des processus co-conçus étudiant > enseignant oscille autour de 10% pour l'ensemble des cas. Celle des processus co-conçus enseignant > étudiant est relativement plus élevée dans le cas Hyve-3D que dans les autres cas avec une moyenne de 14,1% (σ =1,9) contre 10,6% (σ =2,8) pour les sessions traditionnelles, 9,9% (σ =2,6) pour les sessions maquette et 10,1% (σ =2,8) pour les sessions SDC. Il semble que dans les sessions Hyve-3D, les étudiants sont plus réactifs à ce que formule l'enseignant que dans les autres sessions, comme l'indique cette différence dans la distribution des processus co-conçus enseignant > étudiant.

Tableau 17 Distribution normalisée (%) des processus de conception FBS en fonction des interactions des acteurs de la session

	Processus individuels étudiant	Processus co-conçus étudiant > enseignant	Processus co-conçus enseignant > étudiant	Processus Individuels enseignant
Moyenne Traditionnelle	**26,1**	**11,2**	**10,6**	**52,1**
Écart type Traditionnelle	10,7	3,1	2,8	12,5
Moyenne maquette	**28,5**	**9,2**	**9,9**	**52,4**
Écart type maquette	11,1	0,9	2,6	8,3
Moyenne Hyve 3D	**14,8**	**9,8**	**14,1**	**61,3**
Écart type Hyve 3D	9,6	2,1	1,9	9,8
Moyenne SDC	**27,2**	**10,2**	**10,1**	**52,5**
Écart type SDC	11,7	3,9	2,8	16,9

En résumé, nous avons vu que la tendance de distribution des processus de conception individuels et co-conçus évoquée au chapitre précédent se retrouve ici : les processus de conception individuels dominent et représentent entre 45 et 50% de l'ensemble des processus de la session critique ; les processus de co-conception représentent entre 10 et 15% de l'ensemble des processus de la session critique. Durant ces sessions, les étudiants commencent par présenter l'avancement de leur projet ou leur parti pris. Ce moment est généralement suivi de questionnements ou de démonstrations des enseignants qui viennent pointer les problèmes dans le projet et suggérer une manière d'y répondre. Ces moments sont représentés par des processus de conception individuels ce qui expliquent leur dominance.

De manière générale, nous voyons que l'engagement de l'étudiant dans les processus de conception individuels et co-conçus est plutôt similaire sur l'ensemble des cas. Nous notons que la présence de processus de co-conception est légèrement plus importante pour les sessions traditionnelles et Hyve-3D. Les moments d'engagement silencieux, où l'enseignant est dans la démonstration représentent à chaque fois plus de la moitié des processus de conception. Ces moments sont particulièrement dominants dans les sessions Hyve-3D. Dans ces sessions, comparées aux trois autre cas, les processus individuels de l'enseignant dominent largement sur les processus individuels de l'étudiant. Comme nous l'avions soulevé au chapitre précédent, une grande part des processus de conception individuels de l'étudiant sont présents dans le premier tiers de la session critique car il ou elle présente son projet. Dans les sessions Hyve-3D, la présentation du projet de l'étudiant est très courte ce qui peut expliquer cette différence. Nous notons également que les étudiants dans le Hyve-3D semblent plus réactifs et engagés pour répondre aux questionnements de leur enseignant.

6.2.1.2 Évolution de l'engagement de l'étudiant au cours de la session

Pour mesurer l'évolution de l'engagement de l'étudiant dans les processus de conception au cours de la session critique nous avons analysé l'occurrence cumulée des processus de conception auxquels l'étudiant participe pour les cas maquette (Figure 100 à Figure 102), Hyve-3D (Figure 103 à Figure 105) et SDC (Figure 106 à Figure 108). Les courbes des occurrences cumulées des sessions traditionnelles ont été présentées au chapitre précédent (Figure 54 à Figure 62). Ces courbes nous donnent des informations sur l'organisation de ces processus tout au long de la session critique (cf § 4.3.1). Nous avons synthétisé un modèle de ces courbes d'occurrence pour le cas des sessions critiques dans l'écosystème

de représentation traditionnel (Figure 63, p.171), ce qui nous donne une base de comparaison pour étudier l'évolution de l'engagement des étudiants dans la session critique dans les autres cas. La forme de la courbe informe sur la régularité de l'engagement des étudiants et la pente sur la fréquence d'apparition des processus.

Pour les trois cas de sessions critiques dans l'écosystème de représentations maquette (Figure 100 à Figure 102), nous retrouvons plus ou moins le même modèle que pour les sessions critiques dans l'écosystème de représentations traditionnel. L'engagement des étudiants dans les processus de conception individuels se distingue en deux phases. Dans la première, l'étudiant présente son projet, ce que nous voyons dans la linéarité et la pente de la courbe des occurrences dans la première phase. Durant la seconde phase, les interventions de l'étudiant sont plus courtes et moins fréquentes, souvent pour apporter une clarification sur un élément du projet ou apporter une justification à un problème soulevé dans le projet (cf courbes phase 2). L'évolution de l'engagement de l'étudiant dans les processus de co-conception est constant, on peut voir que les courbes d'occurrence de ses processus ont une tendance linéaire. Cet engagement est cependant peu fréquent comme le montre la faible pente des courbes d'occurrence de ces processus.

Les sessions critiques dans le Hyve-3D sont beaucoup plus courtes que les autres sessions. Il n'était pas pertinent de vérifier les tendances linéaires des courbes car nous avons trop peu de points sur la courbe pour que cela soit représentatif. Pour la session de l'étudiant G (Figure 103), les courbes des occurrences cumulées des processus où l'étudiant est activement engagé semblent similaires aux sessions des cas traditionnels. En ce qui concerne les deux autres étudiants, nous voyons que l'évolution de leur engagement apparaît de manière différente (Figure 104 et Figure 105). Les courbes d'occurrences des trois processus analysés sont similaires les unes aux autres. Dans ces deux cas, il n'y a pas de distinction entre une première phase où l'étudiant présente son projet, suivi de l'échange critique. Assez rapidement, l'échange entre enseignant et étudiant prend place.

En ce qui concerne l'engagement des étudiants dans les sessions critiques du SDC, nous voyons que pour le groupe J (Figure 106) et le groupe K (Figure 107) l'évolution de l'engagement des étudiants est similaire à celui des sessions traditionnelles. Deux phases se distinguent dans l'engagement dans des processus individuels pour les groupes J et K, ce qui n'est pas le cas pour le groupe L (Figure 108). L'engagement dans les processus collaboratifs est constant mais peu fréquent pour l'ensemble des groupes.

Nous notons que l'engagement des étudiants dans les processus individuels pour le groupe L suit des phases qui sont représentées par la forme de la courbe d'occurrences en escalier. Ce phénomène apparaît dans la deuxième partie de la session pour les étudiantes du cas traditionnel alors qu'il apparaît dès le début ici. Une raison possible à cela est liée au nombre d'étudiants participant à la critique dans le cas SDC. En effet, après une courte présentation du projet dans son ensemble, ils s'expriment à tour de rôle pour décrire l'avancement de la partie du projet sur laquelle ils ont travaillé, ce qui explique la récurrence des moments d'engagement individuel intenses tout au long de la session.

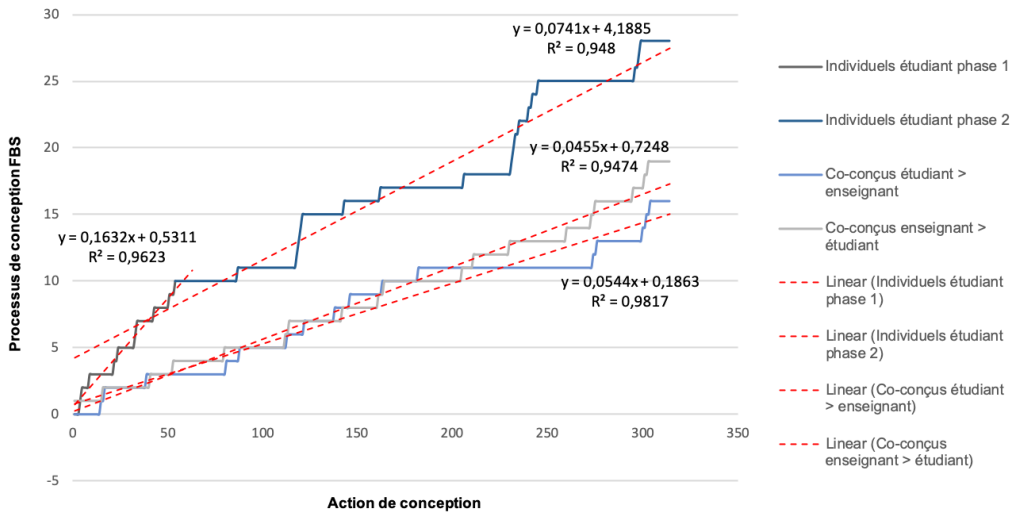


Figure 100 Occurrences cumulées de la session maquette de l'étudiante D

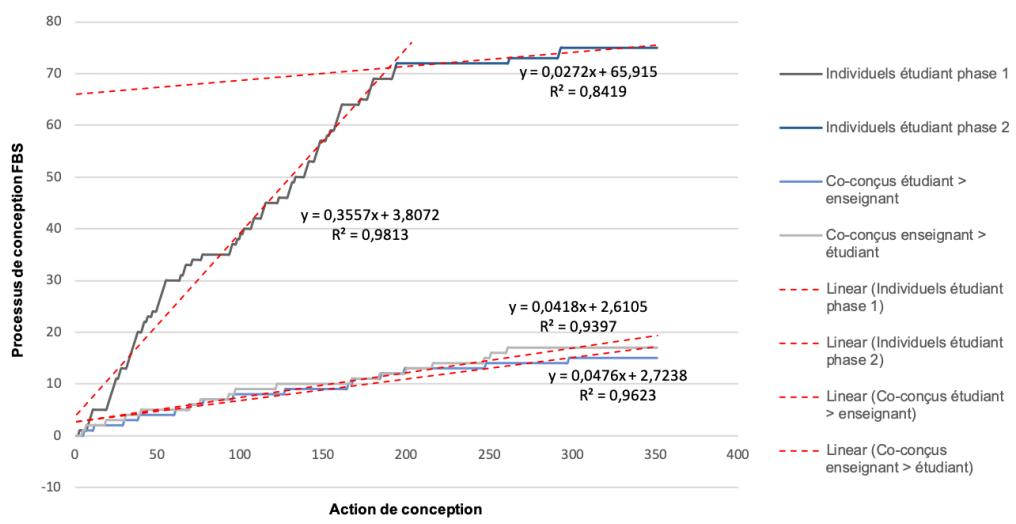


Figure 101 Occurrences cumulées de la session maquette de l'étudiant E

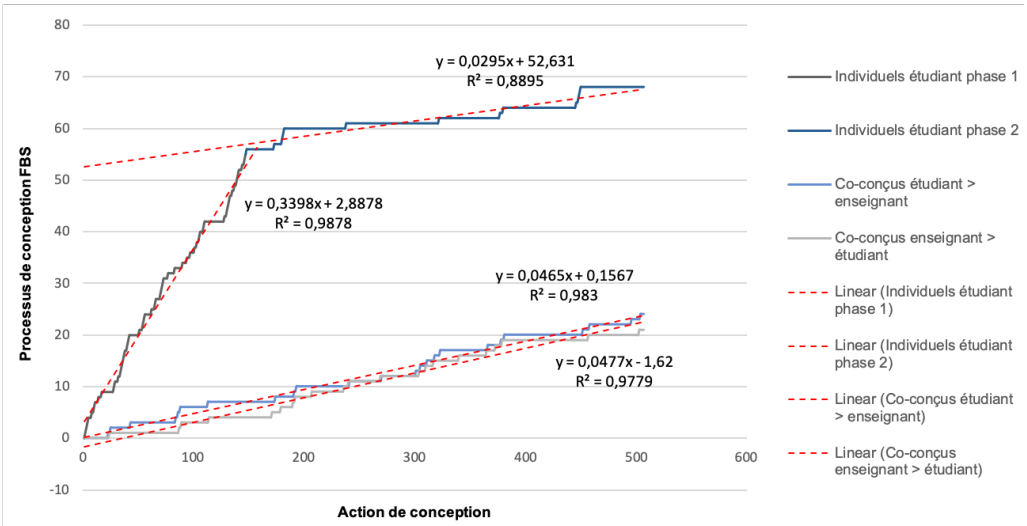


Figure 102 Occurrences cumulées de la session maquette de l'étudiant F

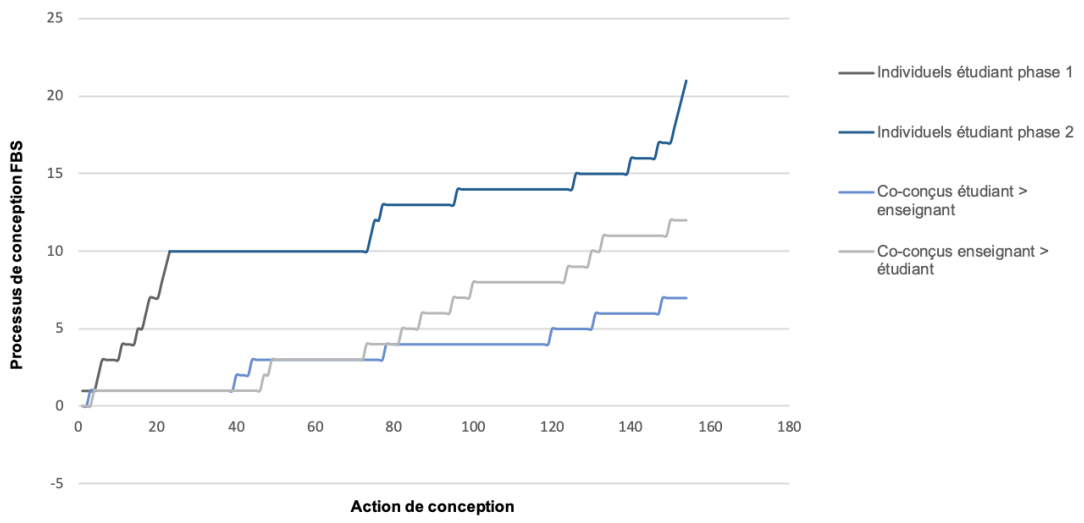


Figure 103 Occurrences cumulées de la session Hyve-3D de l'étudiant G

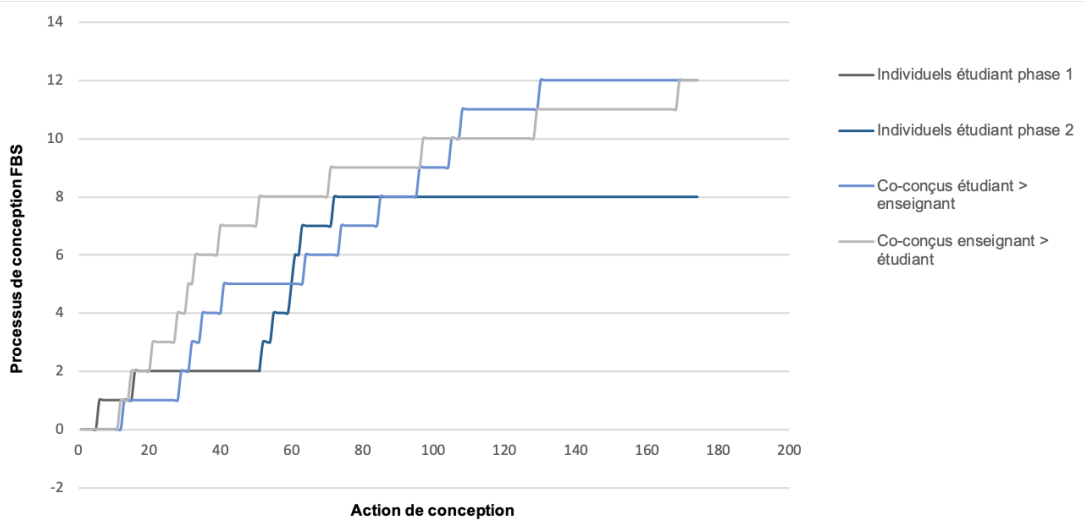


Figure 104 Occurrences cumulées de la session Hyve-3D de l'étudiante H

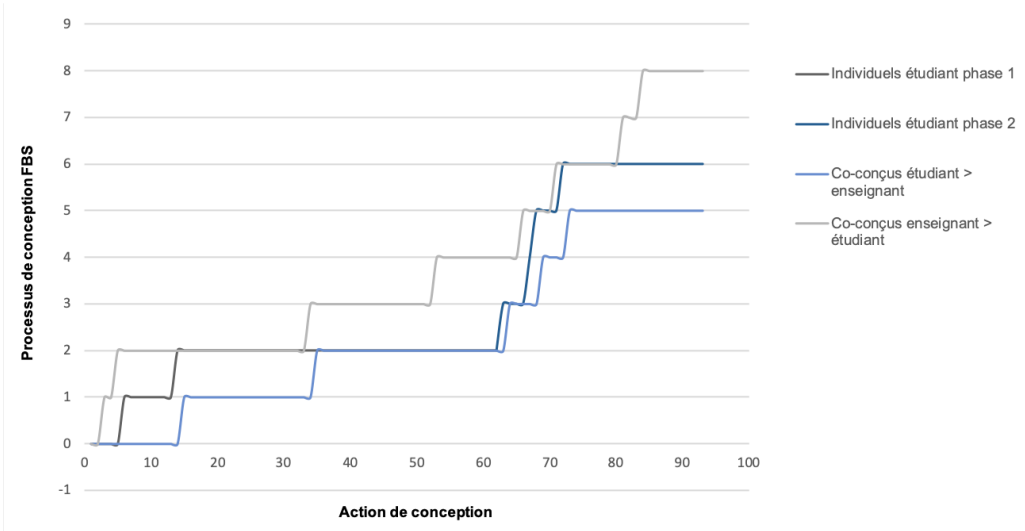


Figure 105 Occurrences cumulées de la session Hyve-3D de l'étudiant I

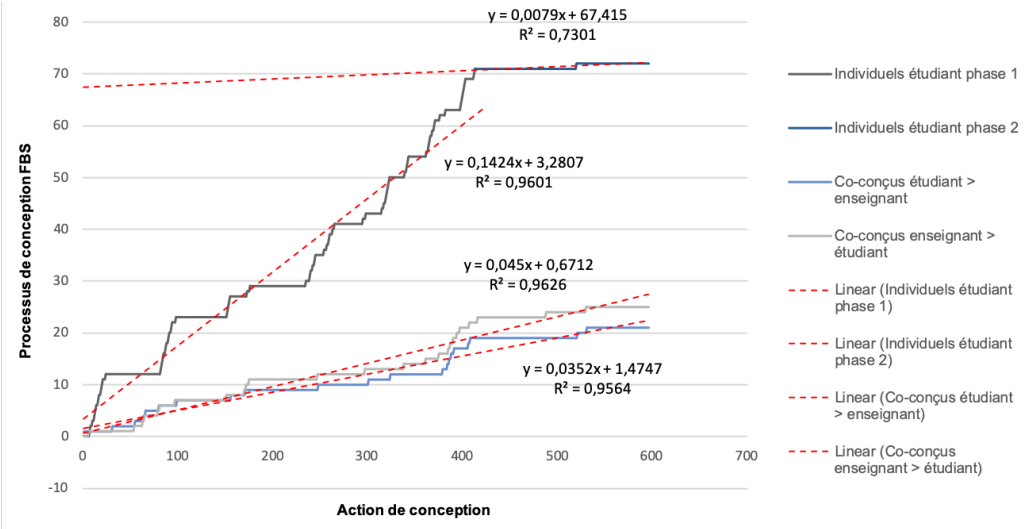


Figure 106 Occurrences cumulées de la session SDC du groupe J

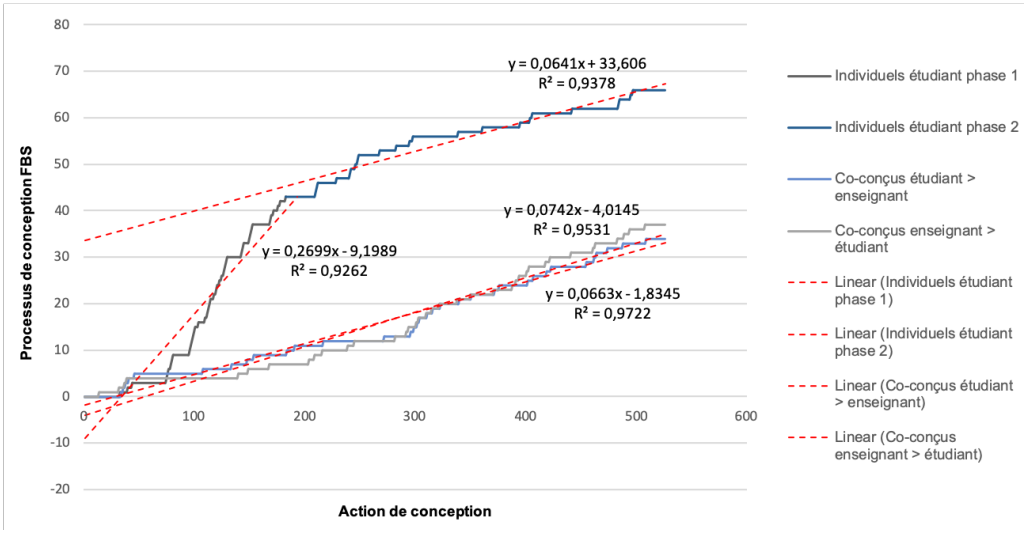


Figure 107 Occurrences cumulées de la session SDC du groupe K

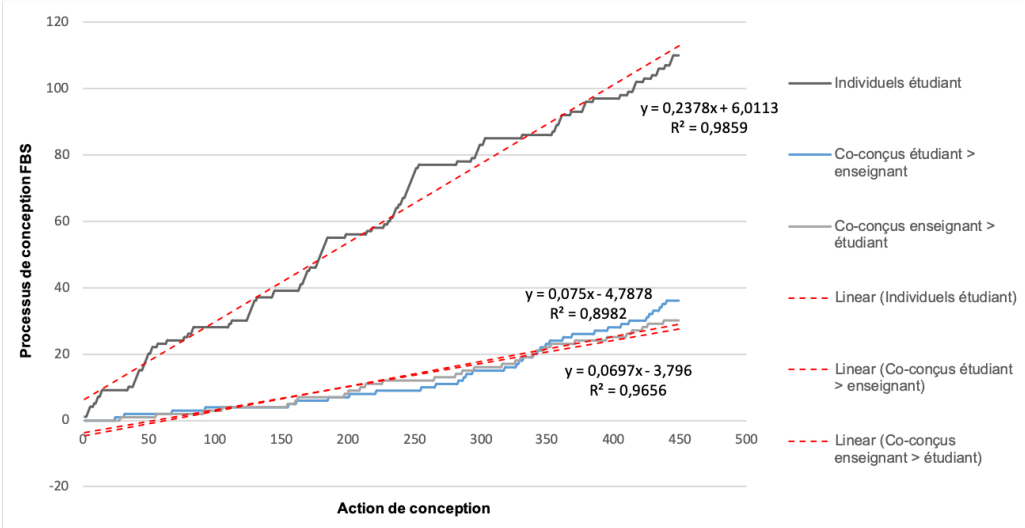


Figure 108 Occurrences cumulées de la session SDC du groupe L

En résumé, nous avons vu que l'engagement des étudiants dans la session critique évolue de manière similaire pour les sessions dans l'écosystème de représentations maquette et dans l'écosystème de représentations traditionnel. Nous avons observé des variations pour deux des sessions dans le Hyve-3D, où l'évolution de l'engagement des étudiants dans les processus individuels et collaboratifs est similaire, ce qui n'est pas le cas pour les autres sessions. Nous pensons que cette différence peut être due au changement d'écosystème de représentations, car le Hyve-3D tend à favoriser les processus collaboratifs.

L'engagement des étudiants dans les processus individuels de conception pour les sessions SDC est plus séquencé que dans les autres cas. La raison la plus probable à cette variation est le nombre d'étudiants participant à la critique dont nous n'avons pas tenu compte dans cette analyse. En effet, les étudiants présentent un par un le bâtiment sur lequel elle ou il a travaillé depuis la dernière critique. Nous notons cependant que la discussion suivant chacune de ces présentations individuelles est collaborative et inclut en général plusieurs étudiants.

6.2.1.3 Mise en parallèle avec un autre cas d'étude Hyve-3D

Dans une étude parallèle sur des sessions critiques situées dans l'écosystème de représentations Hyve-3D d'un studio de projet en design industriel, nous avons analysé les processus de co-idéation entre enseignants et étudiants. Pour cette étude (menée dans le cadre d'une mobilité à l'Hybridlab, Université de Montréal), le cadre théorique d'analyse des processus de conception utilisé est différent de celui que nous avons exploité pour nos cas de sessions critiques en studio, mais il permet également de mesurer l'engagement des étudiants dans les sessions critiques Hyve-3D. Deux éléments sont mesurés pour ces sessions : l'engagement de l'étudiant dans l'activité de co-idéation, et l'engagement de l'étudiant d'un point de vue de l'expérience ressentie, lié à la notion de *flow*.

Le concept de *flow* est intéressant lorsqu'on étudie la manière dont les étudiants perçoivent les critiques. Il est reconnu comme important pour promouvoir un apprentissage de qualité et pour promouvoir la créativité dans un environnement pédagogique (Ryan & Deci, 2000). Le *flow*, aussi appelé « expérience optimale », fait référence à un état de conscience très spécifique se produisant lorsqu'une personne est impliquée dans une activité particulière (Csikszentmihalyi, 1975). L'équilibre entre les défis perçus inhérents à l'activité et les compétences perçues pour relever ce défi est considéré comme un précurseur essentiel du *flow*.

Le défi (*challenge*) fait référence aux exigences de l'activité du point de vue du participant, alors que les compétences (*skills*) sont la capacité du participant à répondre aux exigences de cette activité. L'état de *flow* est ressenti lorsque les exigences et les capacités sont élevées, c'est-à-dire lorsqu'un équilibre entre un défi élevé et des compétences élevées est atteint.

Pour mesurer l'engagement des étudiants dans la co-idéation, le cadre théorique de *Design Conversations* (DC) (Dorta *et al.*, 2011) est exploité. Les six éléments définis dans le cadre théorique des DC ont été utilisés pour encoder les échanges verbaux des sessions critiques dans le Hyve-3D et leurs associations forment trois types de conversations collaboratives (cf description section 0, p.70). Dans nos cas d'étude (6 sessions critiques Hyve-3D), nous avons observé des moments récurrents exprimant l'idéation collaborative par la présence de *Collaborative Conversations* (CC) et de *Collaborative Ideation loops* (CI loops). Pour identifier différents types d'engagement des étudiants, nous nous sommes attachés à leurs participations dans les CI loops. Trois catégories de CI loops sont apparues dans nos données que nous avons nommés : CI (*proposing*) lorsque l'étudiant propose une idée et d'autres acteurs la négocient, CI (*negotiating*) quand un autre acteur propose une idée et l'étudiant la négocie, CI (*observing*) dans le cas où l'étudiant ne participe pas verbalement à la boucle d'idéation, il l'observe comme une démonstration.

Le *flow* est mesuré selon la méthode proposé par Safin *et al.* (2016). Après chaque session critique, les étudiants visionnent l'enregistrement de leur session et évaluent en temps réel le niveau de défi perçu pendant la session ainsi que le niveau de leur compétence pour y répondre. L'analyse de ces deux valeurs subjectives permet de déterminer l'état de l'expérience de l'étudiant : *flow*, contrôle ou stress.

Le croisement des données sur l'expérience et sur l'engagement dans la co-idéation nous a permis de déterminer des marqueurs de *design flow* qui semblent être spécifique à la situation de la critique, qui associe un état d'expérience (flow, contrôle et stress) avec la verbalisation de certains éléments de *Design Conversation* (*Proposing* et *Negotiating*).

Les résultats de cette étude sont détaillés dans l'article « *Co-ideation critique unfolded: an exploratory study of a co-design studio 'crit' based on the students' experience.* » (Boudhraa *et al.*, 2019).

En résumé, sur l'ensemble des sessions critiques, avons trouvé des marqueurs de l'engagement des étudiants (sensation de *flow*) pendant tous les types de *CI loops* (*CI proposing*,

CI negotiating et *CI observing*), ce qui démontre que l'étudiant peut être engagé dans la session critique non seulement lorsqu'il participe verbalement à l'activité de co-conception mais également lorsqu'il l'observe en silence. Dans l'étude de nos autres cas, nous n'avons pas de résultats sur cet engagement silencieux, car nous n'avions pas de moyens pour le mesurer. Les cas présentés ci-dessus apportent cette dimension supplémentaire illustrant l'importance de la stratégie pédagogique de *modeling*, où l'enseignant fait une démonstration et explicite son processus de conception.

6.2.2 Inciter à l'évaluation, la reformulation des intentions de projet et la formulation de propositions

Dans cette section, nous allons discuter l'effet d'un changement d'écosystème de représentations sur les processus cognitifs de pratique réflexive tels que l'évaluation, la formulation de propositions et la reformulation d'intentions de projet. Ces processus impliquent une navigation entre l'espace problème et l'espace solution. Dans l'ontologie FBS, une transition de l'espace problème à l'espace solution s'effectue par les processus *Synthesis* et *Evaluation* (Be > Bs). Une transition de l'espace solution à l'espace problème se transpose par les processus *Evaluation* (Bs > Be), *Reformulation 2* et *Reformulation 3*. *Synthesis* est une formulation de propositions (*Structure*) basée sur des intentions de projets définies dans des *expected Behaviors*. *Evaluation* est une manière directe de comparer intentions de projet et proposition actuelle du projet. Les processus de *Reformulation* (2 et 3) expriment un ajustement des variables des intentions de projet en terme d'intentions (*expected Behavior*) et de concepts (*Function*).

Dans un premier temps, nous étudierons la coévolution de l'espace du problème et de la solution de conception pour chacun des cas à travers l'évolution de l'indicateur P-S. Nous avons déjà soulevé l'importance de l'itération entre proposition d'une solution, évaluation de la solution pour reformuler les intentions et concepts du projet dans le cas de la critique de projet. Ces moments indiquent une coévolution de l'espace problème et de l'espace solution, qui permet d'avancer dans le processus de conception.

Dans un second temps, nous analyserons la distribution moyenne des processus de conception FBS et le rôle de chaque acteur dans la pratique réflexive de la session critique pour chacun des écosystèmes de représentations. Nous utiliserons le modèle de co-conception

situé FBS pour représenter de manière qualitative le rôle de chaque acteur pendant la session critique.

6.2.2.1 Coévolution de l'espace problème / solution

Pour l'ensemble des 18 sessions critiques de nos quatre cas d'étude, l'indicateur P-S est négatif, ce qui indique que l'activité est focalisée sur la solution plutôt que sur le problème de conception (Tableau 18). Comme nous l'avons mentionné précédemment, les sessions observées sont situées à différents moments du studio. Dans l'ensemble, nous voyons que la tendance observée sur les sessions traditionnelles se retrouve sur l'ensemble des sessions critiques. Pour les sessions en semaine 7 (Hyve-3D) et les sessions en semaine 10 et 11 (traditionnelles et maquette), la valeur de l'indicateur P-S va en moyenne varier entre -0,30 et -0,40. Sur les dernières semaines du studio l'effort cognitif semble plus grand sur la solution, comme le montre l'exemple de la semaine 12 (traditionnel) et 13 (SDC) où la valeur de l'indicateur P-S atteindra une moyenne de -0,58 pour la semaine 12 du cas traditionnel et de -0,63 pour la semaine 13 du cas SDC.

Lors de la semaine 12 du studio traditionnel (cf descriptif des sessions 3 de ce cas d'étude dans le § 5.2.2.1), la session se focalise sur l'organisation spatiale intérieure des bâtiments dont les plans sont révisés, et sur la matérialité et le dessin des façades. Lors de la session 12 du cas SDC, les mêmes éléments sont au cœur de la discussion. Lors de ces sessions, le concept ou parti pris du projet n'est pas discuté ou remis en cause, simplement rappelé et référencé de temps en temps. À l'inverse, lors des sessions 7 du Hyve-3D et des sessions 10 et 11 traditionnelles et maquette, le concept du projet (défini par des *Functions* dans l'espace problème) est un élément central de la discussion ce qui peut expliquer la différence de valeur de l'indicateur P-S entre ces sessions critiques.

Tableau 18 Indicateur P-S par type de session

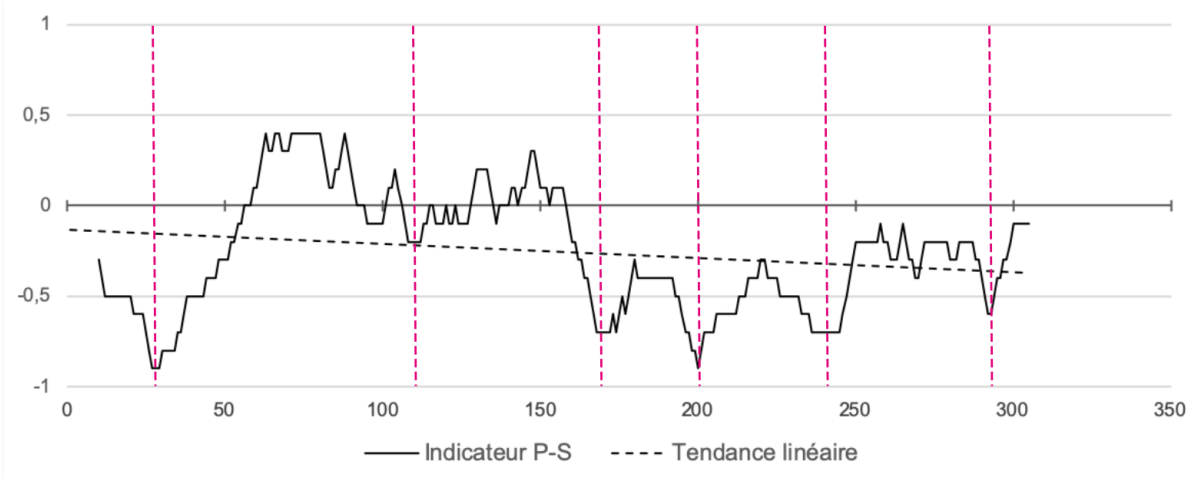
	P-S indicateur	Semaine studio
Traditionnelle A_1	-0,36	10
Traditionnelle B_1	-0,30	10
Traditionnelle C_1	-0,38	10
Moyenne Traditionnelle 1	**-0,35**	**10**
Traditionnelle A_2	-0,36	11
Traditionnelle B_2	-0,53	11
Traditionnelle C_2	-0,23	11
Moyenne Traditionnelle 2	**-0,37**	**11**
Traditionnelle A_3	-0,53	12
Traditionnelle B_3	-0,72	12
Traditionnelle C_3	-0,50	12
Moyenne Traditionnelle 3	**-0,58**	**12**
Maquette D	-0,24	11
Maquette E	-0,42	11
Maquette F	-0,24	11
Moyenne Maquette	**-0,30**	**11**
Hyve 3D G	-0,50	7
Hyve 3D H	-0,39	7
Hyve 3D I	-0,06	7
Moyenne Hyve 3D	**-0,32**	**7**
SDC J	-0,59	13
SDC K	-0,65	13
SDC L	-0,65	13
Moyenne SDC	**-0,63**	**13**

Comme pour les sessions traditionnelles, nous avons calculé l'indicateur P-S local pour une fenêtre de 20 segments pour les sessions maquette (Figure 109), Hyve-3D (Figure 110) et SDC (Figure 111). Nous avions modélisé la tendance de cet indicateur qui exprime une itération de l'effort cognitif placé sur l'espace problème puis sur l'espace solution sur une fenêtre d'environ 50 à 100 verbalisations, ce qui représente 4 à 8 minutes (Figure 67, p.179).

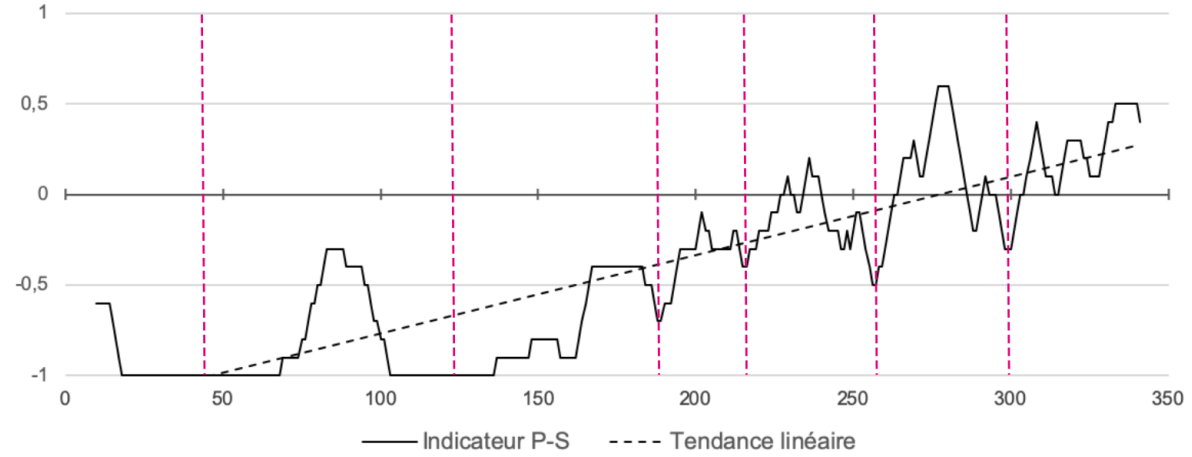
Pour les neuf sessions critiques de nos cas alternatifs, la valeur de l'indicateur P-S ne dépasse que peu de fois 0 et varie entre -1 et 0,6. Pour deux des sessions maquette, la valeur de l'indicateur P-S temporel a tendance à augmenter tout au long de la session alors qu'il diminue pour l'autre session. Pour l'ensemble des sessions Hyve-3D, il a tendance à diminuer au cours de la session, ce qui indique un effort cognitif plus important sur la solution vers la fin de la session. À l'inverse, pour l'ensemble des sessions SDC, l'indicateur P-S temporel a tendance à augmenter entre le début et la fin de la session.

Il est intéressant de noter que pour chacune de ces sessions nous retrouvons encore des marqueurs du processus itératif de navigation de l'espace solution vers l'espace problème, puis de l'espace problème vers l'espace solution avec une fréquence de 50 à 100 segments (4 à 8 min).

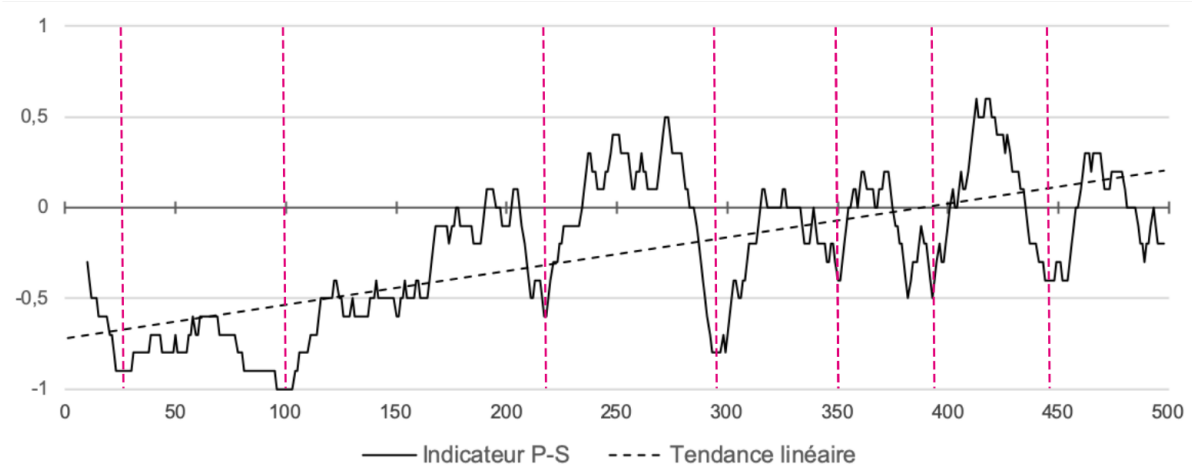
L'évolution au cours de la session critique de l'effort cognitif sur l'espace problème et l'espace solution des sessions maquette et SDC est très similaire à celui des sessions critiques dans l'écosystème de représentations traditionnel. Pour les sessions dans le Hyve-3D, la tendance d'évolution de l'indicateur P-S est de baisser et non d'augmenter, ce qui est la différence majeure entre ces sessions. Cela indique que l'effort cognitif est de plus en plus fort sur la solution du projet plutôt que sur le problème. Plusieurs éléments peuvent influencer ce phénomène : l'écosystème de représentations utilisé, le moment dans le semestre où la session critique a eu lieu et la durée de la session (10 à 15 minutes). L'écosystème de représentations Hyve-3D est adapté à la proposition de solutions par le dessin, et c'est ce que nous avons observé lors de ces sessions. Vers la fin de la session critique, l'enseignant ou l'étudiant testent des solutions partielles par le dessin. La proposition de solution de projet place l'effort cognitif sur l'espace solution plutôt que sur l'espace problème. La session critique observée s'est déroulée au cours de la semaine 7 du studio, en phase amont du développement du concept. De ce fait, l'enseignant a tendance à accompagner l'étudiant dans la définition de son projet plutôt que de pointer les problèmes et les limites de la solution proposée, ce qui peut aussi être une raison à l'évolution de l'indicateur P-S temporel pour ces sessions. De plus, la temporalité de la session (10 à 15 minutes) peut impliquer que les participants se focalisent principalement sur la solution du projet pour aller à l'essentiel dans le temps imparti.



(a)

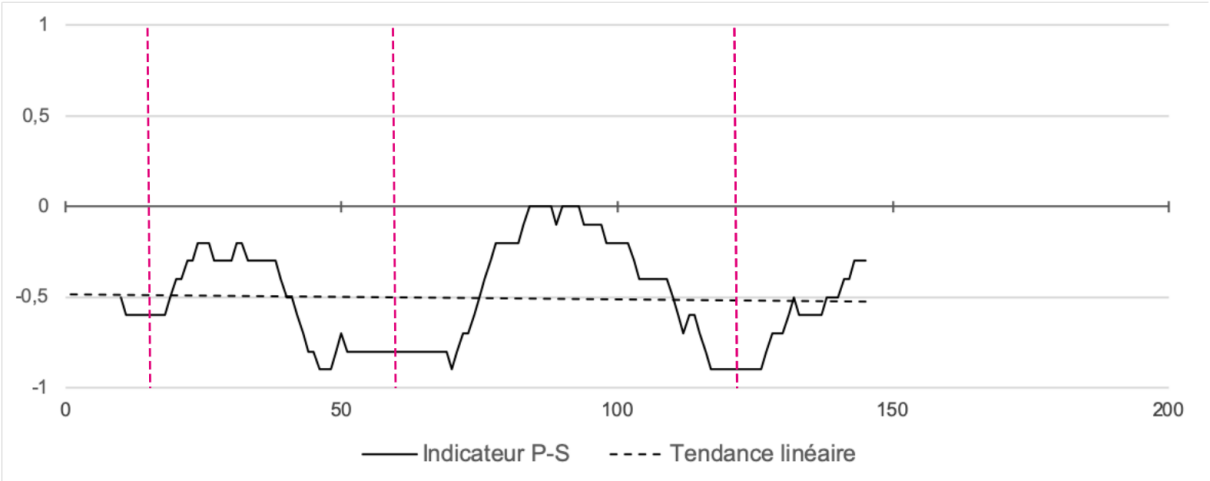


(b)

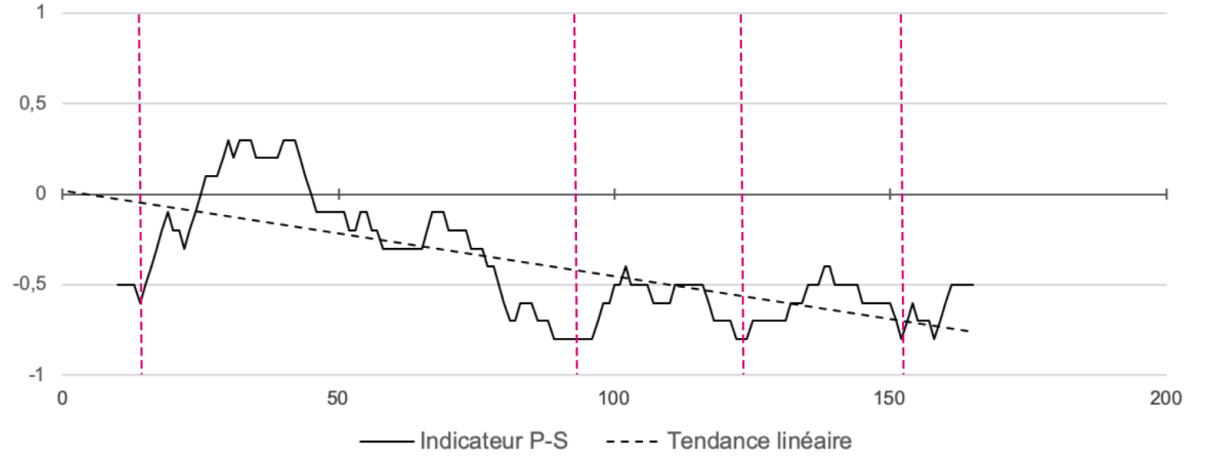


(c)

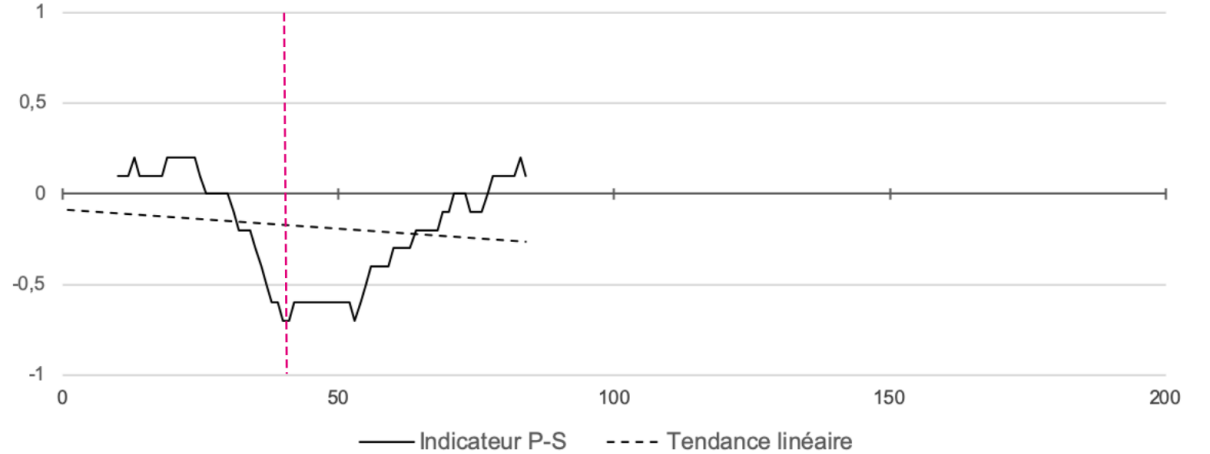
Figure 109 Indicateur P-S temporel pour les sessions maquette : étudiante D (a), étudiant E (b), étudiant F (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution.



(a)

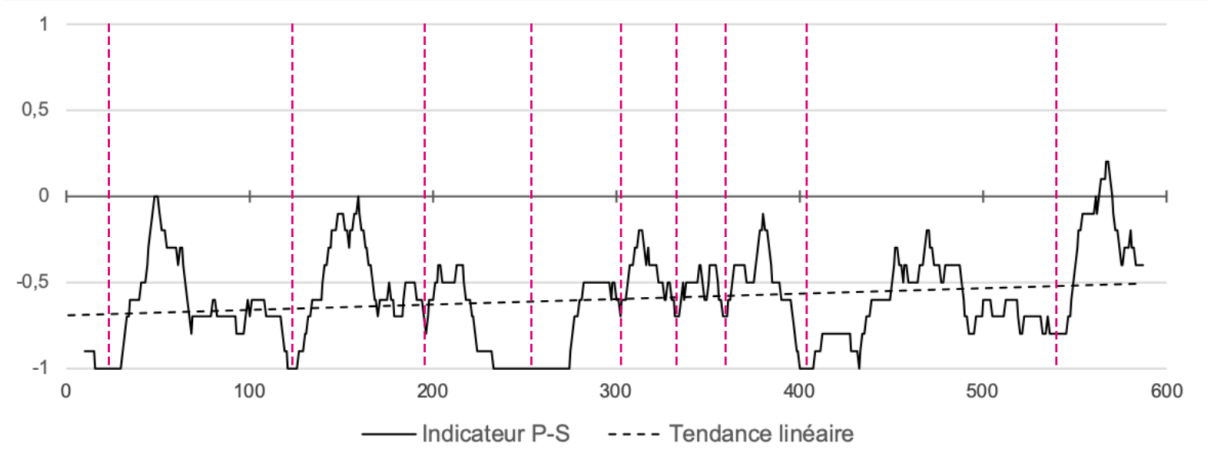


(b)

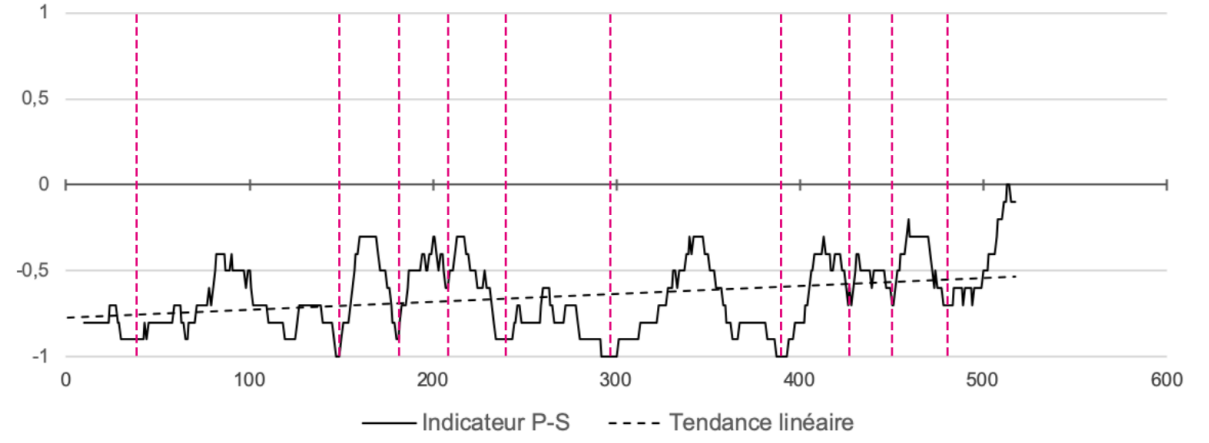


(c)

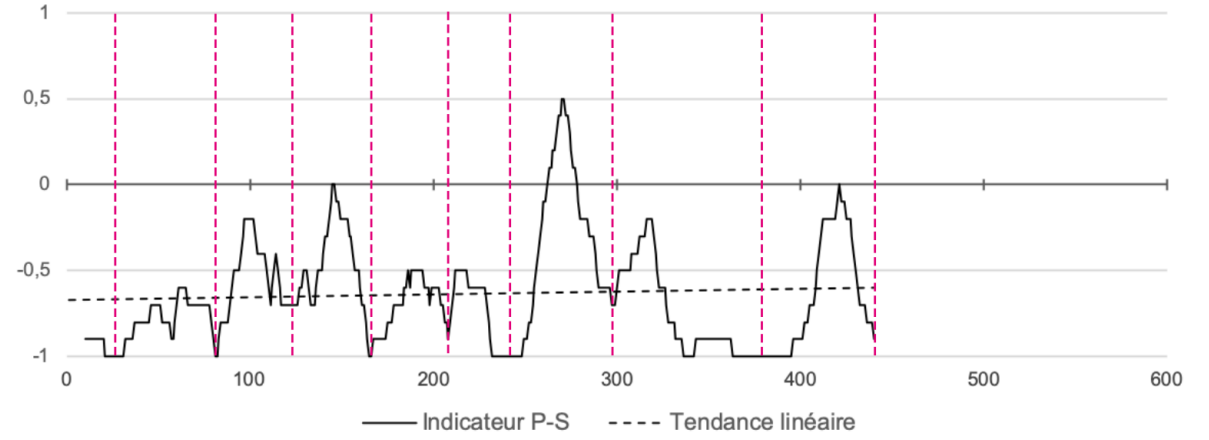
Figure 110 Indicateur P-S temporel pour les sessions Hyve-3D : étudiant G (a), étudiant H (b), étudiant I (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution.



(a)



(b)



(c)

Figure 111 Indicateur P-S temporel pour les sessions SDC : étudiant 1 (a), étudiant 2 (b), étudiant 3 (c). La tendance linéaire indique l'évolution générale de l'effort cognitif durant la session critique. La segmentation horizontale (pointillés roses) indique une itération de focalisation de l'effort sur le problème puis sur la solution.

En résumé, nous avons vu que sur l'ensemble des sessions, nous observons des marqueurs de la coévolution de l'espace problème et de l'espace solution qui est une caractéristique de l'activité de conception. Ceci montre la richesse de la pédagogie en studio de projet qui place l'étudiant dans une situation de pratique réflexive sur son projet.

En ce qui concerne la distribution de l'effort cognitif placé sur l'un ou l'autre des espaces durant la session critique, la variation semble être liée à la temporalité de la session et à l'avancement du projet plutôt qu'au type d'écosystème de représentations utilisé.

Au fil de la session critique, l'effort cognitif est en général de plus en plus intense sur l'espace problème, ce qui est logique lorsque l'on considère le déroulement de la session critique : l'étudiant présente la solution de son projet, puis l'enseignant et l'étudiant échange sur la qualité du projet et les éléments problématiques. Les oscillations entre concentration sur la solution et sur le problème de conception tous les 50 à 100 segments (4 à 8 minutes) marquent des phases où un élément du projet est présenté et discuté, avant de se concentrer sur un autre élément.

6.2.2.2 Processus de conception dominants pour chaque type d'écosystème de représentations

Pour déterminer la morphologie de l'activité de conception de chaque session, nous avons mesuré la distribution normalisée des processus de conception définis dans l'ontologie FBS. Pour toutes les sessions, les processus de conception FBS dominants sont *Analysis* (moyenne entre 22,9 et 30,6%), qui est une transition entre un élément *Structure* et un *Behavior from structure*, et *Reformulation 1* (entre 21,0% et 32,7%), qui est la transition entre un élément *Structure* et un nouvel élément *Structure* (Tableau 19).

Lorsque l'on compare localement chacun des processus, on distingue des différences. Les sessions maquette et Hyve-3D contiennent une part plus importante de processus *Formulation*, avec des moyennes respectives de 5,7% (σ =1,1) et 6,2% (σ =5,3) par rapport aux sessions traditionnelles (M=1,7%, σ =0,5) et aux sessions SDC (M=0,1, σ =0,2).

En ce qui concerne les processus *Synthesis*, leur distribution est plus importante pour les sessions traditionnelles (M=13,3%, σ =4,1) et Hyve-3D (M=13,5%, σ =6,0) que pour les autres.

Les processus *Analysis* sont relativement plus élevés pour les sessions SDC (M=30,6%, σ=1,6) et Hyve-3D (M=27,1%, σ= 9,4) que pour les sessions traditionnelles (M=25,3%, σ=4,0) et maquette (M=22,9%, σ=2,3).

Pendant les sessions sur la maquette et dans le Hyve-3D, la part des processus *Evaluation* (qui incluent les processus d'évaluation Be>Bs et Bs>Be) atteint une moyenne de 22,9% (σ=6,3) pour les premières et 19,1% (σ=7,7) pour les secondes. Elle est plus faible pour les sessions traditionnelles (M=15,8%, σ=2,3) et SDC (M=13,4%, σ=3,6).

Les processus *Reformulation 1* sont en général plus importants dans les sessions SDC (M=32,7, σ =7,2) et moins présents dans les sessions Hyve-3D (M=21,0%, σ =1,3).

Les processus de type *Reformulation 2* sont relativement moins fréquents pour les sessions maquette (M=10,5%, σ =4,3) que pour les autres sessions.

La part de processus de type *Reformulation 3* est très faible pour l'ensemble des sessions.

Tableau 19 Distribution normalisée des processus de conception FBS pour chaque session

	Formulation	*Synthesis*	*Analysis*	*Evaluation*	*Ref. 1*	*Ref. 2*	*Ref.3*
Moyenne Traditionnel	**1,7**	**13,3**	**25,3**	**15,8**	**30,5**	**11,3**	**2,0**
Écart Type Traditionnel	*0,5*	*4,1*	*4,0*	*2,3*	*2,4*	*4,8*	*0,7*
Moyenne Maquette	**5,7**	**10,8**	**22,9**	**22,9**	**25,6**	**10,5**	**1,6**
Écart Type Maquette	*1,1*	*3,4*	*2,3*	*6,3*	*11,8*	*4,3*	*1,5*
Moyenne Hyve-3D	**6,2**	**13,5**	**27,1**	**19,1**	**21,0**	**11,8**	**1,2**
Écart Type Hyve-3D	*5,3*	*6,0*	*9,4*	*7,7*	*1,3*	*7,9*	*1,2*
Moyenne SDC	**0,1**	**11,6**	**30,6**	**13,4**	**32,7**	**11,2**	**0,3**
Écart Type SDC	*0,2*	*2,6*	*1,6*	*3,6*	*7,2*	*1,8*	*0,3*

L'analyse factorielle des correspondances entre les différents types de critiques et les processus de conception FBS donne une représentation qualitative de prévalence des processus de conception en fonction du type d'écosystème de représentations utilisé (Figure 112). L'enjeu est de déterminer si un type de session critique est associé à un type de processus de conception.

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 112, les sessions Hyve-3D et maquette se trouvent sur la partie droite de la première dimension (en abscisse) alors que les sessions SDC et traditionnelles se trouvent de l'autre côté de cette dimension, ce qui illustre une différence relative entre ces deux groupes de sessions. Les sessions SDC et traditionnelles ont peu de différences par rapport à la deuxième dimension (en ordonnée), elles apparaissent d'ailleurs dans le même quadrant du graphe, ce qui indique une proximité relative par rapport à la distribution de processus de conception FBS pour ces sessions.

Les sessions Hyve-3D et maquette apparaissent sur un côté différent de la dimension 2 et sont chacune dans un quadrant différent du graphe. Les sessions Hyve-3D sont associées aux processus de *Reformulation 2* et *Synthesis*, les sessions maquette aux processus *Evaluation*, alors que les sessions SDC et traditionnelles apparaissent dans le même quadrant que les processus *Reformulation 1*.

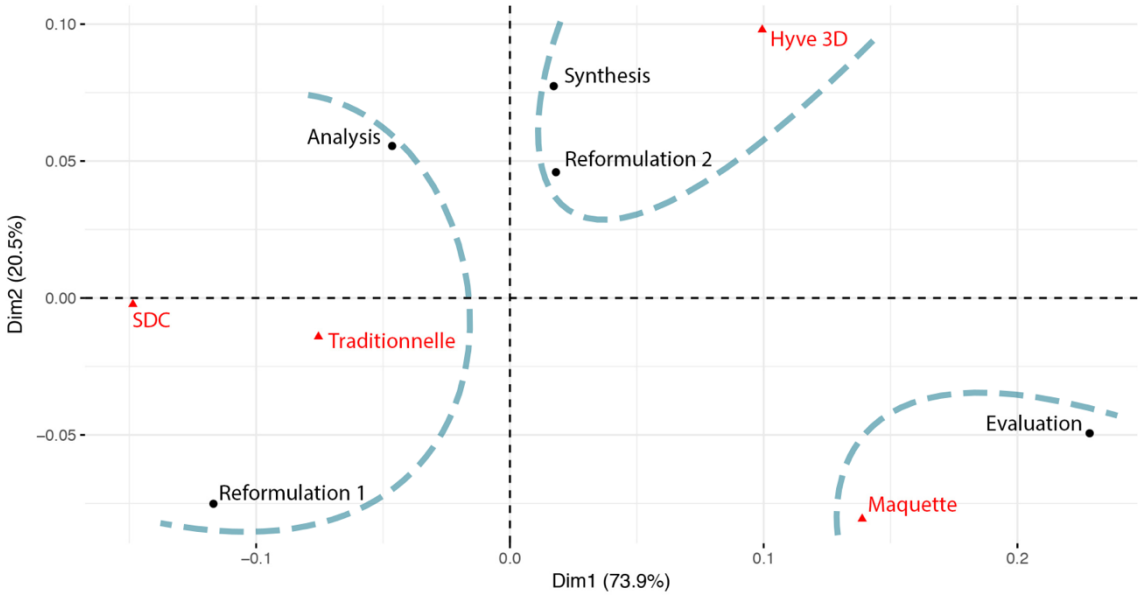


Figure 112 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'écosystème de représentations et les processus de conception FBS. 94,4% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les types de sessions critiques (rouge) et les processus de conception (noir).

En résumé, nous avons vu que comme pour les sessions critiques dans l'écosystème de représentations traditionnel, les processus de conception dominants sont les processus *Analysis* et *Reformulation 1*. Une différence importante apparaît dans la distribution des processus de *Formulation* qui sont plus élevés dans les sessions des écosystèmes de représentation Hyve-3D et maquette. A priori, la distribution des processus de *Formulation* devrait être liée à l'avancement du projet mais ce n'est pas le cas ici car les phases de projet sont

différentes pour les sessions Hyve-3D (semaine 7) et les sessions maquette (semaine 11). Cette différence peut être liée à l'écosystème de représentations utilisé ce qui impliquerait que la maquette grande échelle et l'interface Hyve-3D favorise la formulation des contraintes du projet (site, programme, normes) en concept, et des concepts en intentions de projet.

L'analyse factorielle des correspondances entre les types de session et les processus de conception indique une proximité entre sessions critiques sur maquette et processus *Evaluation*. Ceci est cohérent avec l'objectif pédagogique d'utilisation de la maquette grande échelle défini par les enseignants qui était de contextualiser le projet par rapport au site et de rendre compte de la volumétrie du projet. Dans certains cas, la maquette est un moyen de tester et de proposer des solutions mais ce n'était pas l'enjeu de ces sessions critiques sur maquette.

L'environnement du Hyve-3D semble favoriser les processus de transitions entre espace problème et espace solution, soit de propositions de solutions avec les processus *Synthesis*, ou de la reformulation d'intentions de projet avec le processus *Reformulation 2*. Nous pensons que la représentation immersive et à l'échelle 1, ainsi que l'interface de dessin proposée dans le Hyve-3D peuvent être une des raisons de cette tendance.

6.2.2.3 Différences relatives du rôle de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée

Pour rendre compte des similitudes et différences du rôle de chaque acteur dans la session critique, nous avons mesuré la distribution des processus de conception pour chacune des quatre interactions d'acteur : processus individuels de l'étudiant, processus individuels de l'enseignant, processus co-conçus initiés par l'étudiant et processus co-conçus initiés par l'enseignant. Les processus individuels de l'étudiant informent sur la manière dont l'étudiant présente le projet et explicite son processus de conception. Les processus individuels formulés par l'enseignant marquent des moments de démonstration ou d'explication d'éléments sur le projet et sa conception. Les processus collaboratifs montrent les interactions des acteurs entre eux. Les processus initiés par l'étudiant informent sur la manière dont l'enseignant réagit par rapport à une verbalisation de l'étudiant, et à l'inverse, les processus initiés par l'enseignant informent sur la manière dont l'étudiant réagit par rapport à une verbalisation de l'enseignant.

Nous voyons sur la Figure 113 que les processus formulés par l'étudiant de manière individuelle sont similaires pour les sessions traditionnelles, maquette et SDC, avec une forte dominance des processus *Analysis* et *Reformulation 1*. Pour ces trois types de sessions, la distribution des autres processus est très faible. La distribution des processus de conception individuels étudiant est différente pour les sessions Hyve-3D. Dans ce cas, les processus *Analysis* sont également dominants mais ce n'est pas le cas des processus *Reformulation 1*. En effet, il y a un équilibre dans la distribution des processus *Evaluation Be>Bs, Evaluation Bs>Be* et *Reformulation 1*, et une distribution plus grande des processus de type *Reformulation 2*.

Le rôle de l'enseignant est défini en partie à travers sa formulation de processus de conception individuels. Pour les cas SDC, Hyve-3D et traditionnels, la distribution des processus de conception formulés par l'enseignant est similaire pour l'ensemble des processus sauf pour le processus *Formulation* dont la distribution sera plus importante pour les sessions Hyve-3D et maquette (Figure 114). La distribution des processus FBS est différente pour le cas maquette où un équilibre apparaît dans la distribution de tous les processus, excepté le processus de *Reformulation 3*. Les processus d'*Evaluation* (Be>Bs et Bs>Be) prennent une part beaucoup plus grande que dans les autres cas, et la part des processus d'*Analysis* et *Reformulation 1*, qui sont dominants dans les autres sessions, est plus faible.

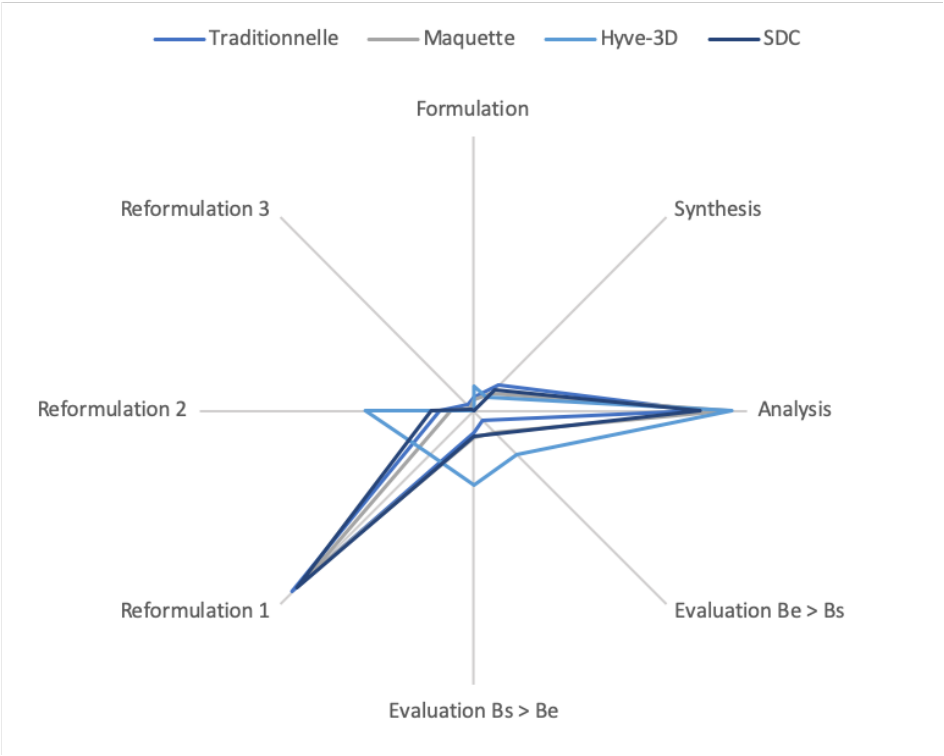


Figure 113 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus individuels de l'étudiant pour chaque type d'écosystème de représentations

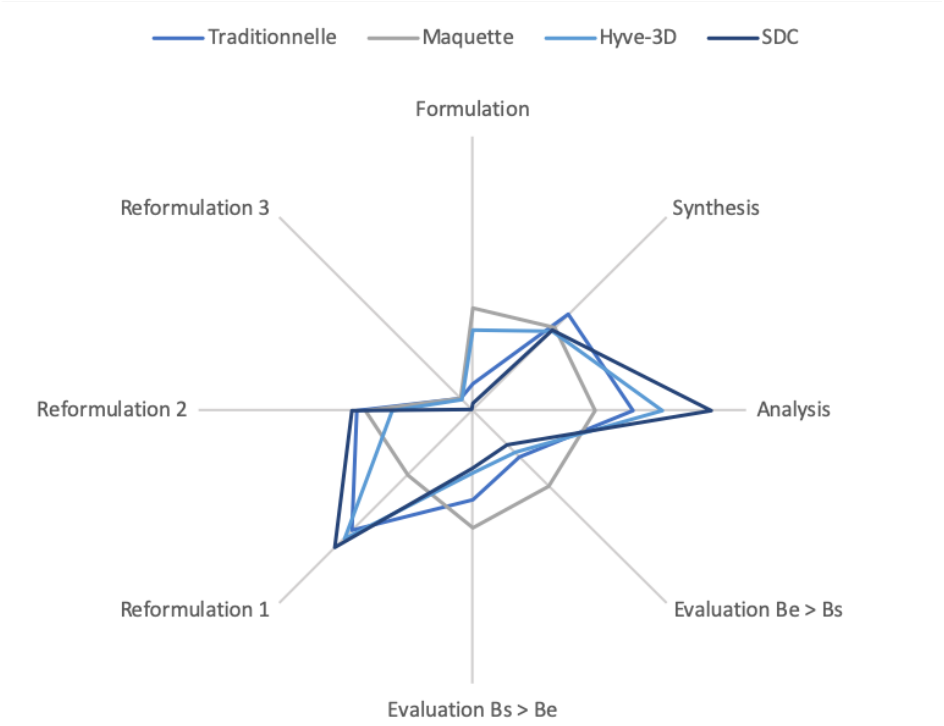


Figure 114 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus individuels de l'enseignant pour chaque type d'écosystème de représentations

En ce qui concerne les processus collaboratifs initiés par l'étudiant (Figure 115), nous observons plus de variations en fonction des cas. Pour les sessions traditionnelles et SDC, les processus *Reformulation 1* et *Analysis* dominent. Pour les sessions maquette, les processus *Reformulation 1* sont dominants mais ce n'est pas le cas des processus *Analysis*. À l'inverse pour les sessions Hyve-3D, les processus *Analysis* sont dominants mais ce n'est pas le cas des processus *Reformulation 1*. Pour les sessions maquette et Hyve-3D, le processus *Formulation* est le deuxième processus le plus présent.

Les processus collaboratifs initiés par l'enseignant sont également variés entre les différents types de sessions (Figure 116). Pour l'ensemble des sessions, le processus *Reformulation 1* domine. *Formulation* est le deuxième processus dominant pour les sessions traditionnelles, maquette et Hyve-3D. Pour les sessions SDC, le processus *Synthesis* est le deuxième processus dominant.

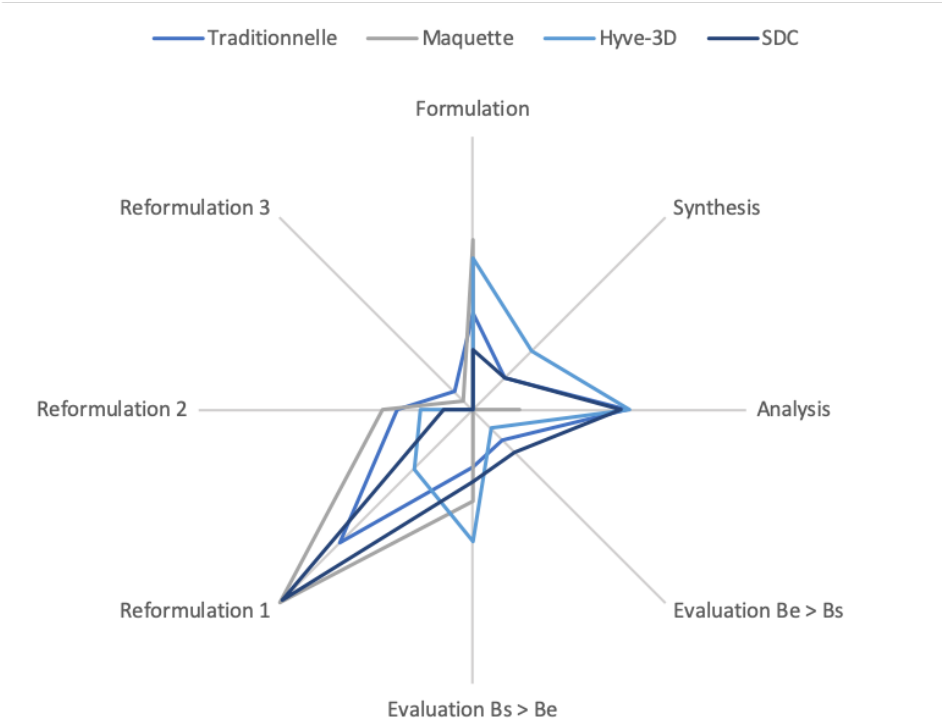


Figure 115 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus collaboratifs étudiant > enseignant pour chaque type d'écosystème de représentations

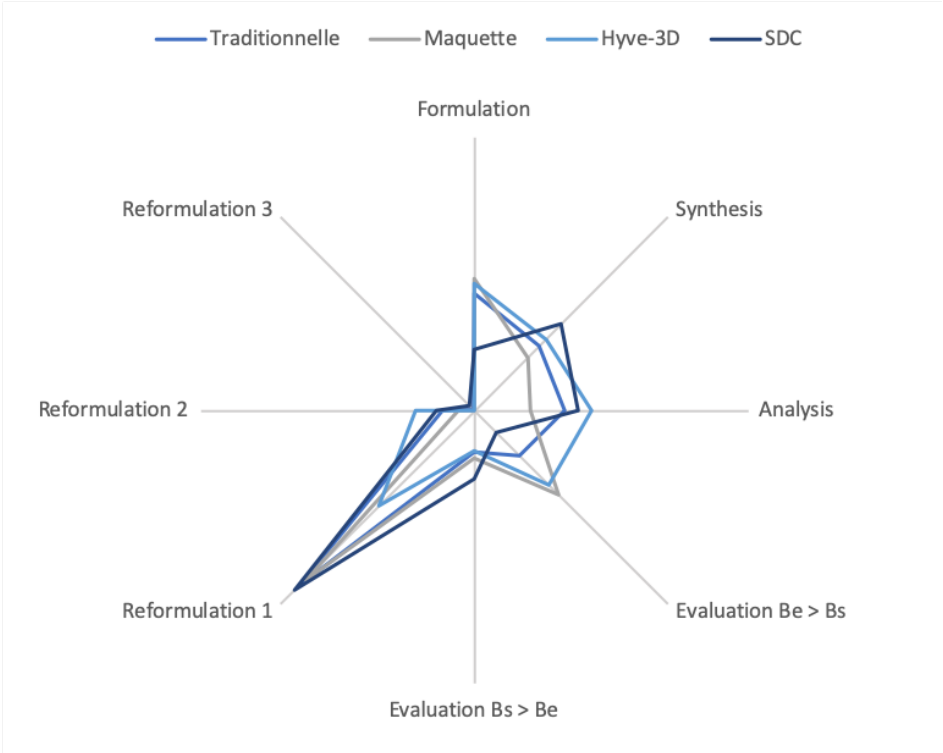


Figure 116 Représentation de la distribution des processus FBS pour les processus collaboratifs enseignant > étudiant pour chaque type d'écosystème de représentations

Nous avons analysé les différences relatives de l'activité de conception pour chaque type de session critique en fonction des interactions d'acteurs. En utilisant l'analyse factorielle des correspondances entre les interactions d'acteurs et les processus de conception dominants pour chaque type de session, nous pouvons apporter plus de précisions sur les tendances des rôles de chaque acteur pour ces sessions (Figure 117).

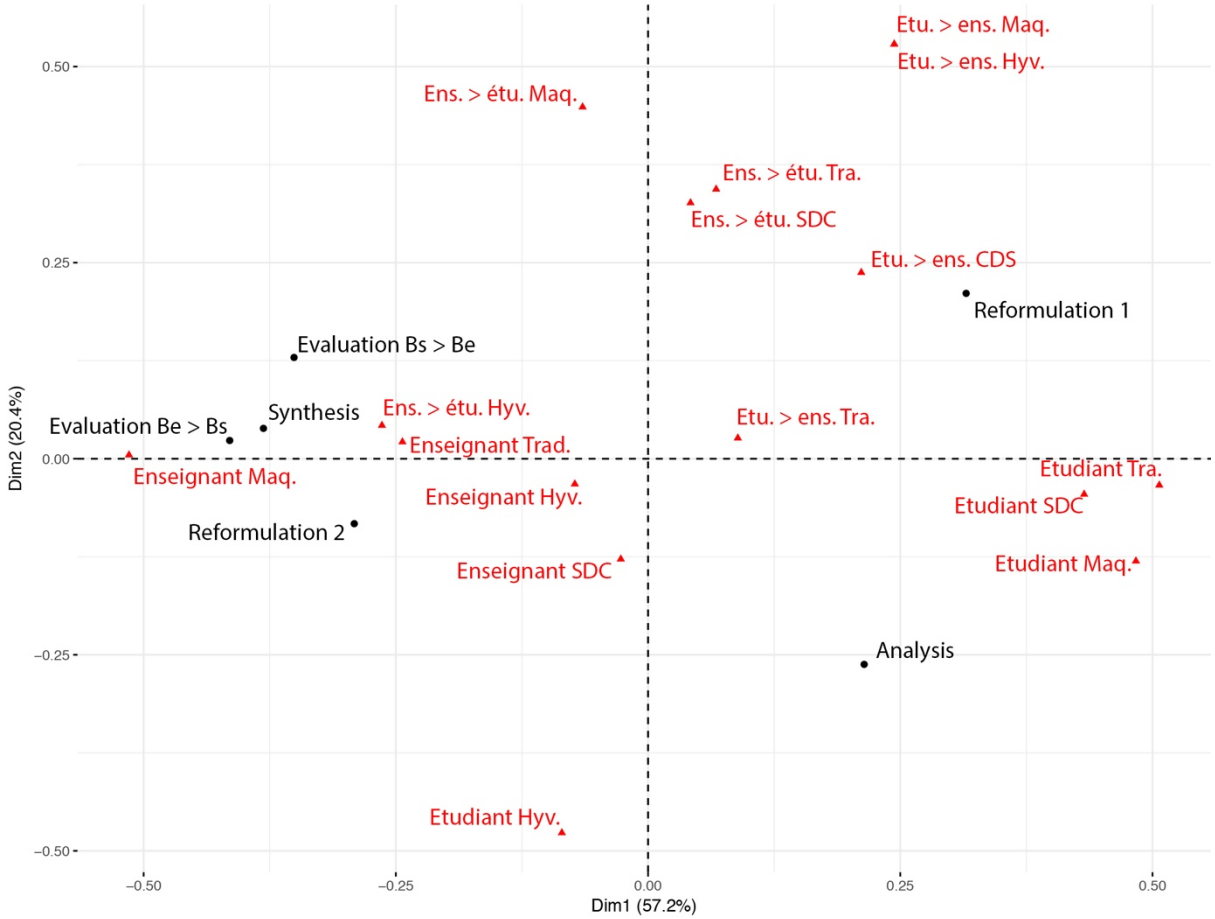


Figure 117 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'interactions par écosystème de représentations et les processus de conception FBS. 77,6% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les interactions de participants (rouge) et les processus de conception (noir).

Les interactions de type enseignant individuel se situent toutes d'un côté de la dimension 1 (en abscisse), sur la gauche du graphe. Trois interactions étudiants (traditionnel, maquette et SDC) sont situées à l'opposé des interactions enseignants, de l'autre côté de la dimension 1 et ont peu de différences relatives car elles apparaissent dans le même quadrant. Les interactions d'acteurs sur la gauche du graphe sont associées à des processus de navigation

dans l'espace de conception (problème / solution) alors que les interactions sur la droite du graphe sont associées à des processus situés uniquement dans l'espace de solution du projet.

Les interactions enseignant maquette et traditionnel se retrouvent dans le même quadrant que les processus *Evaluation* et *Synthesis* alors que les deux autres interactions enseignants (Hyve-3D et SDC) se trouvent dans le même quadrant que le processus *Reformulation 2*. L'interaction étudiant Hyve-3D est différente des autres interactions étudiants et est relativement plus similaire aux interactions enseignant Hyve-3D et SDC. Les autres interactions étudiants individuels sont dans le même quadrant que le processus *Analysis*.

Les interactions illustrant une collaboration sont quasiment toutes dans le même quadrant que le processus *Reformulation 1*. Seules les interactions enseignant > étudiant dans l'environnement Hyve-3D et maquette apparaissent dans un autre quadrant. L'interaction enseignant > étudiant dans les sessions Hyve-3D est proche de l'interaction enseignant traditionnel, située dans le même quadrant que les processus *Evaluation* et *Synthesis*.

En résumé, nous avons vu que dans le cas de la session critique dans l'écosystème de représentations traditionnel : l'enseignant évalue le projet (*Evaluation*), pointe des problèmes et questionne le projet (*Reformulation 2*) et peut parfois proposer une solution (*Synthesis*) ; l'étudiante présente et décrit le fonctionnement de son projet (*Analysis*).

Pour les autres cas, le rôle de l'enseignant reste le même, il a tendance à mettre en place les mêmes processus de conception que dans les sessions critiques sur table. Son rôle diffère un peu dans le cas de sessions critiques sur maquette où il mettra en place relativement plus de processus d'évaluation du projet de l'étudiant.

Dans les cas maquette et SDC, le rôle de l'étudiant est similaire au cas des sessions traditionnelles. L'étudiant présente son projet (*Reformulation 1*) et en explique le fonctionnement (*Analysis*). Dans le cas des sessions critiques dans le Hyve-3D, le rôle de l'étudiant est proche de celui de l'enseignant par rapport aux processus de conception qu'elle ou il met en place. Ils ont tendance à plus évaluer et proposer des solutions à leur projet dans cet écosystème de représentations que dans les autres.

6.2.2.4 Représentation qualitative des processus cognitifs de conception de chaque acteur

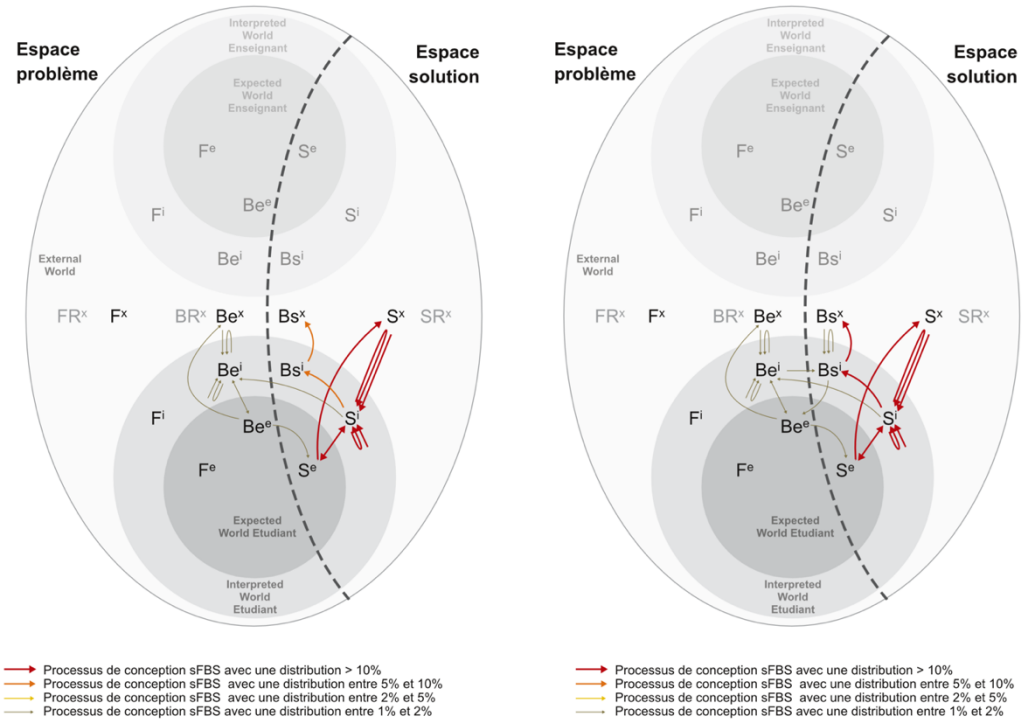
Nous avons vu de manière générale quels processus de conception sont dominants et spécifiques à chaque type de sessions et à chaque type d'interactions d'acteur. Pour avoir une

information qualitative sur la dominance de ces processus individuels et co-conçus, nous utilisons le modèle de co-conception sFBS pour représenter graphiquement ces processus cognitifs.

En ce qui concerne les processus de conception individuels formulés par l'étudiant, nous observons quelques différences dans l'intensité de ces processus plutôt que dans leur type. Pour les sessions maquette et SDC, l'effort cognitif est principalement dans la reformulation d'éléments de type *Structure* et dans l'analyse de *Structure*, qui sont deux processus situés dans l'espace solution (flèches rouges Figure 118(b) et Figure 119(b)). Dans ces deux cas, les étudiants mettent en place des processus de transitions entre espace problème et espace solution tels que *Evaluation*, une comparaison entre les intentions de projet sous la forme d'un *expected Behavior* et les effets réels du projet sous la forme de *Behavior from structure* et *Synthesis*, une proposition d'éléments *Structure* du projet pour répondre à des intentions formulées dans un *expected Behavior*. Cependant, ces processus ne sont pas dominants. Dans le cas des sessions traditionnelles, les processus dominants et non dominants sont similaires à ceux des étudiants des sessions maquette et SDC (Figure 118(a)). L'effort cognitif de conception de l'étudiant est plus équilibré entre espace problème et espace solution pour les sessions Hyve-3D (Figure 119(b)). Dans ces sessions, *Analysis* est le processus dominant pour les étudiants, suivi du processus *Reformulation 2* qui est un ajustement des variables d'intentions de projet basé sur l'état actuel du projet. Ce type de processus est également présent dans tous les autres cas mais avec une importance moindre.

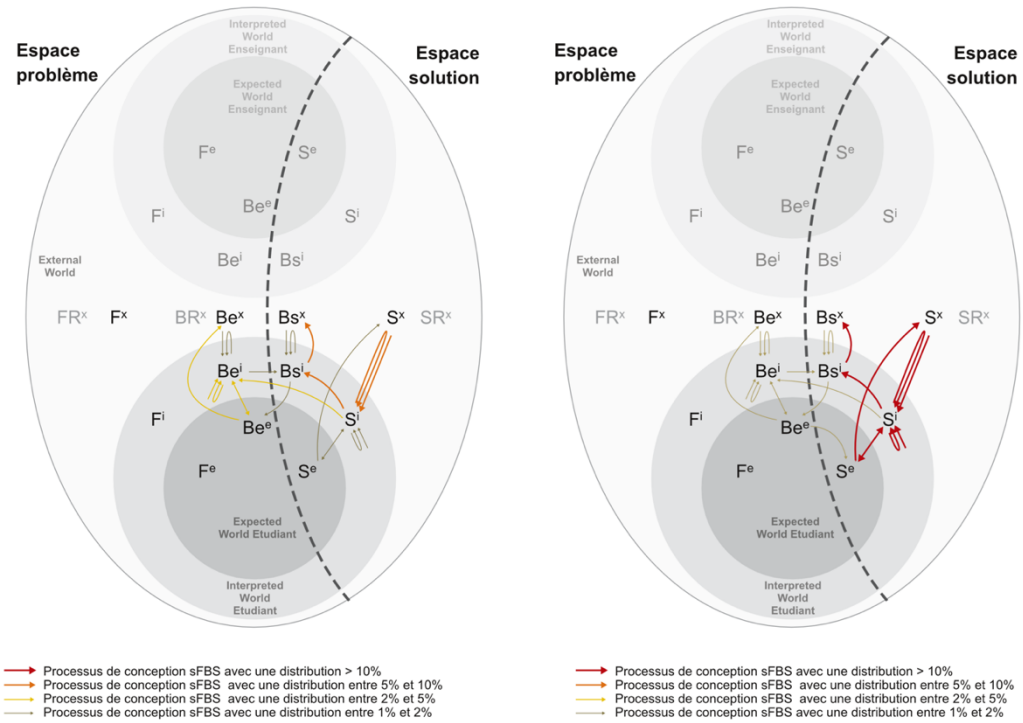
Les efforts cognitifs individuels des enseignants sont en général plus intenses, diversifiés et plus équilibrés entre l'espace problème et l'espace solution que pour les étudiants. Chaque enseignant met en place l'ensemble des processus de conception FBS permettant de naviguer dans l'espace de conception. Pour les sessions traditionnelles, Hyve-3D et SDC, les processus situés uniquement dans l'espace solution (*Reformulation 1* et *Analysis*) sont dominants (flèches rouges Figure 120(a), Figure 121(a) et (b)). Pour ces sessions, les processus *Synthesis* (transition de l'espace problème vers l'espace solution) et *Reformulation 2* (transition de l'espace solution vers l'espace problème) sont également importants (flèches oranges Figure 120(a), Figure 121(a) et (b)). Pour les sessions traditionnelles, maquette et Hyve-3D, on observe aussi des processus de réajustement des variables de type *Function* (processus *Reformulation 3*) qui ne sont pas présents dans la session SDC (flèches grises Figure 120(a) et (b), Figure 121 (a)). Pour les sessions maquette, l'enseignant met

en place les mêmes types de processus mais avec des intensités différentes. Dans ces sessions, il y a un équilibre dans la distribution des processus *Synthesis*, *Analysis, Evaluation* et *Reformulation 1*.



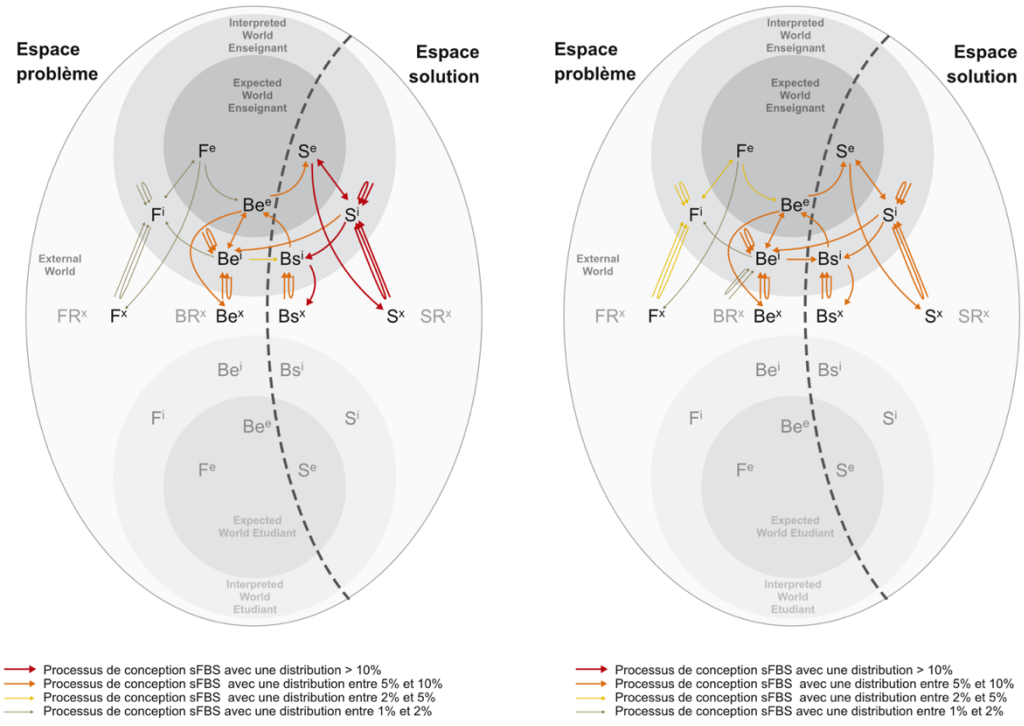
(a) (b)

Figure 118 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'étudiant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b)



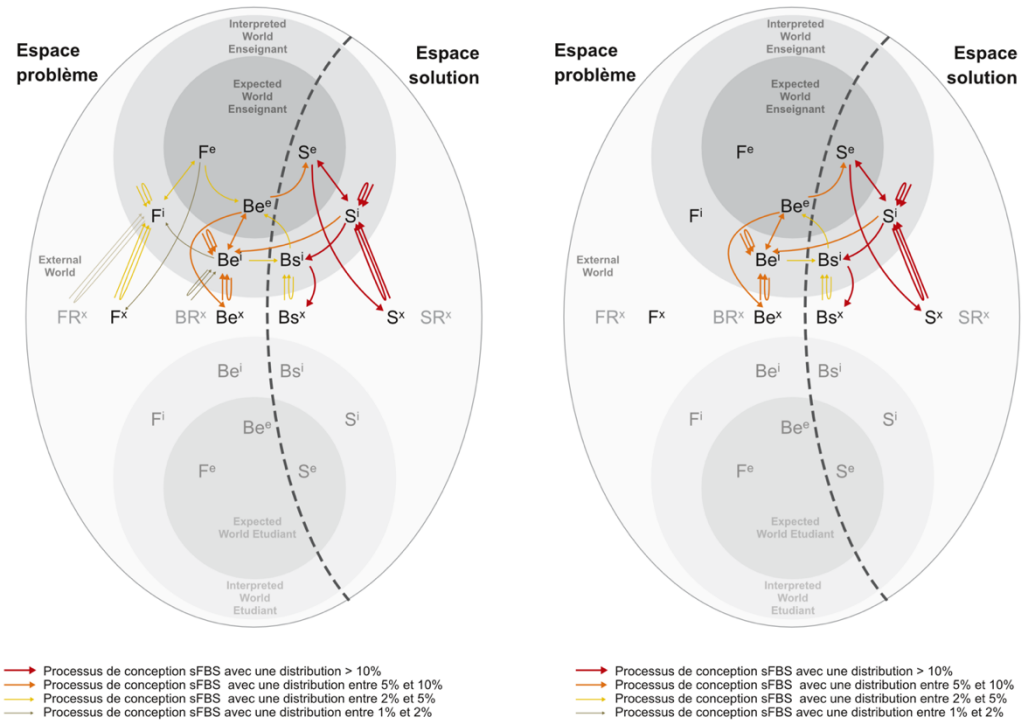
(a) (b)

Figure 119 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'étudiant pour les sessions Hyve-3D (a) et SDC (b)



(a) (b)

Figure 120 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'enseignant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b)

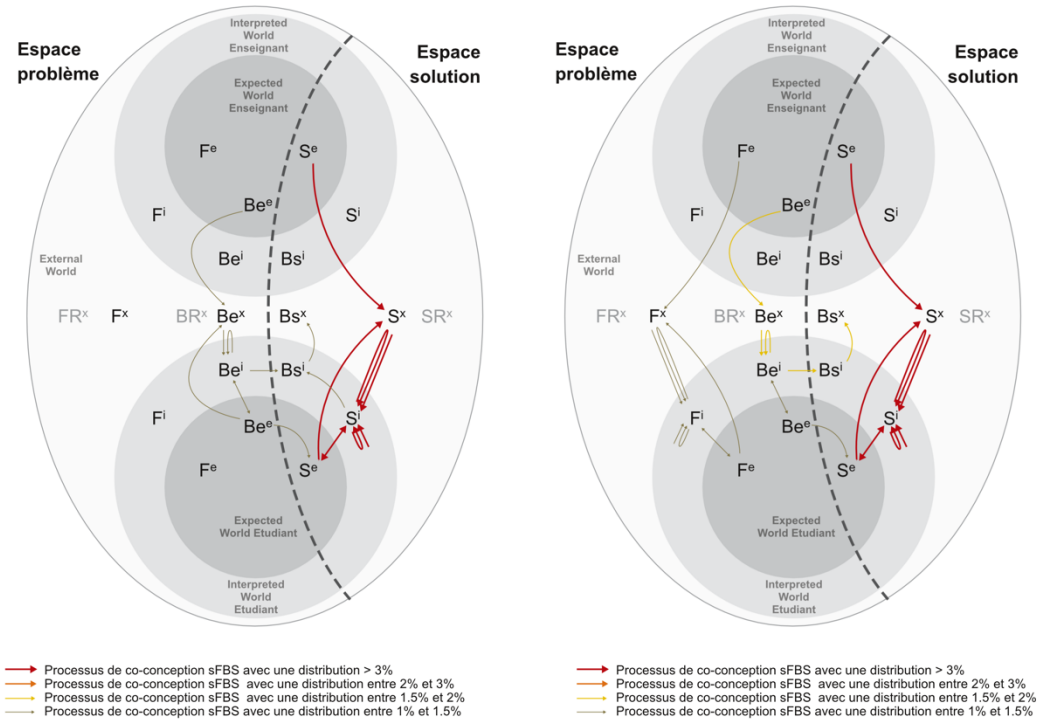


(a) (b)

Figure 121 Représentation des processus situés FBS de conception individuelle de l'enseignant pour les sessions Hyve-3D (a) et SCD (b)

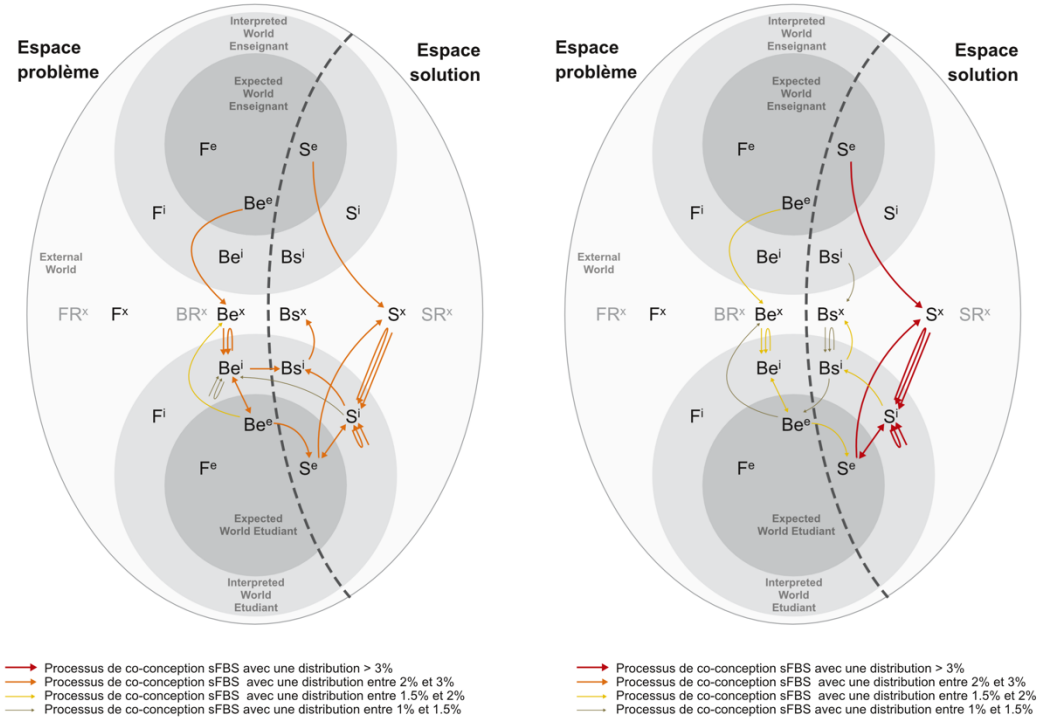
La représentation des processus situés FBS co-conçus enseignant > étudiant nous donne une idée de la manière dont réagit l'étudiant, en terme de processus de conception, par rapport à ce qui est formulé par l'enseignant. Pour les sessions traditionnelles, maquette et SDC, les processus co-conçus dominants sont de type *Reformulation 1*, où l'enseignant formule un premier élément *Structure* auquel l'étudiant réagit par la formulation d'une autre *Structure* (flèches rouges Figure 122(a) et (b), et Figure 123(b)). Pour les sessions Hyve-3D, ce processus est aussi présent mais l'effort cognitif de l'étudiant est partagé entre ce processus et les processus *Analysis*, *Evaluation (Be > Bs)* et *Synthesis* (flèches oranges Figure 123(a)). Les sessions SDC et Hyve-3D sont les seules où l'étudiant a l'expérience de processus co-conçus allant de l'espace solution à l'espace problème avec le processus *Evaluation (Bs > Be)* pour les premières (flèches grises Figure 123(b)) et le processus de *Reformulation 2* pour les secondes (flèches grises Figure 123(a)). Pour toutes les autres sessions, la réaction de l'étudiant par rapport à ce qui est formulé par l'enseignant se situe dans le même espace de conception, l'espace solution avec les processus de co-conception *Reformulation 1* ou dans l'espace problème avec les processus *Formulation (F>F ou Be>Be)*, ou illustre une navigation de l'espace problème vers l'espace solution (*Synthesis* et *Evaluation Be>Bs*).

Les processus co-conçus étudiant > enseignant diffèrent en fonction des sessions, par leur type et leur intensité. Pour les sessions traditionnelles, maquette et SDC, on observe que les processus co-conçus enseignant > étudiant se situent principalement dans l'espace solution avec la dominance des processus *Reformulation 1* pour les sessions maquette (flèches rouges (b)), *Reformulation 1* et *Analysis* pour les sessions traditionnelles et SDC (flèches rouges et oranges Figure 124(a) et Figure 125(b)). Pour les sessions traditionnelles, les deux processus non dominants sont *Reformulation 2* et *Formulation (Be>Be)*. Pour les sessions maquette des processus *Formulation (Be>Be), Evaluation (Bs > Be)* et *Reformulation 2* apparaissent mais ne sont pas dominants (flèches grises Figure 124(b)). Pour les sessions SDC, seuls les processus *Evaluation (Bs > Be)* sont présents en processus secondaires (flèches grises Figure 125(b)). L'activité de co-conception dans les sessions Hyve-3D est plus équilibrée entre espace problème et espace solution. Pour les sessions Hyve-3D, les processus *Formulation (Be > Be)* et *Analysis* (flèches oranges Figure 125(a)) sont plus importants que les processus *Evaluation (Bs > Be)*, *Synthesis*, et *Reformulation 1* (flèches jaunes et grises Figure 125(a)).



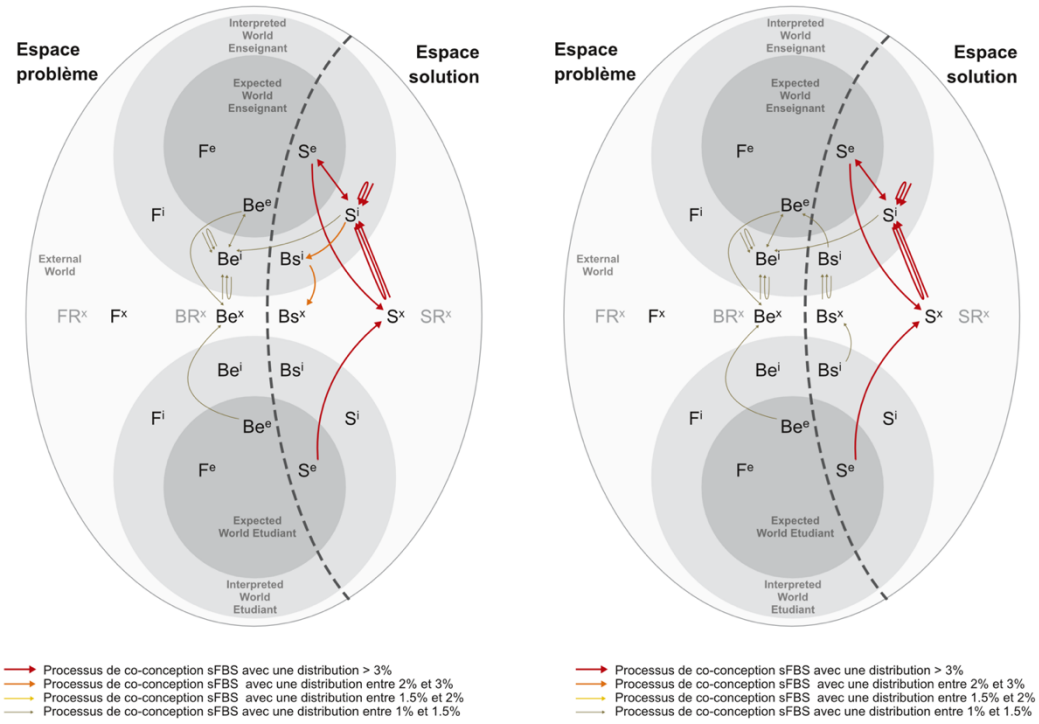
(a) (b)

Figure 122 Représentation des processus situés FBS de co-conception enseignant > étudiant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b)



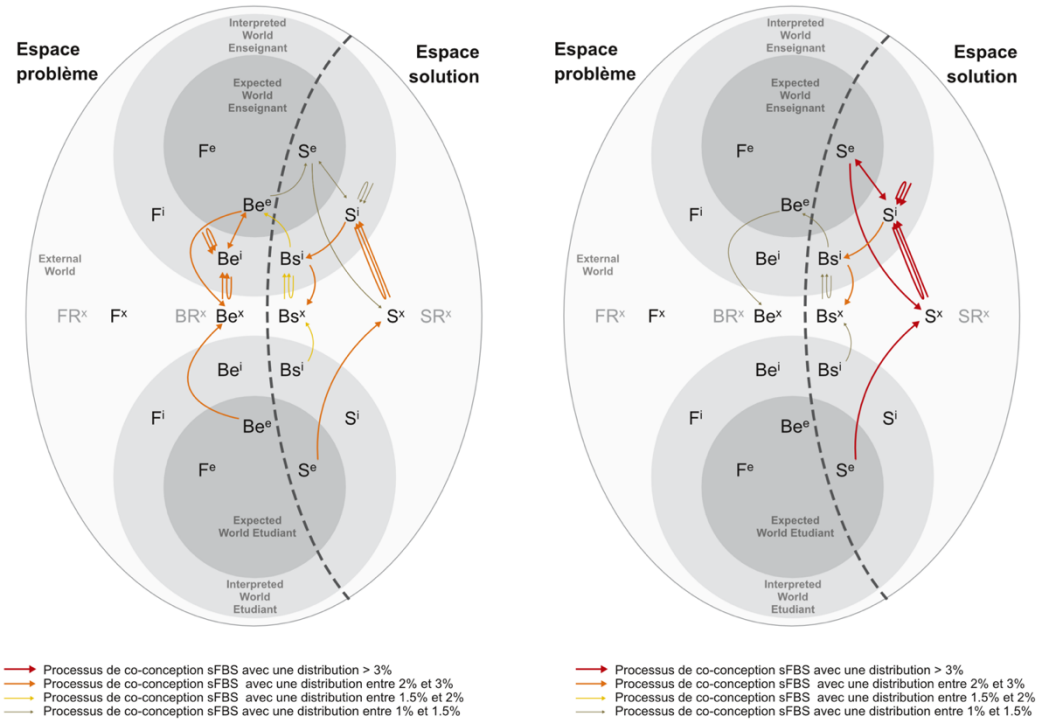
(a) (b)

Figure 123 Représentation des processus situés FBS de co-conception enseignant > étudiant pour les sessions Hyve-3D (a) et SDC (b)



(a) (b)

Figure 124 Représentation des processus situés FBS de co-conception étudiant > enseignant pour les sessions traditionnelles (a) et maquette (b)



(a) (b)

Figure 125 Représentation des processus situés FBS de co-conception étudiant > enseignant pour les sessions Hyve-3D (a) et SDC (b)

En résumé, nous avons vu que l'expression des processus cognitifs de conception individuels et co-conçus en fonction des acteurs par le modèle de co-conception situé FBS nous donne une représentation graphique qualitative du rôle de chaque acteur pendant chaque session.

Les étudiants des sessions traditionnelles placent leurs efforts cognitifs dans les processus *Reformulation 1* et *Analysis* individuels et co-conçus.

Les étudiants des sessions maquette participent principalement à l'activité de conception par la formulation de processus *Reformulation 1* individuels et co-conçus. De même que pour les sessions traditionnelles, les processus *Analysis* sont dominants de manière individuelle et des processus *Evaluation (Be>Bs)* apparaissent lors de moments de co-conception.

Les étudiants des sessions SDC ont aussi tendance à placer leurs efforts cognitifs dans la formulation de processus de conception situés dans l'espace solution (*Reformulation 1* et *Analysis*), bien que des processus de navigation dans l'espace de conception apparaissent lors de processus co-conçus (*Synthesis* et *Evaluation Bs > Be*).

Les étudiants des sessions Hyve-3D placent leurs efforts cognitifs de manière plus équilibrée entre l'espace problème et l'espace solution. Dans ces sessions, les processus *Analysis* et *Reformulation 1* sont présents mais ne sont pas dominants. Les processus de type *Reformulation 2* (processus construits individuellement), *Synthesis* et *Evaluation Be>Bs* (processus co-construits) sont également présents et expriment une navigation entre l'espace solution et l'espace problème, et inversement.

Les enseignants exploitent une palette plus variée de processus de conception que les étudiants et mettent en place les mêmes processus de conception dans chacun des écosystèmes de représentations, mais avec des intensités différentes. À travers les processus qu'ils mettent en place de manière individuelle, l'activité de conception co-évolue entre espace problème et espace solution par la verbalisation de processus de synthèse, d'évaluation et de reformulation des intentions et concepts du projet.

6.2.3 Amplifier les actions sur l'écosystème de représentations

L'objectif de cette section est d'analyser l'effet d'un changement d'écosystème de représentations sur les actions de manipulation des représentations pendant la session critique.

Les actions auxquelles nous nous sommes attachées sont : produire un geste pour représenter un élément spatial du projet, pointer une représentation, naviguer dans l'espace (cette action apparaît seulement dans l'écosystème Hyve-3D), modéliser (cette action apparaît seulement dans l'écosystème traditionnel et l'écosystème maquette) et dessiner.

Nous avons déjà pointé la différence des sessions SDC qui sont multi-sites. De ce fait, la collaboration et la communication entre les participants à la session est différente et cela a un impact sur le type d'actions produites sur les représentations. Nous avons défini l'action de pointer comme geste déictique pour désigner un élément du projet. Dans l'environnement du SDC, l'action de pointer pour référencer un objet fonctionne avec les participants qui sont situés sur le même site mais les participants situés sur l'autre site ne peuvent pas voir l'objet désigné. Nous avons remarqué que, de ce fait, l'action d'entourer un élément du projet sur la table interactive se substitue parfois au geste de pointer. Nous avons donc inclus cette forme de dessin dans la catégorie pointer et non dessiner car l'intention derrière le geste est de désigner un élément de sorte que l'ensemble des participants aient le même objet référent.

Nous avons également analysé la navigation entre les représentations du projet par l'étude des changements de points de vue, d'une vue d'en haut – allocentrée – à une vue à échelle humaine – égocentrée – et inversement, et des changements de dimensions, d'une vue en 2D à une vue en 3D et vice-versa.

6.2.3.1 Actions sur les représentations

La distribution normalisée des types d'actions des acteurs en fonction des écosystèmes de représentations montre des différences à la fois entre les acteurs et les types d'actions (Tableau 20). Nous avons vu que pour les sessions critiques situées dans l'écosystème de représentations traditionnel, l'action de pointer une représentation était largement dominante sur les autres actions.

Tableau 20 Distribution normalisée (%) des actions des acteurs des sessions critiques sur l'écosystème de représentations

	Traditionnel		Maquette		Hyve-3D		SDC	
	Moyenne	*Écart type*	**Moyenne**	*Écart type*	**Moyenne**	*Écart type*	**Moyenne**	*Écart type*
Geste enseignant	**3,7**	*3,4*	**15,6**	*8,3*	**16,3**	*2,5*	**4,6**	*2,5*
Geste étudiant	**2,2**	*1,3*	**5,3**	*1,8*	**3,5**	*2,5*	**1,3**	*2,5*
Pointer enseignant	**27,3**	*11,0*	**25,0**	*0,9*	**13,3**	*9,6*	**13,7**	*9,6*
Pointer étudiant	**20,7**	*5,2*	**23,0**	*5,5*	**2,6**	*2,6*	**13,4**	*2,6*
Naviguer enseignant	*	*	*	*	**3,6**	*3,7*	*	*
Naviguer étudiant	*	*	*	*	**9,2**	*6,1*	*	*
Modéliser enseignant	**1,6**	*2,6*	**0,1**	*0,2*	*	*	*	*
Modéliser étudiant	**0,6**	*1,3*	**0,0**	*0,0*	*	*	*	*
Dessiner enseignant	**3,7**	*4,6*	**0,4**	*0,7*	**1,7**	*3,0*	**6,9**	*3,0*
Dessiner étudiant	**0,3**	*0,6*	**0,0**	*0,0*	**4,6**	*8,0*	**1,1**	*8,0*
Sans actions	**39,9**	*9,5*	**30,6**	*2,0*	**45,2**	*25,8*	**59,0**	*25,8*

* action non supportée dans l'écosystème de représentations

Pour l'ensemble des sessions critiques sauf dans le cas des sessions Hyve-3D, les enseignants sont toujours plus actifs en ce qui concerne les actions sur les représentations. En effet, dans le Hyve-3D, les étudiants mobilisent les actions dessiner et naviguer plus fréquemment que l'enseignant. Les enseignants dominent les sessions critiques, tous types de sessions confondus, ce qui peut expliquer qu'ils soient les plus actifs dans l'interaction avec les représentations. En ce qui concerne les gestes pour représenter un élément produit par l'enseignant, leur distribution augmente largement dans l'écosystème maquette (M=15,6%, σ=8,3) et Hyve-3D (M=16,3%, σ=2,5) par rapport à leur distribution dans l'écosystème traditionnel (M=3,7%, σ=3,4) et SDC (M =4,6%, σ=2,5). Pointer une représentation est, pour les enseignants et étudiants, plus récurrent dans l'écosystème de représentations traditionnel et maquette que dans l'écosystème Hyve-3D et SDC. Pour les étudiants des sessions traditionnelles, SDC et maquette, le type d'action dominant est pointer une représentation. Pour les étudiants des sessions Hyve-3D, l'utilisation de la navigation dans la

maquette 3D est dominante, et l'interaction par le dessin est présente de manière plus importante (M=4,6%, σ=8,0) par rapport aux autres écosystèmes de représentations.

Dans les sessions traditionnelles, où les étudiants avaient amené leur maquette d'étude, la maquette a été plus manipulée que dans les sessions maquette où la fonction de cette dernière visait à l'évaluation et la prise en compte du contexte plutôt que le développement du concept du projet.

En résumé, nous avons vu qu'entre 40 et 70% des segments de verbalisations des sessions critiques, tous types d'écosystèmes confondus, sont accompagnées par une action sur une représentation ou par la production d'une représentation.

L'action de représenter par un geste est beaucoup plus présente dans l'écosystème Hyve-3D et maquette. Ce type de geste permet soit de représenter un élément en 3D non présent dans le projet ou un élément dynamique. Ces deux écosystèmes de représentations semblent donc favoriser la proposition d'éléments du projet. Au contraire, nous pourrions interpréter la présence accrue de représentations par un geste comme une limite de ces écosystèmes de représentations pour représenter un élément du projet par un autre moyen comme le dessin.

L'action de pointer est moins présente dans l'écosystème de représentations Hyve-3D et l'écosystème de représentation SDC. Pour le premier, nous pensons que cela est dû à l'immersion dans le modèle 3D et la possibilité de naviguer dans l'espace du projet qui implique que l'élément de référence n'a pas besoin d'être pointé. Pour le cas du SDC, la configuration multi-sites semble être une raison expliquant que cette action est moins présente que dans les autres cas, bien que cela soit l'action dominante pour ces sessions critiques.

Le dernier point que nous notons est l'exploitation plus importante du dessin par l'étudiant dans l'écosystème Hyve-3D, ce qui n'est pas ou peu le cas dans les autres écosystèmes de représentations.

6.2.3.2 Prévalence des points de vue

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que le point de vue allocentré est le plus exploité dans le cas de sessions critiques traditionnelles. L'utilisation de représentations en 2D et en 3D s'équilibre en moyenne pour ces sessions mais nous avons pointé une grande variation entre chacune des neuf sessions critiques.

Le point de vue le plus utilisé pour l'ensemble des sessions est la vue allocentrée ou vue d'oiseau (Tableau 21). La vue égocentrée ou vue immergée n'est quasiment pas utilisée pour les sessions traditionnelles où son utilisation ne représente que 1,5% de l'ensemble du temps où les représentations sont sollicitées. Le temps passé à utiliser une représentation avec un point de vue immergé augmente pour les sessions SDC (8,6%), maquette (8,8 %), et Hyve-3D (34,6%). L'utilisation de la maquette grande échelle est souvent mise en avant pour favoriser la perception du point de vue d'un piéton ou d'un usager dans le bâtiment. Nous nous attendions à ce que le point de vue égocentré soit plus sollicité dans cet écosystème de représentations. Nous voyons que la distribution du point de vue égocentré pour les sessions maquette est plus importante que pour les sessions traditionnelles mais nous notons aussi qu'elle est similaire aux sessions SDC où les étudiants avaient produit des images perspective à vue d'homme.

Les écosystèmes traditionnels, SDC et Hyve-3D possèdent une représentation 2D et une représentation 3D, alors que l'écosystème maquette est principalement focalisé sur une unique représentation en 3D. Cela explique que la majeure partie du temps dans les sessions maquette, les actions se font sur une représentation en 3D (Tableau 22). L'utilisation de la 3D (écran immersif) est dominante dans les sessions Hyve-3D, où la manipulation d'une représentation dans l'espace 2D (curseur 3D) ne représente que 18,6% des verbalisations. Dans l'écosystème SDC, la représentation la plus sollicitée est la représentation en 2D (plans et coupes), qui a été préférée à la représentation en 3D (images de rendu) pour 90,7% des verbalisations.

Tableau 21 Distribution normalisée des points de vue des représentations du projet utilisées

	Traditionnelle		Maquette		Hyve-3D		SDC	
	Moy.	*É. type*	**Moy.**	*É. type*	**Moy.**	*É. type*	**Moy.**	*É. type*
Vue égocentrée	**1,5**	*3,4*	**8,8**	*8,0*	**34,6**	*29,6*	**8,6**	*3,6*
Vue allocentrée	**98,5**	*3,4*	**91,2**	*8,0*	**65,4**	*29,6*	**92,4**	*4,7*

Tableau 22 Distribution normalisée des dimensions des représentations du projet utilisées

	Traditionnelle		Maquette		Hyve-3D		SDC	
	Moy.	*É. type*	**Moy.**	*É. type*	**Moy.**	*É. type*	**Moy.**	*É. type*
Vue 2D	**50,4**	*39,8*	**2,5**	*2,1*	**18,6**	*16,7*	**90,7**	*3,2*
Vue 3D	**49,6**	*39,8*	**97,5**	*2,1*	**81,4**	*16,7*	**9,3**	*3,2*

En résumé, nous avons vu qu'un intérêt du Hyve-3D apparaît dans la sollicitation des types de points de vue des représentations durant la session. La représentation à vue d'homme est largement plus utilisée dans ce cas que pour les autres. L'enjeu de ce type de représentation est de communiquer l'expérience sensorielle liée à la spatialité du projet qui est d'autant plus accentuée ici par l'immersion dans l'espace du projet et sa représentation à l'échelle 1.

Les changements de dimensions sont importants dans l'activité de conception. En effet, la fragmentation des représentations du projet permet au concepteur de se focaliser sur un élément apparaissant sur un type de représentation, tout en conservant son appréhension synthétique. Cette dissociation entre dimensions de représentation du projet apporte une certaine efficacité au processus de conception. Un équilibre apparaît dans l'utilisation de représentations en 2D et en 3D pour les sessions critiques traditionnelles. Lors de ces sessions, les participants oscillent entre actions sur la maquette physique et actions sur les plans et les coupes imprimées sur papier ce qui explique cette répartition entre les deux.

6.2.3.3 Navigation dans l'écosystème de représentations

La navigation entre différents types de représentations pourra enrichir le processus de conception. Les concepteurs travaillent simultanément de manière synthétique et analytique et le changement de dimension ou de point de vue de la représentation est un support à ces deux types de réflexion.

Nous avons analysé la navigation dans l'écosystème de représentations par rapport à un changement de dimension ou de point de vue de la représentation. Nous comptons un changement de dimension ou de point de vue lorsque deux verbalisations qui s'enchaînent sont associées à une interaction avec une représentation de deux dimensions ou points de vue différents. Dans l'ensemble, les changements de points de vue sont peu fréquents pour ces sessions. Sur une fenêtre de 450 segments soit environ 30 minutes, il est nul ou quasi nul pour les sessions traditionnelles et SDC. En moyenne, nous avons observé 2 changements de points de vue pour l'écosystème de représentations maquette et 4 pour l'écosystème de représentations Hyve-3D sur la même fenêtre temporelle. Les changements de dimensions sont plus fréquents dans le Hyve-3D (12 fois sur une fenêtre de 450 segments) et dans l'écosystème de représentations traditionnel (10 fois sur une fenêtre de 450 segments).

Les changements de points de vue ou de dimension sont peu fréquents sur l'ensemble des sessions. Nous notons cependant que l'écosystème du Hyve-3D favorise les changements de points de vue. Les écosystèmes de représentations traditionnels et Hyve-3D supportent tous deux les changements de dimensions des représentations (2D / 3D).

Tableau 23 Occurrences des changement de points de vue et de dimension normalisées par sessions pour un ensemble de 450 segments (environ 30 min)

	Changement PoV	Changement dimension
Traditionnelle	0	10
Maquette	2	1
Hyve-3D	4	12
SDC	1	1

6.2.3.4 Relation entre écosystème de représentations et processus de conception

Pour étudier la relation entre les processus de conception FBS et les actions sur les représentations, nous avons représenté les occurrences synchrones de processus et d'actions pour chacun des cas (Figure 126 à Figure 129). Nous n'avons représenté que trois actions : pointer, représenter par un geste et dessiner, car ce sont les actions qui sont apparues dans l'ensemble de nos cas. Nous avons également représenté la distribution normalisée de l'ensemble des processus de conception (en orange) pour avoir une représentation de la part des processus associés à une action synchrone.

Nous remarquons que pour l'action de pointer (en gris), pour les cas traditionnels (Figure 126), maquette (Figure 127) et SDC (Figure 129), la distribution des occurrences de cette action avec les processus de conception suit la distribution générale des processus de conception. Ceci indique que de manière générale le geste est exploité pour l'ensemble des processus de conception. En moyenne, 90% des processus de conception FBS sont accompagnés par un geste de pointage pour l'écosystème de représentations traditionnel, 76% pour l'écosystème maquette et 60% pour l'écosystème de représentations SDC. En revanche, pour l'écosystème Hyve-3D (Figure 128) nous ne retrouvons pas cette tendance. En effet, pour cet écosystème de représentations, la production de geste pour représenter

un élément du projet (en bleu clair) est largement plus présente et la distribution de leurs cooccurrences avec les processus de conception suit la tendance de distribution de l'ensemble des processus. Pour cet écosystème de représentations, 40% des processus de conception sont accompagnées de l'action de pointer, et 52% sont accompagnés de l'action représenter par un geste. Pour l'écosystème maquette, la production de geste pour représenter un élément (en bleu clair Figure 127) est répartie entre l'ensemble des processus de conception, et est plus importante que pour les écosystèmes de représentations traditionnels et SDC.

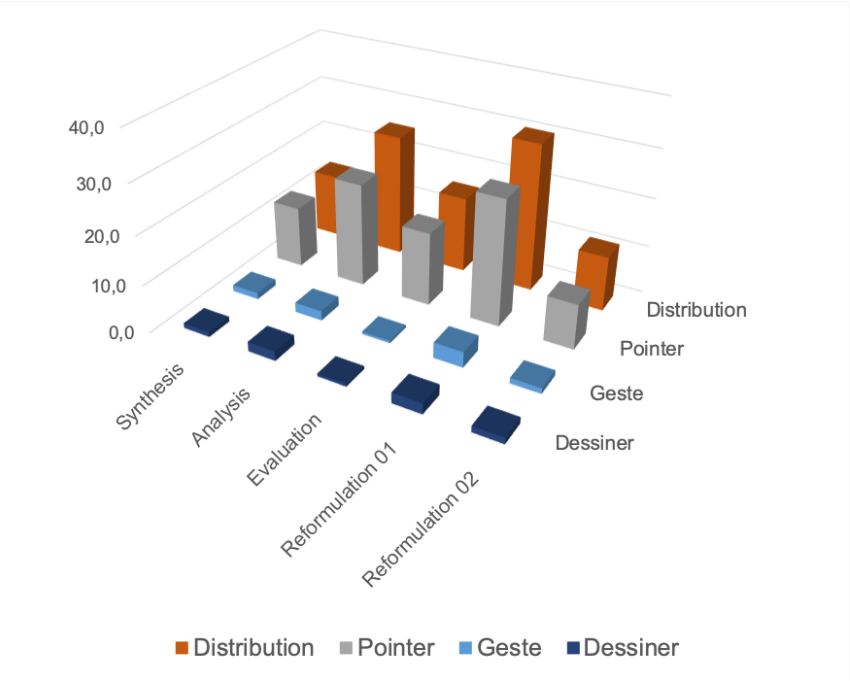


Figure 126 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas traditionnel).

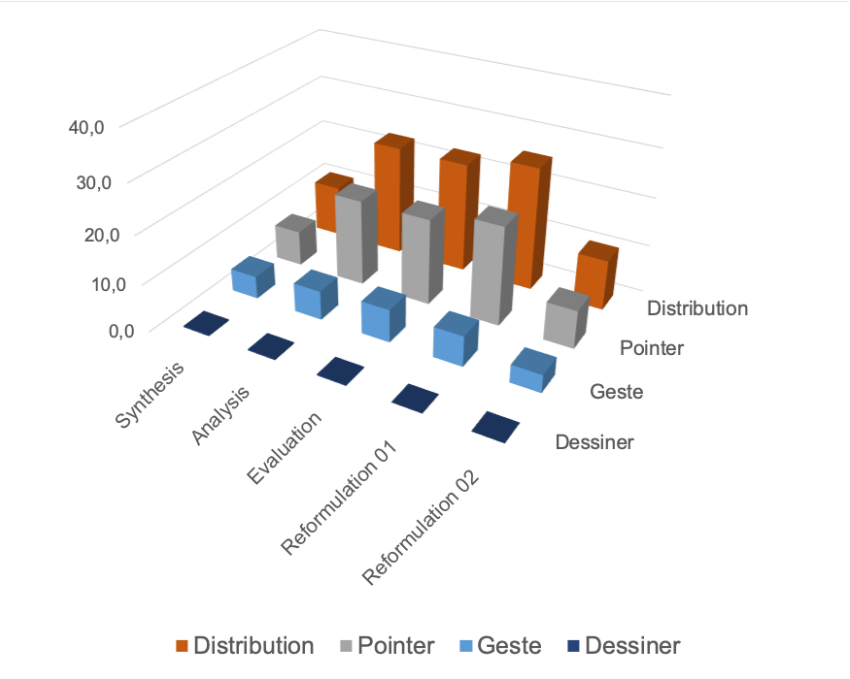


Figure 127 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas maquette).

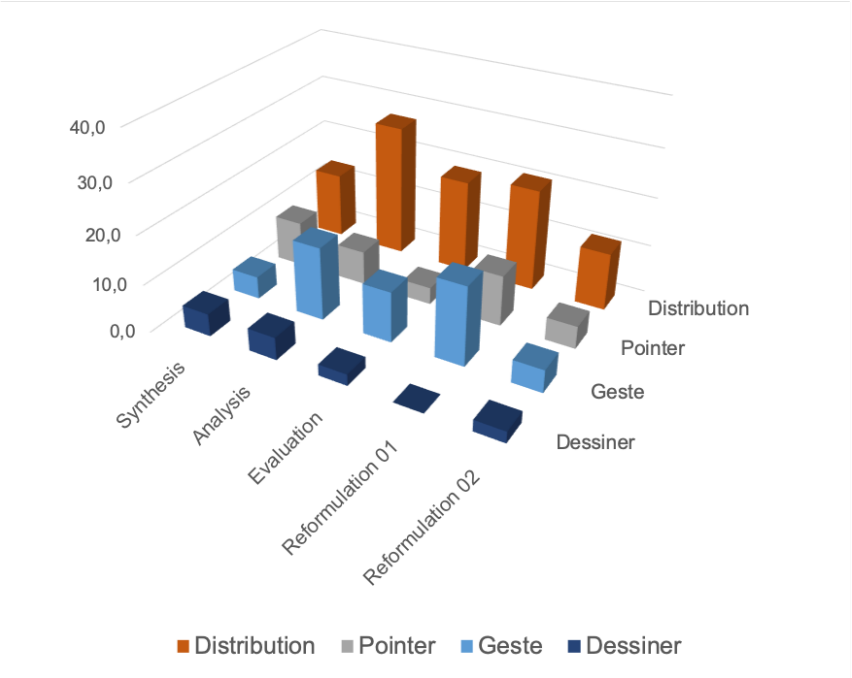


Figure 128 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas Hyve-3D).

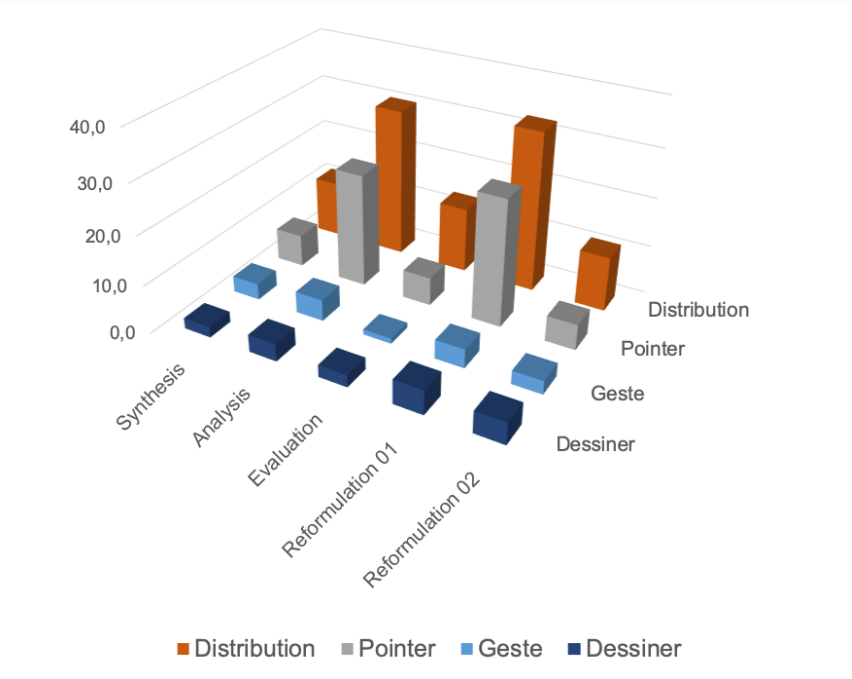


Figure 129 Diagramme des occurrences synchrones des actions pointer, représenter par un geste et dessiner et des processus FBS de conception (cas SDC).

Pour avoir une représentation qualitative des associations entre processus de conception et actions sur l'écosystème de représentations, nous utilisons l'analyse factorielle des correspondances. Comme nous l'avons pointé au chapitre précédent, pour le cas des sessions traditionnelles (Figure 130), l'action de dessiner est associée aux processus *Analysis* et *Reformulation 2*, l'action de représenter un élément par un geste est associée aux processus *Synthesis* et *Reformulation 1* alors que l'action pointer une représentation est associée aux processus d'*Evaluation*.

Pour le cas des sessions maquette, sur le graphe de l'analyse factorielle des correspondances (Figure 131) nous voyons que l'action de dessiner se situe dans le même quadrant que le processus *Evaluation (Bs>Be)*. Cependant, cette action n'est quasiment pas présente pour ces sessions (distribution de 0,4%). L'action de représenter un élément par un geste se situe du même côté de la dimension 1 (en abscisse) que l'action dessiner mais dans un autre quadrant et est associée aux processus *Synthesis* et *Reformulation 2*. L'action de pointer une représentation apparait de l'autre côté de la dimension 1 et est située dans le même quadrant que le processus *Analysis*.

Pour le cas des sessions dans le Hyve-3D (Figure 132), l'action de dessiner se situe dans le même quadrant que les processus *Synthesis* et *Reformulation 2*. L'action de pointer est associée au processus *Evaluation (Bs>Be)* alors que l'action représenter un élément par un geste est située dans le même quadrant que les processus *Evaluation (Be>Bs)* et *Analysis*.

Pour le cas des sessions dans l'écosystème de représentations SDC (Figure 133), l'action de dessiner est située dans le même quadrant que les processus *Evaluation* et *Reformulation 2*. L'action de pointer est associée au processus *Reformulation 1*, alors que l'action de représenter un élément par un geste est située dans le même quadrant que le processus *Synthesis*.

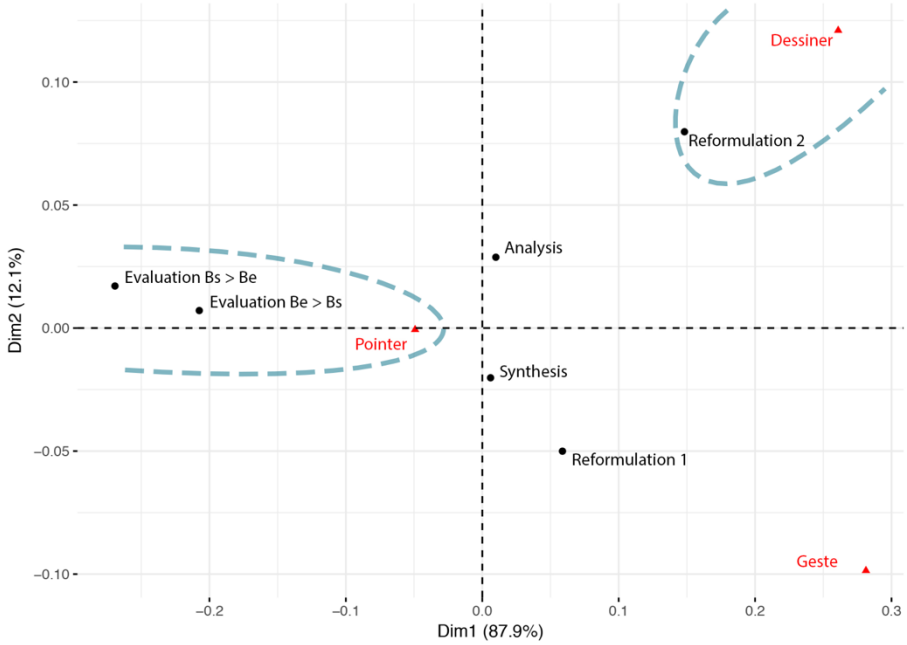


Figure 130 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations traditionnel et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir).

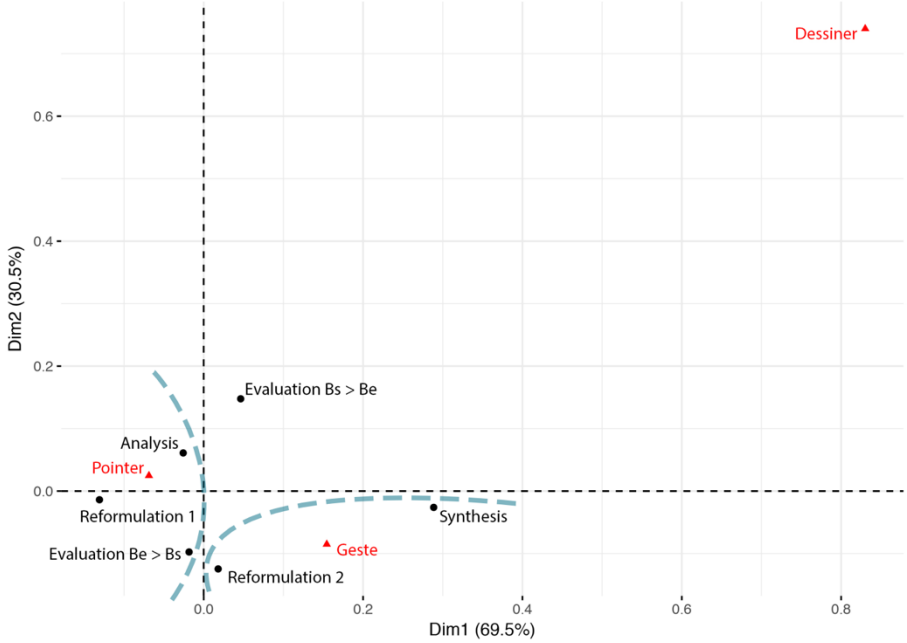


Figure 131 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations maquette et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir).

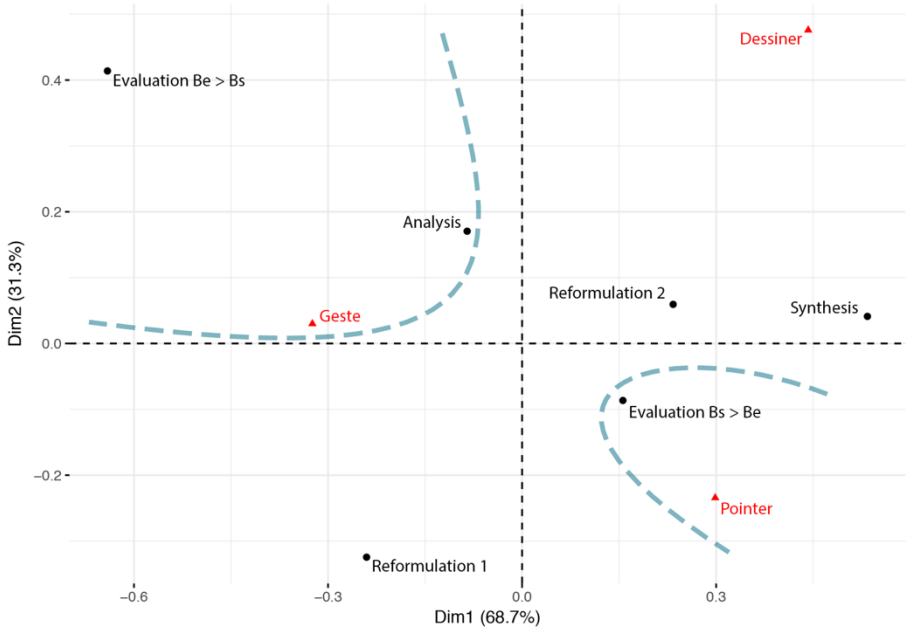


Figure 132 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions sur l'écosystème de représentations Hyve-3D et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir).

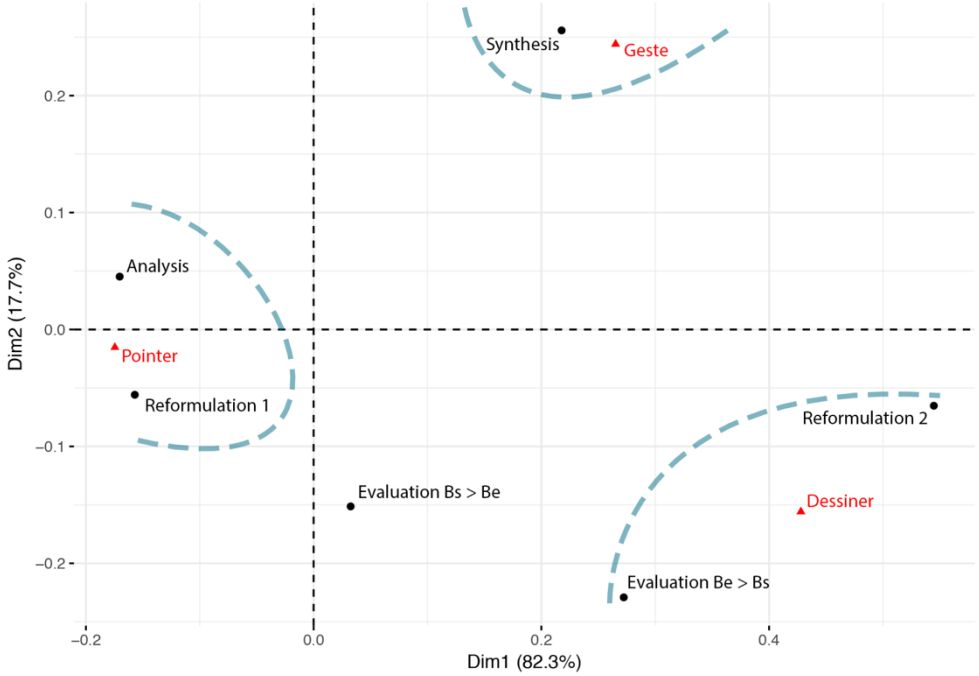


Figure 133 Analyse factorielle des correspondances entre les types d'actions avec l'écosystème de représentations SDC et la distribution moyenne des processus de conception FBS. 100% de la variance des données est représentée sur ce graphe. La position de chaque élément dans un des quatre quadrants montre les proximités relatives entre les actions des participants sur l'écosystème de représentations (rouge) et les processus de conception (noir).

En résumé, nous avons vu que la distribution de la cooccurrence de l'action de pointer avec chacun des processus de conception FBS suit la distribution générale des processus de conception pour les écosystèmes de représentations traditionnel, maquette et SDC. Pour les sessions Hyve-3D, l'action de représenter par un geste a tendance à suivre la distribution générale des processus de conception. Cela signifie que ces actions sont utilisées de manière régulière pour l'ensemble des processus de conception.

Lorsque nous regardons, pour chacun des cas, les différences relatives de l'association entre actions sur l'écosystème de représentations et processus de conception, nous observons de grandes différences. L'action de pointer dans l'écosystème de représentation traditionnel et Hyve-3D est associée aux processus d'évaluation du projet alors que dans l'écosystème maquette et SDC, ce geste déictique est associé à la description et à l'analyse du projet. Pour les cas traditionnel, Hyve-3D et SDC, le dessin est associé aux processus de reformulation des intentions de projet, ce qui conforte l'importance de cet outil pour la session critique. L'utilisation du geste pour représenter un élément en 3D non présent dans le projet ou un élément dynamique est associé à différent processus en fonction des écosystèmes de représentations utilisés : *Reformulation 1* pour l'écosystème traditionnel, *Synthesis* et *Reformulation 2* pour l'écosystème maquette, *Analysis* et *Evaluation* pour l'écosystème Hyve-3D et *Synthesis* pour l'écosystème SDC.

6.2.4 Bilan des entretiens

Nous avons mené des entretiens ou questionnaires dans le but de recueillir le ressenti des étudiants et enseignants durant les sessions critiques. Nous avons adapté le type d'entretien et de questionnaire en fonction de nos cas d'étude.

Pour les sessions maquette, nous avons interviewé les étudiants après leur session en leur posant quatre questions :

- Comment s'est passée la session de revue de projet ?
- Quels ont été les moments importants pendant l'échange ?
- Quels sont les objectifs de travail pour la prochaine séance ?
- Avec quels outils de représentation est ce que tu as travaillé depuis la semaine dernière ?

Pour le cas des sessions critiques dans le Hyve-3D, le format du workshop ne nous a pas permis de mettre en place un entretien court à la suite de chaque session et nous avons mené un entretien groupé d'une heure avec l'ensemble des étudiants ayant participé au workshop. Nos questions étaient orientées sur deux thématiques, l'utilisation du Hyve-3D pour la conception et l'utilisation du Hyve-3D dans le cadre pédagogique du studio de projet :

- Que pensez-vous de l'utilisation du Hyve-3D pour faire de l'esquisse de projet ?
- Que pensez-vous de l'utilisation du Hyve-3D pour la session critique pendant le studio ?

Pour les sessions critiques observées dans le SDC, nous n'avons pas mis en place d'entretien ou de questionnaire pour interroger les étudiants sur leur ressentis de la session critique.

Dans ce qui suit, nous synthétisons les éléments pertinents qui sont remontés de ces entretiens par rapport à deux thématiques : l'utilisation de l'écosystème de représentations pour concevoir et l'utilisation de l'écosystème de représentations pour la session critique.

6.2.4.1 Sur l'utilisation de l'écosystème de représentations pour concevoir

Les trois étudiants des sessions critiques maquette ont travaillé à la fois sur la maquette physique, la maquette numérique sur Sketch Up et en plan lors de la semaine précédant la session critique. Lors de l'entretien avec l'étudiant F, il explicite son processus de conception la semaine précédant la session critique sur maquette grande échelle. Il oscille entre tests sur la maquette 3D physique et modélisation de son projet sur Sketch Up. Il explique qu'il a commencé par le dessin et la modélisation de sa maquette sur Sketch Up mais s'est retrouvé bloqué. Pour cela, il débute une expérimentation sur la maquette avec des plateaux dans un gabarit standard. Le concept du projet de l'étudiant F est apparu en testant une organisation de plateaux aléatoires sur la maquette à échelle réelle, où en manipulant l'espace plan, il se représente le projet en 3D.

Les étudiants ayant testé le Hyve-3D ont souligné la flexibilité du sketch imprécis proposé par cet outil, comparé à ce qu'offre un modeleur comme Sketch Up, qui ne laisse pas de « marge d'erreur ». La synchronisation entre les représentations en 2D et en 3D est également appréciée. Cependant, il est également noté la difficulté de prise en main de l'outil car et du décryptage du fonctionnement de l'interface. En effet, dans le Hyve-3D, tous les dessins sont générés dans un espace en plan 2D. Le concepteur doit dessiner par sections planes et non en perspective sur le curseur 3D.

Nous avons également interrogé les étudiants sur l'utilisation du point de vue immergé et égocentré, à vue d'homme, proposé par le Hyve-3D. Nous avons remarqué que les étudiants utilisaient principalement la vue allocentrée, ce qu'ils justifient par le type de tâche demandée qui appelle à « un travail plutôt avec une vision globale, d'en haut ». La vue égocentrée est sollicitée pour tester des angles de vue.

Dans ces entretiens, nous voyons comment l'écosystème maquette grande échelle et l'écosystème Hyve-3D servent de support de conception du projet.

6.2.4.2 Sur l'utilisation de l'écosystème de représentation comme support de la session critique

Pour les étudiants de la session critique maquette, l'intérêt de l'utilisation d'une maquette grande échelle n'est pas clair. Le temps passé pour la construire est assez important, certains ont passé la nuit précédant la session critique pour la faire. Un étudiant sur les quatre que nous suivions avait décidé de ne pas faire sa maquette à l'échelle 1/100ème mais au 1/200ème. Il ne voyait pas l'intérêt de passer autant de temps à faire une maquette si grande. Un seul des étudiants, l'étudiant F, a trouvé cette session critique très enrichissante. Il explique que l'enseignant lui a permis de prendre du recul sur son projet, et de voir les caractéristiques conceptuelles principales de son projet, ce qu'il n'arrivait pas à faire lui-même.

Les étudiants ayant utilisé le Hyve-3D pour une session critique ont fait ressortir les atouts et les limites de cet outil pour cette situation. Le premier point soulevé est lié au rapport à l'espace physique, le sentiment d'être dans une « bulle » qui efface la relation de hiérarchie entre enseignant et étudiant. Le deuxième est lié à l'immersion dans le projet, ce qui modifie le rapport au projet car celui-ci forme le cadre du dialogue avec l'enseignant, et en devient l'objet central du rapport entre enseignant et étudiant. La notion de sensibilité liée à l'immersion est également mise en avant car le Hyve-3D permet de tester des dispositifs d'ambiances.

Les étudiants ont formalisé l'intérêt d'utiliser les outils traditionnels pour les sessions critiques, comme un calque posé sur un plan, car c'est « intuitif et instantané », ou la maquette physique qui apporte, selon eux, un aspect concret. Une seconde limite formulée concerne la prise en main du Hyve-3D, et la nécessité pour l'enseignant de maîtriser l'outil pour que la session critique soit intéressante.

En ce qui concerne le contenu des entretiens et échanges avec les enseignants et étudiants ayant participé à notre étude est cohérent avec ce qui est ressorti de notre état de l'art et nos observations.

6.3 Résumé des résultats

Comme nous l'avons expliqué dans l'introduction, l'intention de notre première étude (chapitre 5) sur les sessions critiques traditionnelles était de proposer un cadre de référence quantitatif et qualitatif de la pratique réflexive mentorée avec l'utilisation d'un écosystème de représentations traditionnel. Par cette deuxième étude, nous visons à évaluer les effets de l'utilisation d'écosystèmes de représentations alternatifs durant les sessions critiques sur le rôle de chaque acteur et leurs interactions avec l'écosystème de représentations. Les résultats de cette deuxième étude visent à répondre à la question de recherche suivante :

- Quel est l'effet de l'utilisation d'écosystème de représentations alternatifs sur la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?

Nous avons étudié ce potentiel effet par rapport à trois critères : l'engagement de l'étudiant, le rôle de chaque acteur dans la pratique réflexive et l'utilisation de l'écosystème de représentations. Les résultats que nous apportons sont formulés dans le contexte de ce cas d'étude et ne peuvent pas être généralisés. Nous argumentons dans ce qui suit en quoi un changement d'écosystème de représentations comme support de la session critique peut : favoriser l'engagement des étudiants dans la session critique ; inciter à l'évaluation du projet, la proposition de solutions et la reformulation des intentions de projet ; et amplifier les actions de manipulation des représentations du projet.

6.3.1 Favoriser l'engagement des étudiants dans la session critique

Nous avons mesuré l'engagement des étudiants pendant les sessions critiques dans différentes situations. L'enjeu était de saisir si l'engagement des étudiants durant la session critique montrait des variations en fonction des écosystèmes de représentations utilisés. Nous

pouvons identifier trois types d'engagements de l'étudiant : un engagement silencieux, d'observation ; un engagement individuel dans une activité de conception, observé par l'enseignant et un engagement commun de l'étudiant et de l'enseignant dans des processus de co-conception. Ces types d'engagement font écho aux stratégies pédagogiques définies dans l'apprentissage cognitif (Collins, Brown, & Holum 1991). Le *modeling*, lorsque l'enseignant fait une démonstration de pratique réflexive à l'étudiant et la *reflection*, lorsque l'enseignant propose un raisonnement analogique, peuvent correspondre à l'engagement silencieux de l'étudiant. Le *coaching*, qui implique que l'enseignant observe l'étudiant dans sa pratique réflexive et l'accompagne, et le *scaffolding*, lorsque l'enseignant aide l'étudiant en lui apportant des informations constructives, peuvent correspondre à l'engagement commun de l'étudiant et de l'enseignant. Les stratégies d'*articulation*, où l'enseignant encourage l'étudiant à verbaliser ses processus de conception ou d'*exploration*, où l'enseignant invite l'étudiant à formuler ses problèmes de conception peuvent être associés à l'engagement de l'étudiant dans une activité de conception individuelle.

Nous notons que l'engagement des étudiants dans leur pratique réflexive individuelle, observée par l'enseignant, est en moyenne plus présent dans l'écosystème de représentations traditionnelle, maquette et SDC, alors qu'il est plus bas dans le cas du Hyve-3D où les processus de conception individuels de l'enseignant dominent les sessions. Pour les cas maquette et traditionnel, l'engagement des étudiants au cours de la session est similaire. Nous avons distingué deux phases sur les courbes d'occurrences cumulées des processus FBS individuel : une première de présentation du projet, où l'étudiant est très engagé et une seconde où ses interventions sont moins fréquentes et apparaissent principalement pour clarifier certains points du projet. Pour les session critiques SDC et Hyve-3D, l'engagement individuel des étudiants diffère. Lors des sessions critiques SDC, le nombre d'étudiants qui participent à la critique, entre 4 et 5, implique une prise de parole à tour de rôle où chaque étudiant présente la partie du projet sur laquelle il ou elle a travaillé. Pour les sessions critique Hyve-3D, la présentation du projet est très courte, presque inexistante et les participants s'engagent très tôt dans un échange collaboratif.

Les processus FBS co-construits, marqueurs de l'activité de co-conception, ont une occurrence régulière tout au long des sessions, tous écosystèmes de représentations confondus. Nous avons vu que la part des processus de co-conception est en général plus élevée dans les sessions Hyve-3D et traditionnelles que dans les autres types de sessions. Lorsqu'on

regarde plus en détails la participation des étudiants dans les processus de co-conception, on s'aperçoit que la quantité de processus co-construits étudiant > enseignant et celle des processus co-construits enseignant > étudiant est équivalente dans chacun des cas, sauf pour les sessions Hyve-3D. Lors de ces sessions, les processus co-conçus de type enseignant > étudiant sont plus présents, ce qui suggère que les étudiants sont plus réactifs à ce qui est formulé par l'enseignant par rapport aux autres écosystèmes de représentations. Lors des entretiens avec les étudiants ayant participé aux sessions critiques dans le Hyve-3D, ils ont soulignés l'intérêt de l'immersion dans le projet et la limite physique donnée par l'écran courbé, ce qui favorise le dialogue avec les autres. Ces deux caractéristiques peuvent être une raison de l'engagement des étudiants dans des moments collaboratifs.

L'étude que nous avons menée à l'Hybridlab et qui est publiée dans l'article « *Co-ideation critique unfolded: an exploratory study of a co-design studio 'crit' based on the students' experience* » (Boudhraa *et al.*, 2019), a montré que les étudiants ont une expérience optimale (sensation de *flow*) lors de moments où ils observent une activité de conception pendant les sessions critiques. L'engagement de l'étudiant est également présent lors de moments d'observations. Cette dimension de l'engagement de l'étudiant n'a cependant pas été mesurée pour nos cas d'étude.

6.3.2 Inciter à l'évaluation, la proposition de solutions et la reformulation des intentions

Nous avons pointé certaines différences dans le développement de la pratique réflexive qui peuvent être liées à l'utilisation de l'écosystème de représentations :

- Dans l'écosystème de représentations Hyve-3D, l'effort cognitif a tendance à être de plus en plus sur l'espace de la solution du projet plutôt que sur l'espace du problème du projet, à l'inverse des autres cas.
- Dans l'écosystème maquette, le rôle de l'enseignant est modifié et il a tendance à plus évaluer le projet de l'étudiant que dans les autres cas.
- Dans l'écosystème Hyve-3D, le comportement de l'étudiant en terme de pratique réflexive est plus proche de celui de l'enseignant que dans les autres cas. Il a tendance à proposer des solutions et reformuler ses intentions de projet plus fréquemment que dans les autres écosystèmes de représentations.

Nous synthétisons dans le Tableau 24 ci-dessous les tendances apparues dans chacun des écosystèmes de représentations étudiés. L'identification des processus situés FBS individuels et co-conçus dominants nous donne une indication de l'effort cognitif mis par chacun pour naviguer dans l'espace de conception afin de formuler des propositions, évaluer des propositions et reformuler des intentions de projet.

Les étudiants dans les sessions traditionnelles se concentrent plutôt sur la formulation de propositions et la reformulation d'intentions de projet, de même que leur enseignant, même si un effort est mis par ce dernier sur l'évaluation des propositions. Les processus co-conçus initiés par l'enseignant sont soit une formulation, soit une évaluation des propositions, à l'inverse des processus co-conçus initiés par l'étudiant qui visent à une reformulation des intentions de projet.

Lors des sessions maquette, l'étudiant répartit son effort entre formulation de propositions, évaluation des propositions et reformulation des intentions de projet. L'enseignant fait un effort plus important sur la reformulation d'intentions de projet et l'évaluation des propositions, plutôt que leur formulation. De même que pour les sessions traditionnelles, les processus co-conçus visent principalement à évaluer les propositions formulées.

Dans le Hyve-3D, les étudiants ont tendance à se focaliser sur la reformulation des intentions de projet et l'évaluation de propositions. L'enseignant va mettre un peu plus d'effort dans la reformulation des intentions de projet, que dans l'évaluation des propositions et leurs formulations. Les processus co-conçus sont très présents dans l'évaluation des propositions mais aussi dans la formulation de propositions.

Dans les sessions SDC, l'effort des étudiants et enseignants se répartit de manière équilibrée entre formulation de proposition, évolution des propositions et reformulation d'intentions. En ce qui concerne les processus collaboratifs, l'effort est mis sur la formulation et l'évaluation des propositions.

6.3.3 Amplifier les actions sur l'écosystème de représentations

Nous avons observé des différences dans la distribution des actions des participants sur les représentations du projet. Visser (2009) met en avant l'importance des gestes comme soutien à la conception et à la collaboration notamment dans la communication d'éléments en 3D et d'éléments dynamiques dans le projet. L'action de représenter par un geste est

beaucoup plus présente dans l'écosystème Hyve-3D et maquette à grande échelle. L'action de pointer un élément est très présente dans l'écosystème de représentations traditionnel et maquette. Elle l'est deux à trois fois moins pour les écosystèmes de représentations SDC et Hyve-3D. La référenciation à un élément du projet par le pointage est importante pour la collaboration car elle permet de définir le référent commun. Dans nos cas d'étude, il n'y a pas de lien apparent entre la collaboration entre les participants et les occurrences d'actions de pointer un élément. Dans l'écosystème Hyve-3D, la distribution du geste pointer est la plus faible et la distribution des processus collaboratifs est une des plus élevée. Nous pensons que l'immersion dans le projet, dans le cas du Hyve-3D, réduit l'ambiguïté sur l'élément de référence, ce qui peut expliquer la faible occurrence des gestes de pointage.

Dans le Tableau 25, nous avons synthétisé la prévalence des actions sur les représentations et leur association avec les processus de conception FBS. Nous voyons que l'action de pointer un élément est associée soit aux processus d'évaluation du projet, pour les cas traditionnel et Hyve-3D, ou aux processus d'analyse et de reformulation d'un élément existant dans le projet pour les cas maquette et SDC. Le dessin est exploité dans nos sessions pour reformuler des intentions de projet (processus *Reformulation 2*) pour les écosystèmes de représentations traditionnel, Hyve-3D et SDC.

Concernant le changement de point de vue et de dimension, nous avons vu qu'il est en général peu fréquent. Le changement de dimension (2D/3D) est présent dans l'écosystème traditionnel et dans l'écosystème Hyve-3D, avec une fréquence de 10 fois pour environ 30 minutes de session critique pour le premier et 12 fois pour le second. Le changement de point de vue (allocentré / égocentré) est le plus présent dans le Hvye-3D avec une fréquence de 4 fois pour environ 30 minutes de session critique. Le Hyve-3D propose un écosystème de représentations qui semble favoriser la navigation dans les représentations par un changement de point de vue ou de dimension.

Tableau 24 Indicateur de navigation dans l'espace de conception en fonction des acteurs du processus et du type de session

		Formulation des propositions : espace problème > espace solution *(processus sFBS Synthesis)*	***Évaluation des propositions : espace problème <> espace solution*** *(Processus sFBS Evaluation)*	***Reformulation d'intentions de projet : espace solution > espace problème*** *(Processus sFBS Reformulation 2 et 3)*
Traditionnelle	Étudiant	•		•
	Étudiant > Enseignant			•
	Enseignant > Étudiant	•	•	
	Enseignant	•••	•••	••••
Maquette	Étudiant	•	•	•
	Étudiant > Enseignant		•	•
	Enseignant > Étudiant	•	••	
	Enseignant	•••	••••	••••
Hyve-3D	Étudiant		•	••
	Étudiant > Enseignant	•	••	
	Enseignant > Étudiant	•••	•••	•
	Enseignant	•••	•••	••••
SDC	Étudiant	•	•	•
	Étudiant > Enseignant		•	
	Enseignant > Étudiant	••	•	
	Enseignant	•••	•••	•••

Le signe • représente la distribution des processus pour chaque processus.

Tableau 25 Indicateur de relation entre processus de conception et actions sur les représentations

	Traditionnel	**Maquette**	**Hyve-3D**	**SDC**
Processus lié à pointer	*Evaluation*	*Analysis Reformulation 1*	*Evaluation*	*Analysis Reformulation 1*
Distribution pointer	••••	••••	•	•••
Processus lié à dessiner	*Reformulation 2*		*Synthesis Reformulation 2*	*Synthesis Reformulation 2*
Distribution dessiner	•		•	••
Processus lié à geste	*Reformulation 1*	*Synthesis Reformulation 2*	*Analysis Evaluation*	*Synthesis*
Distribution geste	•	••	••	•

Le signe • représente la distribution des processus pour chaque processus.

6.4 Synthèse

Dans ce chapitre nous avons exploré de manière empirique l'effet d'une modification de l'écosystème de représentations pendant la session critique sur la pratique réflexive mentorée. Pour mesurer cet effet, nous avons mené une étude de cas comparative entre quatre écosystèmes de représentations : le cas traditionnel, c'est-à-dire sur table où les participants utilisent des plans, coupes, élévations et maquette physique ; le cas maquette grande échelle ; le cas Hyve-3D, qui propose une représentation du projet immersive et à échelle 1 ; et le cas SDC, qui offre un système de studio à distance, multi sites par le biais d'une interface de co-conception de type table interactive. Nous avons vu que, pour nos cas d'étude, l'écosystème de représentations a eu un impact sur trois dimensions : l'engagement des étudiants pendant la critique, le rôle de chaque acteur dans la pratique réflexive et l'utilisation de l'écosystème de représentations.

Nous avons vu que le comportement de l'étudiant est différent dans les sessions critiques Hyve-3D par rapport aux autres sessions critiques. Sa pratique réflexive se rapproche de celle de l'enseignant. De manière générale, les enseignants mettent en place une palette de processus de conception beaucoup plus variée que les étudiants, qui sont plutôt dans la présentation et l'analyse de leur projet pendant les sessions critiques. Durant les sessions critiques sur maquette, l'enseignant s'engage plus fréquemment dans des processus d'évaluation du projet que dans les autres types de sessions critiques.

Les sessions traditionnelles et SDC sont similaires malgré la particularité du SDC (multi sites). La collaboration entre les participants et l'évaluation critique des projets ne sont pas appauvries dans le cas du SDC grâce au dispositif mis en place (SketSha et Skype).

Nous notons que l'écosystème Hyve-3D a tendance à favoriser le changement de point de vue et de dimension, ce qui peut enrichir la pratique réflexive durant la session critique.

Chapitre 7 Discussion et perspectives

Cette thèse a pour objectif d'enrichir nos connaissances sur la situation pédagogique de la session critique, que nous avons définie comme pratique réflexive mentorée, et sur l'effet de l'utilisation de différents écosystèmes de représentations comme support de la pratique réflexive mentorée. Nos contributions se développent selon trois axes. Nous avons proposé un modèle théorique de la pratique réflexive mentorée et une méthodologie pour mesurer des caractéristiques de celle-ci. Nous apportons de nouvelles connaissances sur la situation de la session critique lorsqu'elle est menée dans quatre écosystèmes de représentations différents. Nous nous basons sur notre étude empirique pour informer sur cette situation. De plus, nous proposons un scénario pédagogique intégrant les résultats de nos observations, et s'adaptant à la situation de l'Ensa Nantes.

7.1 Contribution théorique et méthodologique : utilisation du modèle de co-conception situé FBS

Nous avons développé dans le troisième chapitre de la thèse une définition théorique de la pratique réflexive mentorée et nous en avons proposé un modèle descriptif utilisant le modèle de co-conception situé FBS. Nous avons démontré par la suite son intérêt pour modéliser la pratique réflexive mentorée par la représentation des rôles dominants de chaque participant à la session critique. L'intérêt du modèle de co-conception situé FBS est sa capacité à représenter de manière qualitative des informations quantitatives sur l'activité de conception d'une équipe tout en conservant une granularité de description nous permettant de capter la contribution de chaque concepteur à l'activité de conception. De plus, ce modèle permet de décrire la diversité des situations de co-conception et d'apporter une

mesure de l'activité cognitive de conception, indépendamment du domaine de conception, du nombre de participants ou encore du type d'écosystème de représentations utilisé.

Les utilisations de l'ontologie FBS comme cadre théorique, de la méthode de l'analyse de protocole et de nouvelles techniques de mesures quantitatives pour étudier les processus de conception sont développées dans le livre « *Quantitative methods for studying design protocols* » (Kan & Gero, 2017). Dans cet ouvrage, synthétisant 30 ans de recherche en *design cognition*, des études empiriques de protocoles de sessions de conception ou de sessions critiques montrent comment l'utilisation de techniques basées sur la théorie de l'information (entropie), les chaines de Markov (probabilité) ou d'autres outils statistiques (t-test, ANOVA), associées à la méthode d'analyse de protocoles (Ericsson & Simon, 1984; Van Someren, Barnard, & Sandberg, 1994) permet d'augmenter notre compréhension de l'activité de conception. Notre première contribution méthodologique et théorique se base sur le travail synthétisé dans cet ouvrage et se place dans sa continuité.

Le modèle de co-conception situé FBS permet de décrire des situations de co-conception pour en étudier la diversité. Ces situations se différencient selon certaines caractéristiques telles que l'homogénéité de l'équipe de projet en terme de niveau d'expertise, de domaine de conception, de genre ; l'écosystème de représentations utilisé ; le type de collaboration (distante, co-localisée) ou encore le nombre de personnes dans l'équipe.

7.1.1 Portée du modèle de co-conception situé FBS : deux exemples

Nous proposons deux exemples pour illustrer l'intérêt du modèle de co-conception situé FBS. Le premier est celui d'une étude parallèle à celle présentée dans le corps de la thèse, où nous avons exploré l'utilisation de cette méthodologie pour analyser l'impact du genre des concepteurs sur leur activité de co-conception (Milovanovic & Gero, 2019). Le second s'appuiera sur un de nos cas d'étude de sessions critiques SDC pour explorer comment représenter la complexité d'une situation critique avec de multiples participants.

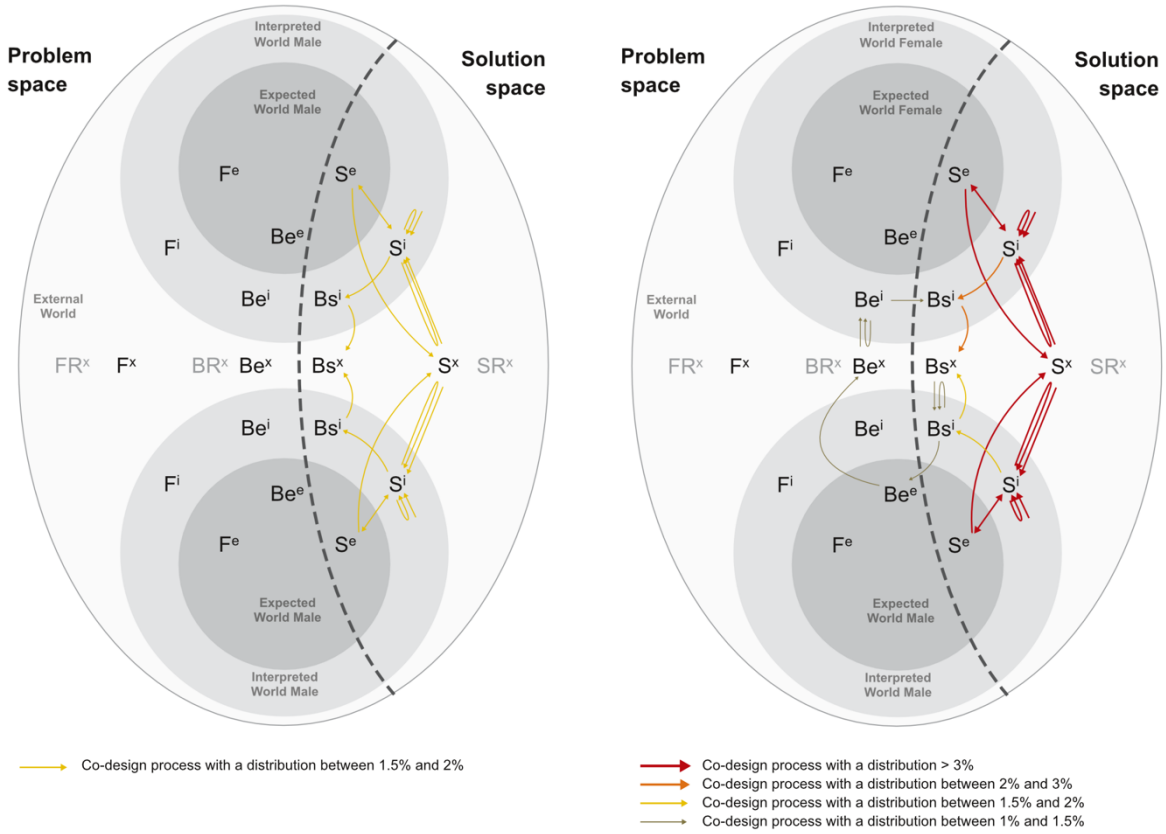
7.1.1.1 Effet du genre sur l'activité de co-conception

Les résultats de notre étude sur l'effet du genre des concepteurs sur leur activité de conception ont montré une différence quantitative et qualitative entre deux groupes de genres différents, par rapport aux processus de co-conception mis en place pendant la session. Pour

cette étude dont l'expérience a été menée dans une université américaine (Utah State University, expérience supervisée par Dr Becker et Dr Gero), deux types d'équipes sont définies : homogène, c'est-à-dire composée de deux étudiants masculins, et hétérogène, c'est-à-dire composée d'une étudiante et d'un étudiant. Ces étudiants en ingénierie mécanique ont disposé d'une heure pour concevoir un mécanisme d'ouverture de fenêtre. Au total, nous avions 19 équipes homogènes et 17 équipes hétérogènes. La distribution de processus de co-conception pour les équipes hétérogènes est plus élevée (M=12,8%, σ =3,1) que pour les équipes homogènes (M=9,7%, σ =2,8). Les résultats du test de student (t-test) sur nos données soutiennent une différence significative entre nos deux groupes (p value = 0,003).

La représentation des processus de co-conception de chaque équipe sur le modèle situé FBS illustre les différences qualitatives entre ces deux équipes (Figure 134). Sur le diagramme de l'équipe homogène nous observons que les processus de co-conception sont symétriques et situés dans l'espace solution (Figure 134(a)). L'équipe hétérogène montre plus de diversité dans les processus de co-conception exploités pendant la session (Figure 134(b)). En complément des processus d'*Analysis* et de *Reformulation 1* également présents pour l'autre équipe, les étudiants de ce groupe ont eu tendance à évaluer leur projet par des processus de navigation entre espace problème et espace solution.

Nous voyons ici que le modèle théorique de co-conception situé peut être utilisé pour souligner la diversité de deux équipes de concepteurs, liées dans ce cas au genre des participants.



(a) (b)

Figure 134 (a) Représentation des processus de co-conception situés FBS pour l'équipe homogène, (b) Représentation des processus de co-conception situés FBS pour l'équipe hétérogène.

7.1.1.1 Représentation des processus de co-conception d'une session critique à six participants

Dans l'étude présentée dans les chapitres 5 et 6, nous avons simplifié la situation de la session critique en un modèle de session avec deux participants, un enseignant et un étudiant. Dans l'exemple qui suit, nous montrons comment le modèle de co-conception situé FBS peut être exploité pour représenter chacun des participants d'une des sessions SDC comprenant deux enseignants et quatre étudiants, répartis sur deux sites, Liège et Nancy. Nous avons représenté les interactions entre les participants pour trois processus de co-conception FBS : *Synthesis*, qui illustre la proposition d'une solution par rapport à des intentions de projet (Figure 135), *Analysis*, qui est un processus d'explication de l'effet d'un élément du projet (Figure 136) et *Reformulation 2*, qui implique la reformulation d'intentions de projet par rapport à un élément présent dans le projet (Figure 137).

Nous voyons que pour chacun des processus, la collaboration entre les acteurs est variable. Pour les processus de *Synthesis* (Figure 135), l'ensemble des participants est engagé dans les processus de co-conception. Les deux enseignants, l'étudiant A et l'étudiant C participent à la fois à la formulation d'intentions de projet par rapport à laquelle un autre participant réagit, et à la proposition d'une solution par rapport à la formulation d'une intention de projet d'un autre participant. Les processus *Analysis* (Figure 136) et *Reformulation 2* (Figure 137), n'implique pas l'ensemble des participants mais seulement quatre participants pour le premier et trois participants pour le second. Nous notons que la collaboration est à la fois distante (entre les deux sites) et co-localisée (sur un seul site), et qu'elle implique au moins un enseignant et un étudiant.

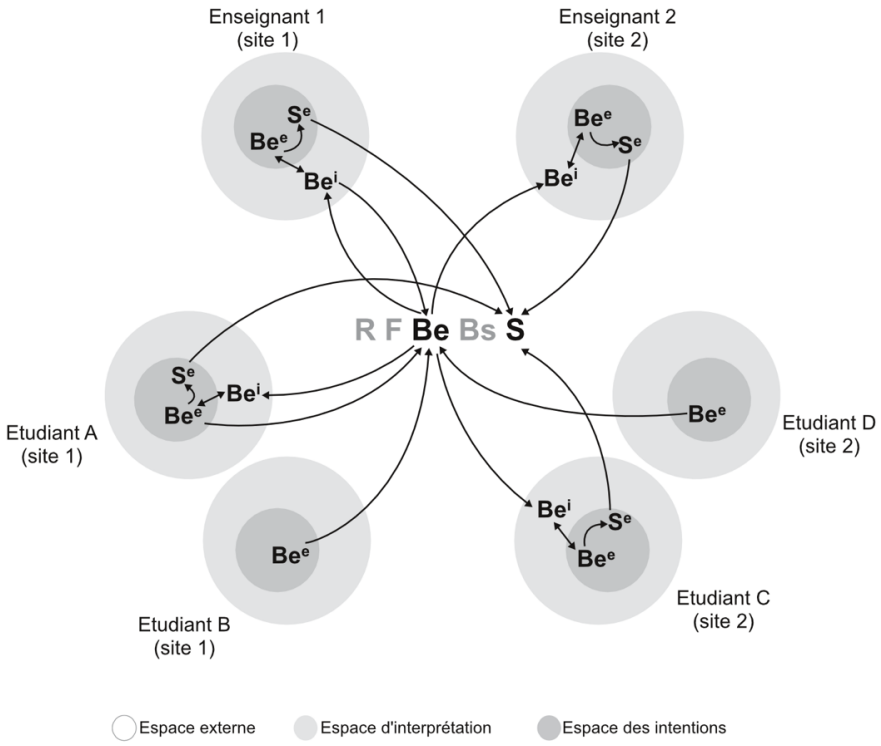


Figure 135 Représentation du processus co-conçu *Synthesis*. Les participants collaborent à travers le projet représenté dans l'espace externe sous la forme d'une instance de R, F, Be, Bs ou S.

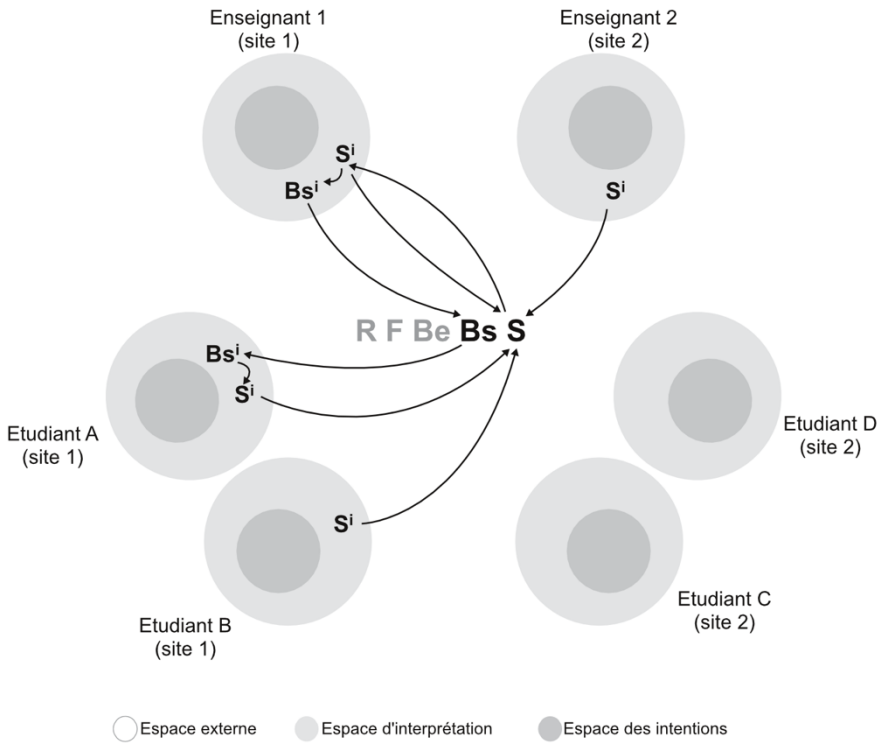


Figure 136 Représentation du processus co-conçu *Analysis*. Les participants collaborent à travers le projet représenté dans l'espace externe sous la forme d'une instance de R, F, Be, Bs ou S.

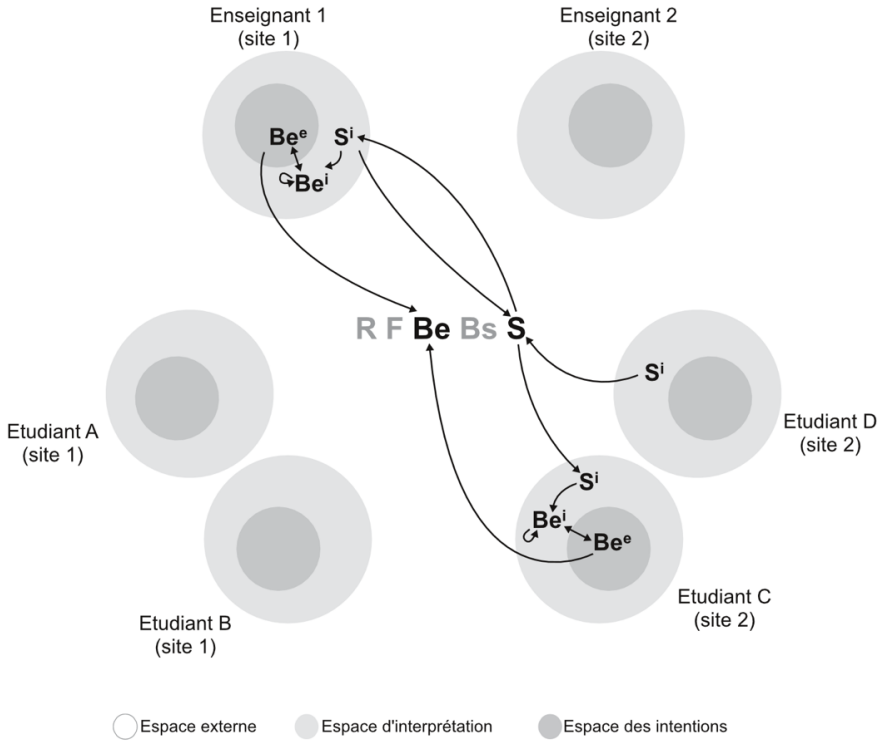


Figure 137 Représentation du processus co-conçu *Reformulation 2*. Les participants collaborent à travers le projet représenté dans l'espace externe sous la forme d'une instance de R, F, Be, Bs ou S.

À travers ces deux exemples illustrés, nous voyons l'intérêt du modèle de co-conception pour représenter de manière qualitative des données quantitatives sur la diversité des situations de co-conception. La première étude illustre comment le modèle permet de pointer des différences de processus cognitifs de co-conception entre deux types d'équipe de concepteurs, différenciées par rapport à leur genre. La deuxième montre comment par ce modèle, nous pouvons représenter la dynamique des processus de collaboration dans le cas d'une session critique à six participants.

Le modèle de co-conception situé FBS nous a permis, dans le cadre de cette thèse, de décrire la pédagogie de la pratique réflexive mentorée en studio dans plusieurs situations de sessions critiques. La portée théorique et méthodologique du modèle apparaît dans la possibilité d'adaptation de la méthode et du modèle à d'autres situations de co-conception ou de sessions critiques.

7.2 Contributions de l'étude de cas

Les résultats de notre étude de cas ne peuvent pas être généralisés mais ils nous indiquent une tendance générale sur l'utilisation des écosystèmes de représentations comme support de la pratique réflexive mentorée.

Les limites et biais de notre deuxième étude sur les cas alternatifs sont nombreux. Ces cas isolés devaient nous servir d'études exploratoires pour tester notre méthodologie. En effet, les cas SDC et maquette ont été observés dès la première année de thèse (2016), et le cas Hyve-3D l'année suivante (2017). Nous avions l'intention de mener des observations identiques à celles de notre étude de cas traditionnels (effectuée en 2018) dans l'écosystème de représentations CORAULIS (cf section 1.1.2 p.25). Les délais de réalisation de cette plateforme n'ont pas permis la mise en place de cette expérience. Pour cela, l'étude comparative présentée dans le chapitre 6 est limitée car le nombre de sessions par cas est différent, il n'y a pas de suivi de session en session pour les cas alternatifs, le programme du projet varie, de même que le nombre de participants à la session, la durée de la session et la temporalité des sessions dans le studio de projet.

Malgré ces limites, nous avons synthétisé les contributions apportées par ces études de cas selon deux angles : la définition de la pratique réflexive mentorée et l'effet de l'utilisation

de l'écosystème de représentations sur la pratique réflexive mentorée. Nous les discutons dans le cadre des références que nous avons introduites dans le Chapitre 2.

7.2.1 Définition de la pratique réflexive mentorée durant les sessions critiques

Notre première question de recherche visait à explorer la situation de la session critique en studio de projet par la notion de pratique réflexive mentorée.

- Quels sont les rôles de chaque acteur dans la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?

Nous avons souligné dans notre état de l'art les caractéristiques de la session critique en studio de projet. L'enjeu de la session critique est d'offrir aux étudiants, sur une base régulière, un retour sur leur avancement de la part d'un expert en conception. L'enseignant apporte une critique constructive sur le projet de l'étudiant pour lui donner des pistes d'exploration et de développement du projet. Les étudiants sont parfois bloqués et la mise en réflexion sur le processus de conception, ainsi que la reformulation du concept du projet ou des intentions de projet, sera bénéfique au déblocage des étudiants (Sachs, 1999; Schön, 1987).

Dans leur étude, Oh *et al.* (2013) ont remarqué une organisation séquentielle de la session critique en plusieurs étapes : les étudiants présentent leur projet, les enseignants écoutent et observent, les enseignants remarquent des problèmes potentiels qui conduisent à la formulation d'une critique sur le projet. De même, Parnell *et al.* (2007) définissent deux phases durant la session critique qu'ils associent avec deux étapes d'apprentissage expérientiel : la présentation du projet, qui est considérée comme une expérience concrète, et l'échange et la critique, qui sont considérés comme une observation réflexive.

Nos observations empiriques confortent le séquençage proposé par Oh *et al.* (2013) et Parnell *et al.* (2007). La modélisation de l'engagement de l'étudiant dans la session critique que nous avons proposée se définit par deux phases. La première phase où les étudiants présentent leurs projets et la seconde où les enseignants prennent en main la session, pointent des problèmes, reformulent les caractéristiques du projet et proposent des solutions ou

axes de réflexion. Lors de cette deuxième phase, les processus collaboratifs augmentent et l'étudiant s'exprime de manière ponctuelle, pour clarifier, proposer ou négocier certains éléments du projet. L'étudiant est principalement dans l'écoute dans cette deuxième phase, et l'enseignant dans la démonstration. Nous retrouvons les deux modes d'interactions observés par Schön (1985) : écouter (étudiant) / expliquer (enseignant), et imiter (étudiant) / démontrer (enseignant).

L'apprentissage en studio de projet s'effectue par le faire, par la conception en elle-même qui est à la fois l'objet à apprendre et le moyen de l'apprendre. De ce fait, les caractéristiques de l'activité de conception comme l'alternance de réflexions convergentes et divergentes (Yilmaz & Daly, 2016), l'oscillation entre raisonnement abstrait et concret (Wolmarans, 2016) ou la coévolution de l'espace de conception (Wiltschnig, Christensen, & Ball, 2013) sont des phénomènes que nous retrouvons pendant la session critique. Dans notre étude, nous nous sommes focalisés sur l'évolution de la navigation entre l'espace du problème de conception et l'espace de solution. La navigation de l'un à l'autre permet de réduire l'espace des possibles par la synthèse de solutions concepts, et par leur évaluation par rapport à la situation de conception. Les experts en conception (enseignants) ont en général une approche large du problème de conception (*breadth-first*) comparativement aux novices (étudiants) qui ont tendance à avoir une approche focalisée sur un élément (*dept-first*) (Cross, 2004), ce qui peut entrainer une fixation sur une solution de projet (Gero, 2011; Purcell *et al.* 1993). La fixation précoce sur une solution peut être un frein à la qualité du projet. Les étudiants doivent donc apprendre à questionner et à reformuler leurs intentions de projet (situées dans l'espace problème) par rapport à leur proposition actuelle (située dans l'espace solution).

L'enjeu de l'enseignant est de mettre l'étudiant dans une situation de pratique réflexive, où l'effort cognitif oscille entre l'espace du problème de conception et l'espace de la solution de conception. La réflexion sur le projet permet de débloquer une situation où l'étudiant se sent bloqué par rapport à son projet (Schön, 1987). L'enseignant, dans nos cas d'étude, est à l'origine de la navigation entre l'espace problème et l'espace solution. Il pousse l'étudiant à questionner son projet, à reformuler ses intentions de projet et à explorer des solutions alternatives, et ne pas se fixer sur une solution dénuée de qualités architecturales. Il est également à l'origine de la proposition de solutions ou orientations à prendre. Ce rôle rentre parfois en conflit avec les positions prises par l'étudiant, qui peut avoir l'impression de

perdre l'identité de son projet s'il n'est pas en mesure de s'approprier les commentaires formulés pendant la session critique. Les étudiants ont pour rôle de présenter et d'expliquer leur projet, surtout dans la première partie de la session. Dans la suite, ils s'engagent dans une pratique réflexive avec l'enseignant. Nous avons vu que les résultats des distributions des processus de conception FBS lors des sessions critiques que nous avons observées dans l'écosystème de représentations traditionnel sont cohérents avec les rôles des participants que nous avons décrit.

7.2.2 Effet de l'utilisation de l'écosystème de représentations sur la pratique réflexive mentorée durant les sessions critiques

La deuxième question de recherche concerne l'effet de l'écosystème de représentations utilisé comme support de la session critique. Nous pensons que l'écosystème de représentations utilisé pendant la session critique peut avoir un effet sur la pratique réflexive mentorée et sur le rôle de chaque participant. L'étude de cas que nous avons menée vise à explorer la question suivante :

- Quel est l'effet de l'utilisation d'écosystèmes de représentations alternatifs sur la pratique réflexive mentorée des sessions critiques ?

Dans une étude sur le développement des compétences en conception lors de sessions critiques, Heylighen, Bouwen, & Neuckermans (1999) ont montré que plus le dialogue est collaboratif et riche entre enseignants et étudiants pendant la session critique, plus les étudiants développent des connaissances conceptuelles sur leur projet. Cette étude met en évidence l'importance de la collaboration entre enseignants et étudiants pendant la session critique. L'écosystème de représentations utilisé pendant la session critique peut influencer la collaboration entre les participants et doit la favoriser. Nous avons vu dans notre étude que la distribution des processus collaboratifs a tendance à être plus élevée pour les sessions traditionnelles et Hyve-3D.

Concernant le rôle de chaque participant, nous avons observé deux changements majeurs. Dans l'écosystème maquette, l'enseignant a un rôle un peu différent que dans les trois

autres écosystème de représentations. Il a tendance à mettre en place plus de processus d'évaluation du projet. Cela est cohérent avec l'enjeu pédagogique derrière l'utilisation de la maquette grande échelle, qui est de favoriser l'immersion dans le projet et de mieux appréhender le rapport entre projet et contexte. Le deuxième changement que nous avons observé concerne le rôle de l'étudiant dans les sessions Hyve-3D. Dans les trois autres cas, les étudiants ont tendance à rester dans la description de leur projet et la clarification de leurs intentions. Dans les sessions Hyve-3D, nous avons observé que les étudiants ont un comportement, en terme de processus de conception, qui est plus proche de celui des enseignants, c'est-à-dire qu'ils ont tendance à mettre en place plus de processus de navigation dans l'espace de conception que dans les autres cas. Ces tendances sont à prendre avec du recul et ne peuvent pas être généralisées au vu du nombre de cas que nous avons étudiés et des autres biais mentionnés précédemment (enseignants différents, longueur des sessions variables, effet de la nouveauté du Hyve-3D).

L'écosystème de représentations utilisé pendant la session critique a un impact sur l'engagement de l'étudiant. Il doit permettre à chaque acteur de pouvoir s'exprimer à la manière d'un concepteur (*in a designerly way*) pour que les étudiants puissent présenter leurs projets et que les enseignants puissent entrer dans une conversation réflexive avec le projet de l'étudiant. De plus, l'écosystème de représentations doit être un support à la collaboration. Les écosystèmes de représentations traditionnels et SDC permettent à chaque acteur de s'exprimer et de collaborer par le biais de médiums courants de représentations du projets (plans, coupes, perspectives). L'écosystème maquette est plus restreint dans le sens où un unique médium d'expression est présent et que le dessin n'est pas réellement supporté. La représentation en plan et en coupe dans le Hyve-3D, par le curseur 3D, ne suit pas les standards de représentation d'un plan ou d'une coupe en architecture. Cependant, lors des sessions critiques que nous avons observées, chacun des participants a été capable de s'exprimer par cette interface, notamment par la possibilité de dessiner facilement. Le système d'écran immersif et la spatialité physique qu'il crée sont des éléments favorisant la collaboration entre les participants.

Nous avons vu que les participants à la critique interagissent avec l'écosystème de représentations par des actions similaires, comme le geste de pointage ou de représentation d'un élément, et le dessin. Des différences apparaissent dans la fonction associée à ces actions et dans la répartition de leur utilisation.

Dans l'activité de conception, le langage spatial de conception intègre la proposition d'une configuration spatiale du projet tout en y incluant une projection de l'expérience d'une future utilisation (*felt-paths*) (Schön, 1981). Dans leur étude Elsen & Heylighen (2014) soulignent l'intérêt du dessin et de la représentation en perspective avec une vue égocentrée pour communiquer l'expérience sensorielle, qui reprend la notion de *felt-paths* liée à l'espace représenté. Le dessin, au-delà de sa capacité à proposer une représentation permettant de communiquer une expérience sensible, est également propice à l'exploration de concepts (Purcell & Gero, 1998 ; Schön & Wiggins, 1992). L'utilisation de maquettes d'étude est également appropriée pour cette phase d'exploration conceptuelle car la maquette d'étude comporte des caractéristiques analogues au dessin : elle est flexible et permet des tests par itérations. Le système du Hyve-3D est un support pour l'idéation par la qualité de son interface de dessin en 3D (Boudhraa *et al.*, 2019; Dorta, 2008; Dorta, Kinayoglu, & Boudhraa, 2016; Dorta *et al.*, 2008). De plus, l'immersion dans le dessin renforce la communication de l'expérience sensorielle.

Pour les architectes, les dessins externes facilitent l'interaction entre représentations et processus cognitifs d'interprétation du concept. Les dessins sont propices à la conversation réflexive car ils sont 'denses' et 'ambigus', c'est-à-dire qu'ils ne sont pas définis ou figés, donc ils permettent l'exploration d'idées (Goel, 1995). Cependant dans nos cas d'étude, l'action de dessiner n'est pas très présente comparer aux actions gestuelles (pointage et représentation par un geste). Pour une session de conception, l'utilisation du dessin serait sans doute plus fréquente. La dimension pédagogique de la session critique peut être une raison expliquant cette différence dans l'utilisation du dessin car l'objectif de la session n'est pas le même. Nous avons vu dans notre étude de cas que l'enseignant dessine de manière plus fréquente dans l'écosystème traditionnelle et SDC (dessin 2D), à l'inverse de l'étudiant qui a mobilisé le dessin dans l'écosystème Hyve-3D (dessin immersif 3D).

Selon Détienne, Visser, & Tabary (2006), l'action de dessiner tend à s'associer avec des activités de génération de solutions alors que l'action de montrer (pointer) correspond à des actions d'interprétation ou d'information. Dans une étude sur la relation entre processus de conception et manipulation de représentations externes, Cardella *et al.* (2006) ont montré que les concepteurs s'appuient sur le dessin pour cadrer le problème, le reformuler. Le dessin est exploité dans nos sessions pour reformuler des intentions de projet (processus *Reformulation 2*) pour les écosystèmes de représentations traditionnel, Hyve-3D et SDC,

ce qui est en accord avec l'étude de Cardella *et al.* (2006). Pour les écosystèmes de représentations Hyve-3D et SDC, où le dessin est le plus exploité, cette action est également associée aux processus de proposition de solutions (processus *Synthesis*) ce qui est en accord avec l'étude de Détienne, Visser, & Tabary (2006). Deux des trois fonctions du dessin définies par Ferguson (1992), un support de réflexion (*thinking sketch*) pour essayer différentes idées et un support de communication entre les acteurs du projet (*talking sketch*), sont exploitées dans nos cas d'étude.

Dans plusieurs des cas traditionnels, des éléments clés du projet sont souvent manipulés par la modification de la maquette conceptuelle pendant la session critique, notamment sur les premières semaines observées. Ce phénomène de modification de la maquette n'est pas apparu dans le cas des sessions maquette où la maquette grande échelle sert principalement à évaluer la proposition de l'étudiant en la contextualisant dans le site du projet.

L'importance des représentations graphiques, de leur manipulation et des gestes de référenciation à des éléments du projet sur les représentations pour communiquer et concevoir ont été mis en avant dans de nombreux travaux (Heiser, Tversky, & Silverman, 2004; Kang & Tversky, 2016; Suwa & Tversky, 1997; Tang & Gero, 2001). Visser (2009) formalise l'importance des gestes comme soutien à la conception et à la collaboration notamment dans la communication d'éléments en 3D et d'éléments dynamiques dans le projet. Dans leur étude, Détienne, Visser, & Tabary (2006), suggèrent un lien entre l'action de montrer (pointer) et des actions d'interprétation ou d'information.

Les actions de geste spatial sont plus présentes dans l'écosystème maquette et Hyve-3D. Dans l'écosystème maquette, représenter par le geste est associé aux processus de *Synthesis* et *Reformulation 2*, alors qu'il a tendance à être associé aux processus *d'Evaluation* et *Analysis* dans le Hyve-3D. Le même geste a tendance à être utilisé pour une fonction différente dans ces deux écosystèmes. Pour le Hyve-3D, l'action de pointer pour faire référence à un objet n'est pas dominante ce qui peut s'expliquer par l'immersion des participants dans le projet, et la possibilité de naviguer dans l'espace virtuel du projet. Ces deux fonctions peuvent réduire l'ambiguïté liée à l'objet de la discussion. Dans une étude de sessions critiques en studio d'architecture dans l'IVE (*Immersive Virtual Environment*), Sopher, Kalay, & Fisher-Gewirtzman (2017) ont observé que l'utilisation de cet écosystème de représentations enrichit la discussion, notamment grâce à la fonction de ballade dans la maquette numérique du projet de l'étudiant.

L'immersion dans le projet, la navigation et la représentation d'une expérience spatiale par la maquette numérique sont possibles par l'utilisation de la RV dans le cadre du studio. Par exemple, l'utilisation du CAP VR en studio de projet a eu un effet sur la qualité du projet et sur le processus de conception des étudiants. L'analyse de ces sessions en studio a montré que les étudiants ayant utilisé le CAP VR ont produit des projets avec une meilleure qualité spatiale (Angulo, 2015).

Contrairement au Hyve-3D, les écosystèmes de représentations proposés par le CAP VR et l'IVE ne proposent pas la possibilité de dessiner, ce qui nous semble être une limite de ces environnements. En effet, même si cette action n'est pas dominante durant la session critique, l'action de dessiner est associée aux processus de propositions de solutions (*Synthesis*) et de reformulation des intentions de projet (*Reformulation 2*), qui sont au cœur de l'activité de pratique réflexive.

En résumé, nous avons vu que chaque écosystème de représentations étudié possède des qualités pour accompagner la pratique réflexive mentorée pendant la session critique. Dans chacune des sessions critiques, nous avons observé différents moments pédagogiques. Les écosystèmes de représentations utilisés soutiennent tous la collaboration entre les participants et permettent à chacun de s'exprimer dans sa pratique réflexive. Nous avons tout de même observé des divergences de comportements des participants pour chaque cas, liés à la prévalence de certaines actions sur d'autres et à la fonction de ces actions dans la pratique réflexive mentorée de la critique.

L'action de dessiner pendant la session critiques semble essentielle pour favoriser la collaboration, la communication et la conception, de même que le geste de représentation spatiale, qui pourra pallier la difficulté de représenter par le dessin un élément dynamique du projet. La flexibilité de la maquette de concept, que l'on peut facilement modifier, aura les mêmes qualités que le dessin en ce qui concerne l'exploration d'idées. L'immersion dans le dessin, offrant une représentation à l'échelle 1 de l'espace, favorise l'expérience sensorielle du projet.

L'utilisation de représentations descriptives du projet, qui s'associe plutôt à la deuxième partie du studio de projet avec la production de plans et coupes à une échelle architecturale, est cohérent avec l'utilisation d'un écosystème de représentations moins flexible (plans et coupes 1/100, maquette CAO) et sera plus adaptée au développement de la solution de projet.

7.3 Implications : proposition pédagogique pour la session critique en studio de projet

La troisième contribution du travail de thèse alimente la question de la pédagogie en studio de projet, et principalement la question de l'innovation numérique liée aux évolutions des représentations du projet dans l'écosystème de représentations. Comme nous l'avons expliquer dans l'introduction, le travail présenté porte une dimension prospective de proposition de scénario pédagogique incluant CORAULIS comme écosystème de représentations pour le studio de projet et les sessions critiques dans le cas concret de l'Ensa Nantes.

Pour avancer dans cette prospective, nous synthétiserons le déroulé général du studio de projet. Ensuite, nous appuierons certaines caractéristiques de l'écosystème de représentations qui nous semble importantes dans le cadre des sessions critiques, avant de proposer un scénario d'utilisation de l'écosystème de représentations CORAULIS pour un studio de projet à l'Ensa Nantes.

7.3.1 Organisation du studio

Après l'étude de plusieurs curriculums de studios de projet, nous pouvons synthétiser de manière non exhaustive les activités et représentations utilisées pour chaque semaine du studio (Tableau 26).

Le format général est souvent le même. La première séance sert de lancement au studio. Les deux suivantes sont focalisées sur l'analyse du site de projet où les étudiants sont invités à utiliser des cartes, plans urbains, schémas et croquis. Les trois semaines qui suivent servent au développement du concept du projet à l'aide de maquettes concepts (1/500ème, 1/200ème), de schémas et de croquis d'intentions. Au milieu du semestre, un rendu de la stratégie concept est organisé sous forme d'un jury pour valider le concept architectural. À cette période, un voyage d'étude est souvent proposé. Les trois semaines suivantes sont dédiées au développement du projet, et les deux d'après au développement en détail d'une partie du projet, par exemple un logement ou un équipement. La dernière semaine est le rendu final où la performance de l'étudiant est notée et conditionne la validation du semestre.

Tableau 26 Déroulé général du studio basé sur une synthèse de 4 studios de l'Ensa Nantes

Semaine studio	Activité	Représentations
1	Lancement	*
2	Analyse site	cartes, schémas, croquis
3	Analyse site	cartes, schémas, croquis
4	Stratégie concept	maquettes, schémas, croquis
5	Stratégie concept	maquettes, schémas, croquis
6	Stratégie concept	maquettes, plans, coupes
7	Rendu intermédiaire	maquettes, plans, coupes
8	Voyage étude	*
9	Stratégie projet	maquettes, plans, coupes
10	Stratégie projet	maquettes, plans, coupes
11	Stratégie projet	maquettes, plans, coupes
12	Stratégie détail	maquettes, plans, coupes
13	Stratégie détail	maquettes, plans, coupes
14	Rendu	maquettes, plans, coupes

Ledewitz (1985) formalise le modèle général du studio sous le principe analyse > synthèse. Ce modèle, très répandu en studio propose une période d'analyse de site, de programme, du contexte qui est une sorte de prérequis à la conception du projet. Ensuite, les étudiants se focalisent sur le concept, avec des propositions de projet, où il y a des allers-retours entre concept et analyse. Ce modèle est similaire à celui que nous avons synthétisé en nous basant sur quelques curriculums de studio de projet. Pour Ledewitz (1985), cette structuration du studio ne favorise pas l'intégration entre analyse et synthèse. La discontinuité entre analyse et synthèse ne fait que renforcer la difficulté des étudiants à acquérir cette compétence du concepteur expert de pouvoir naviguer entre espace problème et espace solution, d'entrer dans l'activité de conception par la coévolution de l'analyse, la synthèse et la reformulation des intentions. Les étudiants novices peinent souvent à donner un sens aux informations d'analyse qu'ils produisent pour alimenter la formulation d'un concept de projet (Cross, 2004).

La proposition de Ledewitz (1985) est de mettre en place un modèle de type concept > test, qui implique la proposition de plusieurs solutions concepts dès le début du studio, qui sont par la suite analysées en parallèle du site, du contexte et du programme. L'enjeu pédagogique est de créer chez les étudiants le besoin de faire l'analyse pour avancer et de générer

un processus itératif d'auto-évaluation du projet. L'autocritique est suscitée, pour que les étudiants soient dans une dynamique réflexive sur leur projet. Pour l'auteur, l'application de ce modèle permet de s'approcher plus facilement du processus de réflexion-dans-l'action de la pratique réflexive (Schön, 1983). Ce modèle fait également écho à la notion de *primary generator* (Darke, 1979), où une pré-solution conceptuelle permet le recadrage du problème de conception.

Nous avons distingué deux phases dans le studio, la première partie visant au développement du concept et la seconde ayant pour objectif de développer le projet sur ce concept. Le modèle de Ledewitz (1985) nous semble approprié pour la première partie du studio, pour le développement du concept. Cette première phase appelle à un écosystème de représentations qui soit flexible, et laisse place à l'abstraction et à l'ambiguïté dans la représentation pour favoriser l'exploration d'idées (Goel, 1995). La deuxième phase du studio est focalisée sur le développement du projet qui doit être représenté par des éléments graphiques descriptifs et conventionnels (plans, coupes), ce qui suggère un écosystème de représentations différent par rapport à la première phase.

7.3.2 CORAULIS et le paradigme WIM (*World in Miniature*)

CORAULIS combine une représentation égocentrée sur un écran immersif et une représentation allocentrée à travers une maquette et / ou un plan augmenté. Dans cette configuration, un modèle numérique unique sert de source pour la projection immersive et la projection sur les objets physiques de l'écosystème de représentations (Milovanovic *et al.*, 2017) par des techniques de Réalité Augmentée Spatiale (Raskar *et al.*, 1998). Nous considérons l'écosystème de représentations de CORAULIS comme une illustration de la métaphore WIM (*World in Miniature*), proposée par Stoakley, Conway, & Pausch (1995). Dans le paradigme WIM, une vue exocentrée et allocentrée du projet est affichée dans le monde virtuel. Le concept vise à faciliter la manipulation d'objets 3D dans l'environnement virtuel en représentant une réplique miniature de la scène grandeur nature visualisée dans un casque HMD. Les utilisateurs peuvent interagir de manière fluide avec les objets des deux représentations et la métaphore WIM permet une meilleure visualisation de l'espace. Au sein de CORAULIS, les répliques miniatures, maquettes ou plans / coupes, pourront être augmentées et la vue égocentrée sera projetée à l'échelle 1 sur l'écran immersif (Figure 138).

Dans l'étude avec l'utilisation de la LPT (*Luminous Planning Table*) comme écosystème de représentations, Ishii & Ben-Joseph (2002) proposent une future utilisation de la LPT qui reprend le paradigme WIM (Figure 139). Dans ce cas, une caméra est placée au niveau de la maquette physique, et ce qui est filmé est ensuite projeté sur un écran vertical. L'intérêt est d'apporter deux vues du projet, égocentrée et allocentrée, sur lesquelles des données de simulations d'ambiances (vents, circulations, ombres) sont visualisées. Notre proposition pour CORAULIS est analogue à celle-ci et inclut l'immersion visuelle dans la représentation à vue d'homme.

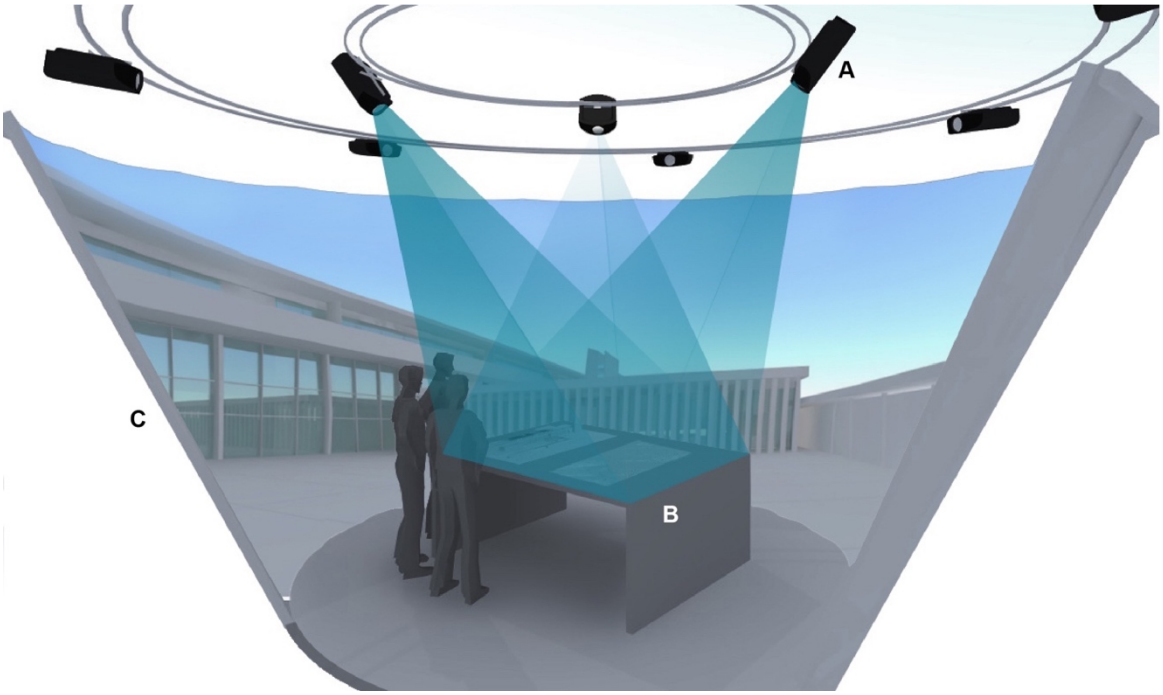


Figure 138 Configuration proposé pour CORAULIS (A : projecteurs pour la SAR, B : plans / coupes augmentés et maquette, C : écran immersif)

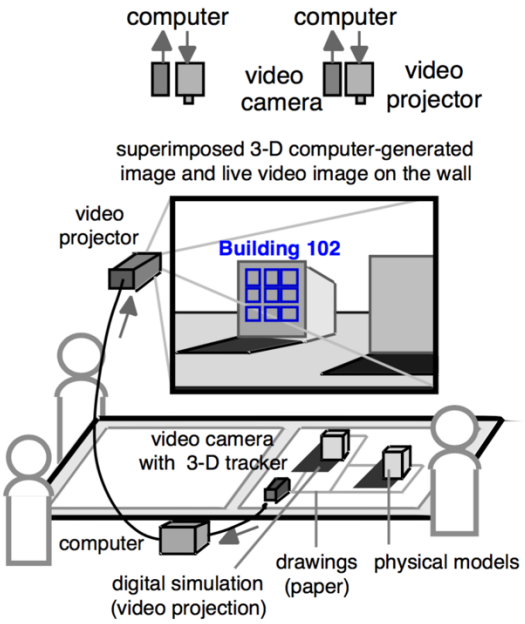


Figure 139 Proposition pour un futur développement de la LPT (Ishii & Ben-Joseph, 2002)

Nous avons vu que dans nos cas d'étude, de manière générale, les transitions entre points de vue des représentations sont peu fréquentes. Le changement de dimensions de représentation (2D/3D) est plus élevé dans les écosystèmes traditionnels et Hyve-3D que dans les autres (rapport de 1 à 10). Nous pensons que la configuration de CORAULIS pourrait inviter à plus de navigation entre points de vue et dimensions. Ce mouvement de *switching* entre différentes représentations est, selon Shih, Sher, & Taylor (2017), un marqueur de la coévolution entre l'espace problème et solution, et supporte plusieurs fonctions (recherche d'informations, nouvelle tâche dans la conception, optimisation du processus de réflexion).

La fragmentation des représentations du projet permet au concepteur de se focaliser sur un élément apparaissant sur un type de représentation (Estevez, 2001) ce qui est cohérent avec les processus de réflexion qu'il met en place : synthétiques et analytiques. Chaque type de représentation aura des qualités différentes. Les représentations en plan et coupe en 2D ont l'intérêt de représenter l'organisation spatiale et la fonctionnalité du projet. La représentation en 3D perspective en vue allocentrée offre une vue synthétique du projet et permet de voir la relation avec le contexte. La représentation en perspective à vue d'homme donne une synthèse augmentée d'éléments du projet qui inclut la dimension d'expérience sensible (Elsen & Heylighen, 2014). La représentation du projet est immersive, à échelle 1, et permet une meilleure compréhension de l'impact de l'objet et favorise un processus

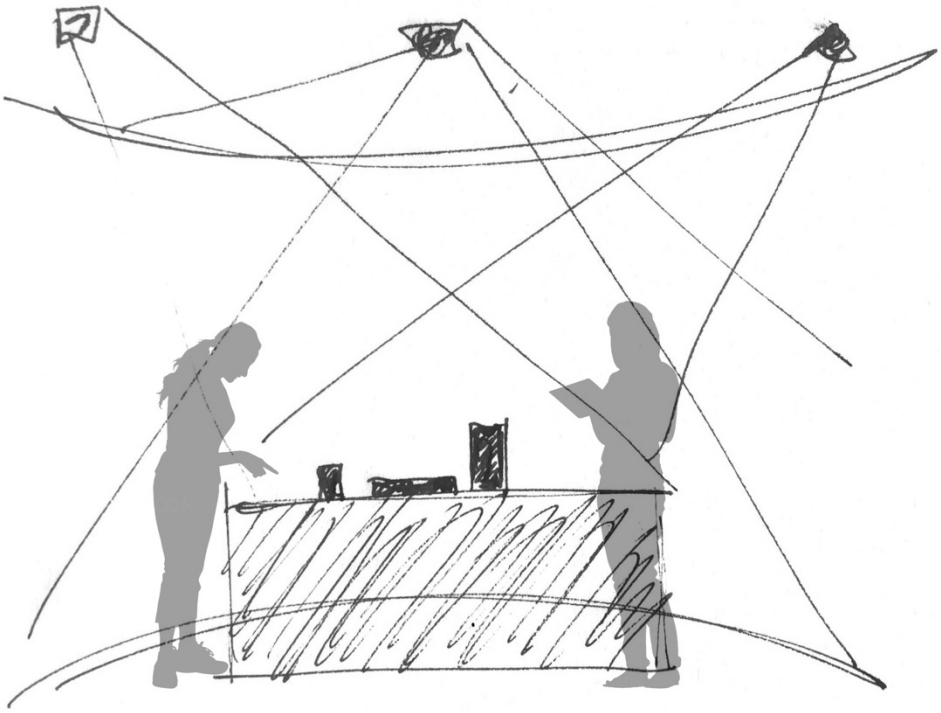
d'évaluation et de prise de décisions intuitives et en temps réel (Dorta, Kinayoglu, & Boudhraa, 2016).

Nous proposons deux configurations de CORAULIS (Figure 140) : la première pour accompagner la phase itérative concept > test et la deuxième pour soutenir le développement du projet. Nous avons défini chacune de ces configurations par rapport aux critères caractérisant l'écosystème de représentations (Tableau 27).

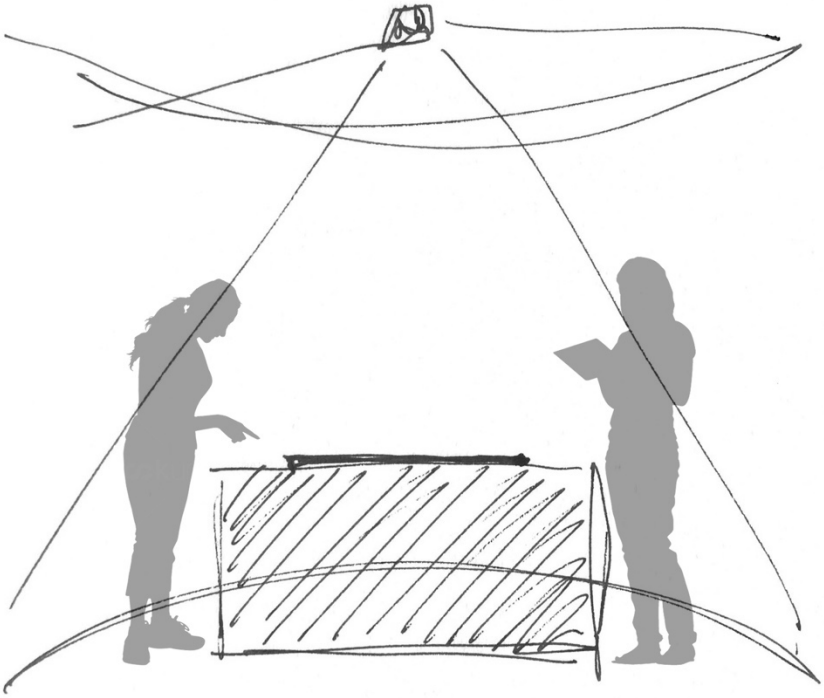
Dans chacune des configurations, nous proposons d'interfacer le logiciel Hyve-3D avec la plateforme CORAULIS. L'écran immersif de CORAULIS sera le support de projection de l'environnement virtuel Hyve-3D et sera contrôlé avec le curseur 3D (iPad) de la même manière que dans le Hyve-3D. Dans la première configuration, la représentation immersive et l'interface de dessin immersif proposées par le logiciel Hyve-3D, seront accompagnées de maquettes concepts augmentées avec des informations contenues et/ou générées dans l'environnement virtuel Hyve-3D (Figure 140(a)). Dans la deuxième configuration, les maquettes conceptuelles sont remplacées par des plans et coupes, papiers ou numériques (projetés sur la table) (Figure 140(b)). Dans ce cas, le dessin 3D s'effectue dans l'espace immersif par l'interface du curseur 3D et les dessins 2D sur les plans et coupes.

Tableau 27 Caractérisation des écosystèmes de représentations de CORAULIS dans les configurations proposées

	CORAULIS configuration 1 : logiciel Hyve-3D et maquettes augmentées	**CORAULIS configuration 2 : logiciel Hyve-3D , plans et coupes**
Matérialités	Numérique / analogue	Numérique / analogue
Dimensions	2D (curseur 3D) 3D (écran immersif et maquette)	2D (curseur 3D et plans / coupes) 3D (écran immersif)
Échelles / points de vue	Échelle dynamique Égocentré Allocentré	Échelle dynamique + échelles architecturales fixes Égocentré Allocentré
Interactions / manipulation	Pointer Dessiner Naviguer Geste	Pointer Dessiner Naviguer Geste
Synchronisation	2D (curseur 3D) et 3D (écran immersif) synchronisé	2D (curseur 3D) et 3D (écran immersif) Synchronisé



(a)



(b)

Figure 140 (a) Proposition d'utilisation de CORAULIS pour la phase 1 : maquette augmentée, croquis 3D augmentés avec l'interface Hyve-3D, (b) Proposition d'utilisation de CORAULIS pour la phase 2 : plan papier ou numérique, croquis 3D augmentés avec l'interface Hyve-3D.

Pour chacune de ces configurations, les deux vues proposées, égocentrée sur l'écran immersif et allocentrée sur la table centrale (maquette ou plans) peuvent être augmentées par des données d'ambiance tirées de l'analyse du site comme l'ensoleillement, les flux aérauliques, les mobilités (transport, flux piétons, circulation automobile). Le projet LPT (Ben-Joseph *et al.*, 2001; Ishii & Ben-Joseph, 2002) proposait la visualisation de ce type de données sur les maquettes des étudiants de manière à réduire la charge cognitive mobilisée par ceux-ci pendant le processus de conception en facilitant la synthèse entre les éléments d'analyse et d'intentions de projet. L'enjeu est similaire dans le projet *Collaborative Design Platform* (CDP) où des données urbaines sont projetées sur une table interactive, sur laquelle les concepteurs développent leur concept par le biais de maquette d'étude (Schubert, 2014; Schubert, Strobel, & Petzold, 2016). Dans ces deux exemples, les données sont uniquement visualisées sur la vue allocentrée. Dans les configurations de CORAULIS, nous proposerons une visualisation de ces données sur nos deux vues, allocentrée et égocentrée. L'enjeu technique lié à la visualisation de données d'ambiance urbaine dans un environnement en Réalité Virtuelle est traité dans plusieurs travaux de thèse du laboratoire AAU-Crenau[12].

À travers ces deux types de configurations nous cherchons une correspondance entre l'activité du studio et le type d'écosystème de représentations le mieux adapté pour cette tâche. Pour la première partie du studio, avec la mise en place de l'approche concept > test, il est important de conserver un écosystème de représentations flexible, avec l'utilisation principale du dessin 3D et des maquettes d'étude. L'écosystème de représentations proposé doit être accessible aux étudiants en dehors du studio, pour qu'il ne soit pas seulement utilisé pendant les sessions critiques mais aussi lors des sessions de conception autonomes des étudiants. Les représentations du projet, maquettes concepts et esquisse 3D immersives, augmentées d'informations d'analyse du site formalisent l'association entre analyse et

[12] T. Vigier, thèse soutenue (2015) sur la Suggestion et perception des ambiances climatiques dans les environnements virtuels urbains.
https://aau.archi.fr/theses/suggestion-et-perception-des-ambiances-climatiques-dans-les-environnements-virtuels-urbains/ consulté le 19/06/2019

M. Spur, thèse en cours sur Visualisation of multi layered spatio-temporal 3D urban datasets.
https://aau.archi.fr/theses/visualisation-of-multi-layered-spatio-temporal-3d-urban-datasets/ consulté le 19/06/2019

G. Giraldo, thèse en cours sur La eprésentation sensible du vent à l'aide d'un environnement virtuel.
https://aau.archi.fr/theses/vers-une-representation-sensible-du-vent-a-laide-dun-environnement-virtuel/ consulté le 19/06/2019

synthèse, qui tend à être dissociée dans le format actuel du studio. La flexibilité d'exploitation du dessin en 3D et de la maquette d'étude sera appropriée pour induire la navigation entre espace problème et espace solution, ainsi que la navigation entre différents points de vue sur le projet.

La navigation dans l'écosystème de représentations est un outil pédagogique permettant d'assurer une meilleure communication entre les participants à la session critique (Schön, 1981) et supportant la coévolution de l'espace de conception (Shih, Sher, & Taylor, 2017) qui est une caractéristique saillante de l'activité de conception. De plus, l'utilisation du dessin en perspective, d'une vue égocentrée (vue d'homme), et de la visualisation de données d'ambiances pourra renforcer la relation entre l'expérience sensible de l'espace (*felt-paths*) et la spatialité du projet. En effet, la relation entre espace projeté et expérience sensible de cet espace est superficielle pour les étudiants par leur manque d'expérience. L'immersion dans l'environnement virtuel de leur projet pourra pallier ce manque.

La deuxième phase du studio vise au développement du concept de projet, validé lors du jury intermédiaire de milieu de semestre. Cette activité sera différente de la première partie du studio car elle implique la production de plans et coupes descriptives du projet, produites sur un logiciel de CAO. Une maquette numérique 3D peut également être exploitée. Ces représentations sont plus précises, moins ambiguës que les représentations utilisées dans la première partie. La configuration proposée dans CORAULIS avec l'utilisation de l'environnement virtuel Hyve-3D permet l'utilisation de la maquette CAO comme représentation immersive. Durant la session, les participants ont la possibilité d'annoter ou de modifier le projet par le dessin immersif avec le curseur 3D du Hyve-3D. Les documents en 2D (plans et coupes) sont projetés ou placés au centre de la table. Les participants ont la possibilité d'annoter et de dessiner sur ces documents, dans le cas de plans numériques, avec une interface de type table interactive, similaire à l'interface proposée dans le SDC.

Lors du workshop Hyve-3D, les étudiants ont passé la première journée à travailler leur projet, présenté le lendemain, en utilisant avec le Hyve-3D et leur logiciel de modélisation (Sketch Up). La transition de l'un à l'autre est fluide par la possibilité d'exporter les dessins générés dans le Hyve-3D dans un logiciel de CAO et à l'inverse de charger une maquette CAO dans le Hyve-3D. Nous avons souligné l'importance du dessin pour la session critique et la prévalence d'exploitation de ce mode de communication en fonction de l'acteur (étudiant dans l'écosystème de représentations Hyve-3D avec le dessin 3D et enseignant dans

l'écosystème de représentations traditionnel et SDC avec le dessin en 2D sur plan). L'intérêt de la configuration proposée est la combinaison de ces deux modes d'expression par le dessin.

L'écosystème de représentations proposé dans CORAULIS a la capacité de s'adapter à la temporalité du studio et aux tendances d'interactions avec l'écosystème de représentations en fonction des acteurs.

Nous avons proposé dans cette section un scénario pédagogique utilisant le dispositif CORAULIS. Il pourra être mis en place et expérimenté dans une future étude pour analyser l'effet de l'utilisation de cet écosystème de représentations sur la pratique réflexive mentorée de sessions critiques situées dans les configurations proposées de CORAULIS. La méthode que nous proposons pourra être utilisée pour mesurer l'engagement des étudiants dans la session critique, leur rôle dans la pratique réflexive de la session et leur utilisation de l'écosystème de représentations proposé. Notre hypothèse est que le dispositif proposé, intégrant plusieurs interfaces de dessin (2D et 3D), l'utilisation de maquettes concepts augmentées, et d'une représentation immersive à échelle 1 pourra favoriser l'engagement des étudiants dans la session critique, les pousser à la navigation entre espace problème et espace solution par la mise en place de processus de synthèse, d'évaluation et de reformulation de leurs intentions de projet.

7.4 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons développé les trois contributions de ce travail de thèse. La première contribution est théorique et méthodologique. Nous avons proposé un modèle descriptif de la pratique réflexive mentorée pour décrire la situation de la session critique : le modèle de co-conception situé FBS. Ce modèle peut être utilisé dans d'autres situations où une activité de co-conception est présente. La portée de ce modèle est son évolutivité et son adaptabilité.

La seconde contribution est liée à l'étude de cas présentée qui nous a permis de définir de manière empirique certaines caractéristiques de la pratique réflexive mentorée pendant les sessions critiques en studio de projet en architecture et de mesurer l'effet de l'utilisation de quatre écosystèmes de représentations différents.

Enfin, notre dernière contribution est la proposition d'un scénario pédagogique qui pourra être mis en place à l'Ensa Nantes. L'utilisation de la plateforme CORAULIS comme écosystème de représentations, associé au logiciel Hyve-3D, offrirait un environnement de session critique qui accompagnerait chacune des phases du studio et proposerait un écosystème de représentations qui pourrait enrichir les processus de conception collaborative lors des sessions critiques.

Chapitre 8 Conclusion générale

L'objectif de la thèse a été de définir un modèle de la pratique réflexive mentorée, notion que nous proposons pour décrire la situation d'apprentissage de la conception en studio de projet. Apprendre à concevoir un projet d'architecture est l'objectif pédagogique au cœur de l'enseignement en école d'architecture. L'apprentissage par le faire, mentorée lors des sessions critiques hebdomadaires, est essentiel pour former les étudiants à la conception du projet. Nous nous sommes focalisés sur l'effet de la modification de l'écosystème de représentations sur la pratique réflexive mentorée. Nous en avons étudié quatre : traditionnel, maquette grande échelle, Hyve-3D et SDC. L'analyse comparative de ces cas d'étude nous a permis de synthétiser des tendances de comportements des participants durant la session critique, et de décrire la manière dont les étudiants et enseignants manipulent les représentations du projet. Cette étude exploratoire est un point de départ dans le développement d'un scénario pédagogique intégrant le nouvel équipement CORAULIS, et pouvant être mis en place à l'Ensa Nantes dans les années à venir.

Les limites de ce travail ont été évoquées dans le corps du document. Notre analyse compare des sessions critiques très diverses : l'encadrement pédagogique est différent pour chaque cas, les sessions se situent à différentes phases d'avancement du projet, les programmes des projets sont variés de même que la longueur des sessions et le nombre de participants. Cette hétérogénéité de nos cas est liée aux conditions d'observation *in vivo* qui subissent les aléas de la vie du studio, et à ma position dans les studios de projet observés. Ne faisant pas partie de l'encadrement des studios, il a été difficile de gérer certains éléments comme la temporalité des sessions critiques, l'utilisation un écosystème de représentations particulier et la mise en place d'un protocole expérimental précis (entretien ou questionnaire après chaque session). L'élément positif de cette position a été la relation de confiance qui s'est établie avec les étudiants, qui se sont sentis libres de s'exprimer sur leur ressenti lors des sessions critiques.

Les délais de réalisation de CORAULIS et le manque de visibilité sur sa construction a été un frein à la mise en place d'observations maitrisées dans un cas alternatif, effectuées avec un protocole expérimental défini. Cependant, ce contretemps a été un réel moteur dans le

développement de mobilités de recherche à Montréal et à Charlotte, qui ont enrichi le travail présenté ici.

Pour ce travail de thèse, nous avons tenté de mesurer les processus cognitifs des étudiants et des enseignants pour avoir une meilleure compréhension de leur activité durant la session critique. Un enjeu actuel de la recherche en science du design est d'explorer la corrélation entre une activation neurophysiologique et des processus cognitifs de conception (Vieira *et al.*, 2019 ; Shealy, Hu & Gero, 2018; Alexiou *et al.*, 2009). La définition du champ de recherche *design neurocognition* est en cours et nous souhaitons y participer. Lors d'un court séjour de recherche en février 2019[13] dans le laboratoire DEPICT LAB[14] à l'Université Technologique de Lulea (Suède) sous la supervision de Dr Torlind et coordonné par le Professeur Gero, nous nous sommes familiarisés avec l'enregistrement simultané de données neurophysiologiques (EEG), oculométriques et d'émotions (logiciel Affdex) lors d'une tâche de conception. L'utilisation combinée de méthodes et d'outils issus des sciences cognitives et neurophysiologiques apportent de nouvelles perspectives pour étudier la conception, la co-conception et l'apprentissage de la conception. Nos futures travaux s'orientent sur l'exploration de la conception et de l'apprentissage de la conception par l'analyse des processus cognitifs et marqueurs neurophysiologiques des concepteurs en situation de conception.

[13] Financé par la bourse DRS (*Design Research Society*) et la bourse de mobilité École Doctorale SPI.
[14] https://www.ltu.se/org/ets/Verksamhet/Laboratorium-och-utrustning/Depict-Lab?l=en consulté le 26/06/2019

Bibliographie

Adams, R. S., Forin, T., Chua, M., & Radcliffe, D. (2016a). Characterizing the work of coaching during design reviews. *Design Studies*, *45*, 30–67. https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.12.007

Adams, R. S., Forin, T., Chua, M., & Radcliffe, D. (2016b). Making visible the "how" and "what" of design teaching. In R. Adams & J. A. Siddiqui (Eds.), *Analyzing design review conversations* (Purdue University Press). West Lafayette, Indiana.

Adams, R. S., & Siddiqui, J. A. (Eds.). (2016). *Analyzing design review conversations* (Purdue University Press). West Lafayette, Indiana.

Alexiou, K., Zamenopoulos, T., Johnson, J. H., & Gilbert, S. J. (2009). Exploring the neurological basis of design cognition using brain imaging: Some preliminary results. *Design Studies*, *30*(6), 623-647. https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.05.002

Angulo, A. (2015). Rediscovering Virtual Reality in the Education of Architectural Design: The immersive simulation of spatial experiences. *Ambiances. Environnement Sensible, Architecture et Espace Urbain*.

Angulo, A., & Vasques deVelasco, G. (2013). *Immersive Simulation of Architectural Spatial Experiences*. Presented at the SIGRADI.

Angulo, A., & Vasquez de Velasco, G. (2016). *The Instructional Virtual Sketching Method in support of VR Immersive Simulation Studios*. Presented at the Design Communications Association Conference, Montana, USA.

Anthony, K. H. (1991). *Design juries on trial: the renaissance of the design studio* (Van Nostrand Reinhold).

Arias, E., Eden, H., Fischer, G., Gorman, A., & Scharff, E. (2000). Transcending the individual human mind creating shared understanding through collaborative design. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, *7*(1), 84–113. https://doi.org/10.1145/344949.345015

Azuma, R. (1997). A survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *6*(5), 355–385.

Barrett, T. (2000). Studio Critiques of Student Art: As They Are, as They Could Be with Mentoring. *Theory Into Practice*, *39*(1), 29–35.

Belcher, D., & Johnson, B. (2008). MxR: A Physical Model-Based Mixed Reality Interface for Design Collaboration, Simulation, Visualization and Form Generation. *Proceedings of the 28th ACADIA Conference*, 464–471.

Ben-Joseph, E., Ishii, H., Underkoffler, J., Piper, B., & Yeung, L. (2001). Urban simulation and the luminous planning table bridging the gap between the digital and the tangible. *Journal of Planning Education and Research*, *21*(2), 196–203.

Bertol, D., & Foell, D. (1997). *Designing digital space : An architect's guide to virtual reality* (Wiley). New York.

Bilda, Z., Gero, J. S., & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies*, *27*(5), 587–613. https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.02.002

Blanchet, A., & Gotman, A. (1992). *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*. Paris: Nathan Université.

Bott, M., & Mesmer, B. (2019). *Determination of Function-Behavior-Structure Model Transition Probabilities from Real-World Data*. Presented at the AIAA Scitech 2019 Forum, San Diego, California.

Boudhraa, S., Dorta, T., Milovanovic, J., & Pierini, D. (2019). Co-ideation critique unfolded: an exploratory study of a co-design studio 'crit' based on the students' experience. *CoDesign*, *15*(1). https://doi.org/10.1080/15710882.2019.1572765

Brandt, C. B., Cennamo, K., Douglas, S., Vernon, M., McGrath, M., & Reimer, Y. (2013). A theoretical framework for the studio as a learning environment. *International Journal of Technology and Design Education*, *23*(2), 329–348. https://doi.org/10.1007/s10798-011-9181-5

Brocato, K. (2009). Studio Based Learning: Proposing, Critiquing, Iterating Our Way to Person-Centeredness for Better Classroom Management. *Theory Into Practice*, *48*(2), 138–146. https://doi.org/10.1080/00405840902776459

Cardella, M. E., Atman, C. J., & Adams, R. S. (2006). Mapping between design activities and external representations for engineering student designers. *Design Studies*, *27*(1), 5–24. https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.05.001

Cardoso, C., Eriş, Ö., Badke-Schaub, P., & Aurisicchio, M. (2014). *Question asking in design reviews: how does inquiry facilitate the learning interaction?* Presented at the Design Thinking Research Symposium 10, Purdue University

Carpo, M. (2013). *The digital turn in architecture 1992-2012*. UK: John Wiley & Sons.

Carpo, M. (2017). *The second digital turn: design beyond intelligence*. MIT Press.

Cennamo, K., & Brandt, C. (2012). The "right kind of telling": knowledge building in the academic design studio. *Educational Technology Research and Development*, *60*(5), 839–858.

Chung, D. H. J., Zhiying, S. Z., Karlekar, J., Schneider, M., & Lu, W. (2009). Outdoor mobile augmented reality for past and future on-site architectural visualizations. *Joining Languages, Cultures and Visions: CAADFutures*, *2009*, 557–571.

Clark, H. H., & Brennan, S. E. (1991). Grounding in communication. In L. B. Resnick, J. M. Levine, & S. D. Teasley (Éd.), *Perspectives on socially shared cognition* (American Psychology Association, p. 127-149). Washington.

Clark, H. H., & Wilkes-Gibbs, D. (1986). Referring as a collaborative process. *Cognition*, *22*, 1–39.

Collins, A., Brown, J. S., & Holum, A. (1991). Cognitive apprenticeship: Making thinking visible. *American Educator*, *15*(3), 6–11.

Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1987). *Cognitive apprenticeship : teaching the craft of reading, writing and mathematics* (No. 403; pp. 1–37). University of Illinois, Urbana-Champaign: Center for the Stydy of Reading.

Cross, N. (2004). Expertise in design: an overview. *Design Studies*, *25*(5), 427–441. https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.06.002

Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing*. London: Springer.

Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety* (Jossey-Bass). San Fransisco, California.

Cuff, D. (1991). *Architecture: the story of practice*. Cambridge Massachussets: MIT Press.

Curry, T. (2014). A theoretical basis for recommending the use of design methodologies as teaching strategies in the design studio. *Design Studies*, *35*(6), 632–646. https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.04.003

Dannels, D. P., & Martin, K. N. (2008). Critiquing Critiques: A Genre Analysis of Feedback Across Novice to Expert Design Studios. *Journal of Business and Technical Communication*, *22*(2), 135–159. https://doi.org/10.1177/1050651907311923

Darke, J. (1979). The primary generator and the design process. *Design Studies*, *1*(1), 36–44. https://doi.org/10.1016/0142-694X(79)90027-9

Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception. *Le travail humain*, *72*(1), 43. https://doi.org/10.3917/th.721.0043

Darses, F., Détienne, F., Falzon, P., & Visser, W. (2001). *COMET. A method for analysing collective design processes* (No. RR-4258). INRIA.

Defays, A., Jeunejean, A., & Giboin, A. (2014). Impact de la médiatisation technologique sur la mobilisation des modalités non-verbales dans les références démonstratives. *Symposium COMMON'14 (Communication Multimodale et Collaboration Instrumentée)*, 89–101. Liège, Belgium.

Dennen, V. P., & Burner, K. J. (2008). The Cognitive Apprenticeship Model in educational Practice. In M. J. Spector, D. M. Merrill, J. van Merrienboer, & M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 813–828). Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.

Détienne, F., Visser, W., & Tabary, R. (2006). Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative. *Psychologie de l'interaction*. L'Harmattan, 283-307.

Dewey, J. (1938). *Experience and education*. New York: Kappa Delta Pi.

Dinham, S. M. (1989). Teaching as design: theory, research and implications for design teaching. *Design Studies*, *10*(2), 80–88.

Do, E. Y.-L. (2005). Design sketches and sketch design tools. *Knowledge-Based Systems*, *18*(8), 383–405. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2005.07.001

Donath, D., & Regenbrecht, H. (1999). Using immersive Virtual Reality systems for spatial design in architecture. *AVOCAAD'99 Conference Proceedings*, 307–318.

Dong, A., Garbuio, M., & Lovallo, D. (2016). Generative sensing in design evaluation. *Design Studies*, *45*, 68–91. https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.01.003

Dorst, K., & Cross, N. (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution. *Design Studies*, *22*(5), 425–437. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6

Dorta, T. (2007). Implementing and assessing the hybrid ideation space: a cognitive artefact for conceptual design. *International Journal of Design Sciences and Technology*, *14*(2), 119–134.

Dorta, T. (2008). Design flow and ideation. *International Journal of Architectural Computing*, *6*(3), 299–316.

Dorta, T, Kalay, Y., Lesage, A., & Pérez, E. (2011a). Comparing Immersion in Collaborative Ideation through Design Conversations, Workload and Experience. *ACADIA Conference Proceedings*. Presented at the Banff, Canada. Banff, Canada.

Dorta, T., Kalay, Y., Lesage, A., & Pérez, E. (2011b). Design conversations in the interconnected HIS. *International Journal of Design Sciences and Technology*, *18*(2), 65–80.

Dorta, T., & Kinayoglu, G. (2014). Towards a new representational ecosystem for the design studio. *Proceedings of the 19th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research*, 699–708.

Dorta, T., Kinayoglu, G., & Boudhraa, S. (2016). A new representational ecosystem for design teaching in the studio. *Design Studies*, *47*, 164–186. https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.003

Dorta, T., Kinayoglu, G., & Hoffmann, M. (2014). Hyve-3D: a new embodied interface for immersive collaborative 3D sketching. *SIGGRAPH 2014*, 1–1. https://doi.org/10.1145/2619195.2656325

Dorta, T., Kinayoglu, G., & Hoffmann, M. (2015). Hyve-3D and rethinking the "3D cursor": unfolding a natural interaction model for remote and local co-design in VR. *ACM SIGGRAPH 2014 Studio*, 1–1. https://doi.org/10.1145/2785585.2785586

Dorta, T., Kinayoglu, G., & Hoffmann, M. (2016). Hyve-3D and the 3D Cursor: Architectural co-design with freedom in Virtual Reality. *International Journal of Architectural Computing*, *14*(2), 87–102.

Dorta, T., Lesage, A., & Bartolo, C. D. (2012). Collaboration and Design Education Through the Interconnected HIS: Immature vs. Mature CI Loops Observed Through Ethnography by Telepresence. *Proceedings of the 30th ECAADe Conference*, 97–105. Prague, Czech Republic.

Dorta, T., & Pérez, E. (2006). Immersive Drafted Virtual Reality. *Proceedings of the 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture*. Presented at the Synthetic Landscapes, Louisville, Kentucky.

Dorta, T., Pérez, E., & Lesage, A. (2008). The ideation gap: hybrid tools, design flow and practice. *Design Studies*, *29*(2), 121–141. https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.004

Dreyfus, S. E., & Dreyfus, H. L. (1980). *A five-stage model of the mental activities involved in directed skill acquisition*. California Univ Berkeley Operations Research Center.

Dumez, H. (2016). *Méthodologie de la recherche qualitative* (2ème edition). Vuibert.

Dutton, T. A. (1987). Design and Studio Pedagogy. *Journal of Architectural Education (1984-)*, *41*(1), 16. https://doi.org/10.2307/1424904

Eastman, C. (1969). *Cognitive processes and ill-defined problems: a case study from design*. 669–690. Washington, DC.

Eastman, C. (1970). On the Analysis of Intuitive Design Processes. In G. T. Moore (Ed.), *Emerging Methods in Environmental Design and Planning* (pp. 21–37). Cambridge, MA, USA: MIT Press.

Elsen, C., & Heylighen, A. (2014). Representations of sensory experiences in the early phases of architectural design: there is more than meets the eye. *J. of Design Research*, *12*(4), 239. https://doi.org/10.1504/JDR.2014.065846

Elsen, C., & Leclercq, P. (2008). "SketSha" – The Sketch Power to Support Collaborative Design. In Y. Luo (Ed.), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering* (Vol. 5220, pp. 20–27). https://doi.org/10.1007/978-3-540-88011-0_3

Ericsson, K. A., & Simon, A. H. (1984). *Protocol Analysis: Verbal reports as data*. MIT Press.

Estevez, D. (2001). *Dessin d'architecture et inforgraphie: l'évolution contemporaine des pratiques graphiques* (CNRS Edition). Paris.

Fatah gen Schieck, A., Penn, A., Mottram, C., Strothmann, A., Ohlenburg, J., Broll, W., & Aish, F. (2004). Interactive Space Generation through Play: Exploring Form Creation and the Role of Simulation on the Design Table. *22nd ECAADe Conference Proceedings*, 148–158.

Ferguson, E. S. (1992). *Engineering and the Mind's Eye*. Cambridge: MIT Press.

Ferreira, J., Christiaans, H., & Almendra, R. (2016). A visual tool for analysing teacher and student interactions in a design studio setting. *CoDesign*, *12*(1–2), 112–131. https://doi.org/10.1080/15710882.2015.1135246

Freitas, M. R., & Ruschel, R. C. (2013). What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture. In R. Stouffs, P. Janssen, S. Roudavski, & B. Tunçer (Eds.), *Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013)* (Vol. 1, p. 10).

Fuchs, P., Moreau, G., & Guitton, P. (Eds.). (2011). *Virtual Reality: Concepts and Technologies*. London, UK: CRC Press, Taylor & Francis.

Garcia, A. R., Marquez, J., & Valverde Vildosola, M. (2001). Qualitative contribution of a vr-system to architectural design: Why we failed? *Proceedings of the Sixth Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, 423–428. Retrieved from http://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/7c56.content.pdf

Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, *11*(4), 26–36. https://doi.org/10.1609/aimag.v11i4.854

Gero, J. S. (2011). Fixation and commitment while designing and its measurement. *The Journal of Creative Behavior*, *45*(2), 108–115.

Gero, J. S., & Jiang, H. (2016). Exploring the design cognition of concept design reviews using the FBS-Based protocol analysis. In R. S. Adams & J. A. Siddiqui (Eds.), *Analyzing design review conversations*. West Lafayette, Indiana: Purdue University Press.

Gero, J. S., & Kannengiesser, U. (2004). The situated function–behaviour–structure framework. *Design Studies*, *25*(4), 373–391. https://doi.org/10.1016/j.destud.2003.10.010

Gero, J. S., & Kannengiesser, U. (2008). An ontological account of Donald Schön's reflection in designing. *International Journal of Design Sciences and Technologies*, *15*(2), 77–90.

Gero, J. S., & Kannengiesser, U. (2014). Commonalities across Designing: Evidence from Models of Designing and Experiments. *Design Computing and Cognition'12*, 285–302.

Gero, J. S., & Mc Neill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Design Studies*, *19*(1), 21–61.

Gero, J. S., & Milovanovic, J. (2020). The Situated Function-Behavior-Structure Co-Design Model. *CoDesign, à paraître*.

Gerring, J. (2004). What Is a Case Study and What Is It Good for? *The American Political Science Review*, *98*(2), 341–354.

Goel, V. (1995). *Sketches of Thought* (MIT Press).

Goldschmidt, G. (1990). *Linkography: assessing design productivity*. 291–298. Singapore: World Scientific.

Goldschmidt, G. (1991). The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal*, *4*(2), 123–143. https://doi.org/10.1080/10400419109534381

Goldschmidt, G. (1995). The designer as a team of one. *Design Studies*, *16*(2), 189–209. https://doi.org/10.1016/0142-694X(94)00009-3

Goldschmidt, G. (2011). The Black-curtained studio: Eulogy to a dead pencil. *SCAD Symposium Proceedings*. Présenté à Bremen. Bremen, Germany.

Goldschmidt, G. (2014). *Linkography, Unfolding the design process*. MIT Press.

Goldschmidt, G., Casakin, H., Avidan, Y., & Ronen, O. (2014). *Three studio critiquing cultures: Fun follows function or function follows fun?* Presented at the Design Thinking Research Symposium 10, Purdue University.

Goldschmidt, G., Hochman, H., & Dafni, I. (2010). The design studio "crit": Teacher–student communication. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, *24*(03), 285–302. https://doi.org/10.1017/S089006041000020X

Graesser, A. C., & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, *31*(1), 104–137.

Gül, F. L., & Halici, M. S. (2016). Collaborative Design with Mobile Augmented Reality. *Proceedings of the 34th ECAADe Conference*, 493–500. Oulu, Finland.

Hamraz, B., & Clarkson, P. J. (2015). Industrial evaluation of FBS Linkage – a method to support engineering change management. *Journal of Engineering Design*, *26*(1–3), 24–47. https://doi.org/10.1080/09544828.2015.1015783

Hay, L., Duffy, A. H. B., McTeague, C., Pidgeon, L. M., Vuletic, T., & Grealy, M. (2017a). A systematic review of protocol studies on conceptual design cognition: Design as search and exploration. *Design Science*, *3*. https://doi.org/10.1017/dsj.2017.11

Hay, L., Duffy, A. H. B., McTeague, C., Pidgeon, L. M., Vuletic, T., & Grealy, M. (2017b). Towards a shared ontology: A generic classification of cognitive processes in conceptual design. *Design Science*, *3*. https://doi.org/10.1017/dsj.2017.6

Healy, J. (2016). The Components of the" Crit" in Art and Design Education. *Irish Journal of Academic Practice*, *5*(1), 7.

Heiser, J., Tversky, B., & Silverman, M. (2004). Sketches for and from collaboration. In J. S. Gero, B. Tversky, & T. Knight (Eds.), *Visual and spatial reasoning in design III* (pp. 69–78). Sydney: Key center for Design Research.

Hergenhahn, B. R., & Olson, M. (1997). *An introduction to theories of learning* (Prentice Hall (5th edition)).

Heylighen, A., Bouwen, J. E., & Neuckermans, H. (1999). Walking on a thin line—Between passive knowledge and active knowing of components and concepts in architectural design: Between passive knowledge and active knowing of components and concepts in architectural design. *Design Studies*, *20*(2), 211–235.

Hofmeister, C., Kruchten, P., Nord, R. L., Obbink, H., Ran, A., & America, P. (2007). A general model of software architecture design derived from five industrial approaches. *Journal of Systems and Software*, *80*(1), 106–126. https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.05.024

Ishii, H., & Ben-Joseph, E. (2002). Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation. *Proceedings of IEEE & ACM ISMAR*.

Jiang, H., & Yen, C.-C. (2009). Protocol Analysis in Design Research: a Review. *Design, Rigor & Relevance*, 147–156. Seoul, Korea.

Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and slow*. London, UK: Penguin Books.

Kalisperis, L. N., Otto, G., Muramoto, K., Gundrum, J. S., Masters, R., & Orland, B. (2002). Virtual reality/space visualization in design education: the VR-desktop initiative. *20th ECAADe Conference Proceedings*, 64–71.

Kan, J. W., & Gero, J. S. (2017). *Quantitative Methods for Studying Design Protocols*. https://doi.org/10.1007/978-94-024-0984-0

Kang, S., & Tversky, B. (2016). From hands to minds: Gestures promote understanding. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *1*. https://doi.org/10.1186/s41235-016-0004-9

Kannengiesser, U., & Gero, J. S. (2019). *Empirical Evidence for Kahneman's System 1 and System 2 Thinking in Design*. 89–100. Tutzing, Germany: University of Munich.

Khorshidifard, S. (2011). A paradigm in architectural education: Kolb's Model and learning styles in studio pedagogy. *ARCC Conference*, 621–634.

Kida, T. (2011). Nouvelle méthode de constitution d?un corpus pour transcrire gestes et intonations. *Corpus*, *10*, 41–60.

Kieferle, J. B., & Herzberger, E. (2002). The "Digital year for Architects" Experiences with an integrated teaching concept. *20th ECAADe Conference Proceedings*, 88–95.

Kieferle, J., & Woessner, U. (2015). BIM Interactive - About combining BIM and Virtual Reality. *Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. Presented at the Real Time: Extending the Reach of Computation, Vienna.

Kolb, A., & Kolb, D. (2005). Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing experiential learning in higher education. *Academy of Management Learning and Education*, *4*(2), 193–212. https://doi.org/10.5465/amle.2005.17268566

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. NJ: Prentice Hall: Englewood Cliffs.

Lave, J. (1990). The culture of acquisition and the practice of understanding. In J. Stigler, R. Schweder, & G. Herdt (Éd.), *Cultural Psychology: Essays on Comparative Human Development* (p. 309-327). Cambridge: Cambridge University Press.

Lave, J. (1996). Teaching, as learning, in practice. *Mind, Culture, and Activity*, *3(3)*, 149–164.

Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.

Lawson, B. (2004). Schemata, gambits and precedent: some factors in design expertise. *Design Studies*, *25*(5), 443–457. https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.05.001

Lawson, B. (2006). *How designers think: the design process demystified* (4. ed). Amsterdam: Elsevier/Architectural Press.

Lawson, B., & Dorst, K. (2005). Acquiring design expertise. *Computational and Cognitive Models of Creative Design VI. Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Sydney*, 213–229.

Lawson, B., & Dorst, K. (2009). *Design Expertise* (Architectural Press). Routledge.

Lawson, B., & Loke, S. M. (1997). Computers, words and pictures. *Design Studies*, *18*(2).

Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, *25*(1), 1–18.

Lebahar, J.-C. (1983). *Le dessin d'architecte. Simulation graphique et réduction d'incertitude* (Parenthèses). Roquevaire, France.

Lebahar, J.-C. (2001). *Approche didactique de l'enseignement du projet en architecture: étude comparative de deux cas*.

Ledewitz, S. (1985). Models of Design in Studio Teaching. *Journal of Architectural Education (1984-)*, *38*(2), 2. https://doi.org/10.2307/1424811

Maher, M. L., & Poon, J. (1996). Modeling design exploration as co-evolution. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, *11*(3), 195–209. https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.1996.tb00323.x

Masclet, C., & Boujut, J.-F. (2010). Using situated FBS to model design interactions in a distant synchronous collaborative situation. *DESIGN2010*, 10.

Maton, K. (2014). *Knowledge and knowers: towards a realist sociology of education*. Oxford: Routledge.

McClean, D., Lamb, N., & Brown, A. (2013). Marginal Voices: Capitalising on Difference in the Design Studio. *Free Journal for Architecture*, 85.

Merriam, S. (1983). Mentors and Protégés: A Critical Review of the Literature. Adult Education, 33(3), 161-173. https://doi.org/10.1177/074171368303300304

Mewburn, I. (2012). Lost in translation: Reconsidering reflective practice and design studio pedagogy. *Arts and Humanities in Higher Education*, *11*(4), 363–379. https://doi.org/10.1177/1474022210393912

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, *77*(12), 1321–1329.

Milovanovic, J., & Gero, J. (2018). Exploration of cognitive design behavior during design critiques. *DESIGN2018*, 12. Dubrovnik, Croatia.

Milovanovic, J., & Gero, J. (2019). *Exploration of gender diversity effects on design team dynamics*. 101–112. Tutzing, Germany: University of Munich.

Milovanovic, J., Moreau, G., Siret, D., & Miguet, F. (2017). Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education: An Immersive Multimodal Platform to Support Architectural Pedagogy. *17th International Conference, CAAD Futures 2017*, 513–532. Istanbul, Turkey.

Milovanovic, J., Siret, D., Moreau, G., & Miguet, F. (2018). Écosystème de représentations et apprentissage de la conception. *SHS Web of Conferences*, *47*, 01003. https://doi.org/10.1051/shsconf/20184701003

Moloney, J. (2007). Screen based augmented reality for architecture. *International Conference on the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, 577–584.

Nicol, D. J., & Pilling, S. (Eds.). (2000). *Changing architectural education: Towards a new professionalism* (Taylor & Francis group). London.

Oak, A., & Lloyd, P. (2016). "Wait, wait: Dan, your turn": performing assessment in the group-based design review. In R. S. Adams & J. A. Siddiqui (Eds.), *Analyzing design review conversations*. West Lafayette, Indiana: Purdue University Press.

Ochsner, J. K. (2000). Behind the mask: a psychoanalytic perspective on interaction in the design studio. *Journal of Architectural Education*, *53*(4), 194–206.

Oh, Y., Ishizaki, S., Gross, M. D., & Do, Y.-L. E. (2013). A theoretical framework of design critiquing in architecture studios. *Design Studies*, *34*, 302–325.

Parnell, R., Sara, R., Doidge, C., & Parsons, M. L. (2007). *The crit: an architecture student's handbook* (2nd ed). Amsterdam ; Boston: Elsevier : Architectural Press.

Pauwels, P., Strobbe, T., & De Meyer, R. (2015). Analysing how constraints impact architectural decision-making. *International Journal of Design Sciences and Technology*, *21*(1), 83–111.

Pauwels, P., Strobbe, T., Derboven, J., & De Meyer, R. (2015). Conversation and Critique Within the Architectural Design Process: A Linkograph Analysis. In J. S. Gero & S. Hanna (Eds.), *Design Computing and Cognition '14* (pp. 135–152). https://doi.org/10.1007/978-3-319-14956-1_8

Penn, A., Mottram, C., & Fatah gen Schieck, A. (2004). Augmented Reality meeting table: a novel multi-user interface for archtiectural design. In J. van Leeuwen & H. J. P. Timmermans (Eds.), *Recent advances in design and decision support systems in architecture and urban planning*. Dordrecht ; Boston: Kluwer.

Pereira, M. A. (1999). My Reflective Practice as Research. *Teaching in Higher Education*, *4*(3), 339–354. https://doi.org/10.1080/1356251990040303

Phillips, D. C., & Soltis, J. F. (2009). *Perspectives on learning* (Teacher College Press).

Piaget, J. (1975). Position des problèmes et hypothèses explicatives. *L'équilibration des structures cognitives : problème central du développement,* Presses Universitaires De France,1–47.

Porter, W. L., & Kilbridge, M. D. (1981). *Architecture Education Study, Volume 1 : The papers*. Andrew W. Mellon Foundation.

Purcell, A. T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process. *Design Studies*, *19*(4), 389-430. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00015-5

Purcell, A. T., Williams, P., Gero, J. S., & Colbron, B. (1993). Fixation effects: do they exist in design problem solving? *Environment and Planning B: Planning and Design*, *20*(3), 333–345. https://doi.org/10.1068/b200333

Raskar, R., Welch, G., & Fuchs, H. (1998). Spatially augmented reality. *First IEEE Workshop on Augmented Reality (IWAR'98)*, 11–20.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, *25*(1), 54–67. https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020

Sachs, A. (1999). "Stuckness" in the design studio. *Design Studies*, *20*(2), 195–209.

Safin, S., Dorta, T., & Leclercq, P. (2013). *Enseigner la conception collaborative à distance avec des technologies innovantes: retours d'expérience du SDC et du HIS*. Retrieved from http://orbi.ulg.be/handle/2268/154981

Safin, S., Dorta, T., Pierini, D., Kinayoglu, G., & Lesage, A. (2016). Design Flow 2.0, assessing experience during ideation with increased granularity: A proposed method. *Design Studies*, *47*, 23–46. https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.08.002

Safin, S., & Leclercq, P. (2009). Studio Digital Collaboratif : un environnement de conception collaborative à distance. *Actes Colloque Interaction Homme-Machine*, 3. Grenoble, France.

Sara, R., & Parnell, R. (2013). Fear and Learning in the Architectural Crit. *Free Journal for Architecture*, 101–125.

Sawyer, R. K. (Ed.). (2011). *Structure and improvisation in creative teaching*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.

Schnabel, M. A., Kvan, T., Kruijff, E., & Donath, D. (2001). The first virtual environment design studio. *9th ECAADe Conference Proceedings*, 394–400.

Schön, D. A. (1981). Learning a language, learning to design. In W. L. Porter & M. D. Kilbridge (Eds.), *Architecture Education Study, Volume 1: The papers*. Andrew W. Mellon Foundation.

Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. London: Temple Smith.

Schön, D. A. (1984). The Architectural Studio as an Exemplar of Education for Reflection-in-Action. *Journal of Architectural Education*.

Schön, D. A. (1985). *The design studio*. London: RIBA.

Schön, D. A. (1987). *Educating the reflective practitionner* (Jossey-Bass Publishers). San Fransisco.

Schön, D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, *3*(3), 131–147. https://doi.org/10.1007/BF01580516

Schön, D. A., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, *13*(2), 135–156.

Schubert, G. (2014). *Interaktionsformen für das digitale entwerfen*. PhD Thesis, University of Munich.

Schubert, G., Strobel, B., & Petzold, F. (2016). Tangible Mixed Reality. *Proceedings of the 21st International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, 333–342.

Seichter, H. (2004). Benchwork: Augmented Reality Urban Design. *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*, 937–946.

Seichter, H. (2007). Augmented reality and tangible interfaces in collaborative urban design. *Proceedings of the 12th International CAAD Futures Conference*, 3–16.

Seichter, H., & Schnabel, M. A. (2005). Digital and tangible sensation: an augmented reality urban design studio. *Proceedings of the 10th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, 193–202.

Shaffer, D. W. (2007). Learning in design. In R. A. Lesh, J. J. Kaput, & E. Hamilton (Eds.), *Foundations for the future in mathematics education* (pp. 99–126). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Shealy, T., Hu, M., & Gero, J. (2018). *Neuro-cognitive differences between brainstorming, morphological analysis, and Triz*. Présenté à ASME 2018 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Montreal, Quebec, Canada.

Shih, Y. T., Sher, W. D., & Taylor, M. (2017). Using suitable design media appropriately: Understanding how designers interact with sketching and CAD modelling in design processes. *Design Studies*, *53*, 47–77. https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.005

Sidawi, B. (2016). The role of healthy social interaction and communications in provoking creativity in the design studio. *Higher Education Pedagogies*, *1*(1), 64–81. https://doi.org/10.1080/23752696.2015.1134205

Simon, A. H. (1969). *The sciences of the artificial*. Dunod.

Sopher, H. (2015). Immersive Virtual Environment Technology: A new Crit Learning Model. *Proceedings of Places for Learning Experiences: Think, Make, Change Symposium*, 236–246. Thessaloniki, Grèce.

Sopher, H., Kalay, Y. E., & Fisher-Gewirtzman, D. (2017). Why Immersive? Using an Immersive Virtual Environment in Architectural Education. *Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. Presented at the Rome, Itlay. Rome, Itlay.

Stempfle, J., & Badke-Schaub, P. (2002). Thinking in design teams - an analysis of team communication. *Design Studies*, *23*(5), 473–496. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00004-2

Stoakley, R., Conway, M. J., & Pausch, R. (1995). Virtual reality on a WIM: interactive worlds in miniature. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 265–272. https://doi.org/10.1145/223904.223938

Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, *18*.

Tang, H. H., & Gero, J. S. (2001). Sketches as affordances of meanings in the design process. *JS Gero, B. Tversky and T. Purcell (Eds)*, 271–282.

Tapie, G. (1996). *L'enseignement de l'architecture en France: de la formation à la maitrise d'oeuvre aux métiers de l'architecture*. Paris-La-Défense: Bureau de la Recherche Architecturale, Ministère de la Culture.

Tonn, C., Donath, D., & Petzold, F. (2007). Simulating the Atmosphere of Spaces. *25th ECAADe Conference Proceedings*, 169–176. Frankfurt, Germany.

Tonn, C., Petzold, F., Bimber, O., Grundhöfer, A., & Donath, D. (2008). Spatial augmented reality for architecture—designing and planning with and within existing buildings. *International Journal of Architectural Computing*, *6*(1), 41–58.

Tonn, C., Petzold, F., & Donath, D. (2009). See-Through History: 3D augmented reality for the reconstruction of the Bauhaus director's office reception area from 1923. *4th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design*, 259–267.

Valkenburg, R., & Dorst, K. (1998). The reflective practice of design teams. *Design Studies*, *19*(3), 249–271.

Van Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method: A practical guide to modelling cognitive processes*. London: Academic Press.

Vieira, S. D. S., Gero, J. S., Delmoral, J., Fernandes, C., Gattol, V., & Fernandes, A. (2019). *Insights from an EEG study of mechanical engineers problem solving and designing*. 23-34. Munich: UniBw.

Visser, W. (2006). *The cognitive artifacts of designing*, Lawrence Erlbaum Associates.

Visser, W. (2009). The function of gesture in an architectural design meeting. In J. T. McDonnell & P. Lloyd (Eds.), *About Designing: Analysing design meetings* (pp. 269–284). CRC Press.

Vygotsky, L. (1978). Interaction between learning and development. In *Readings on the development of Children* (Scientific American Books, pp. 34–40). New York: Gauvain & Cole.

Wiltschnig, S., Christensen, B. T., & Ball, L. J. (2013). Collaborative problem–solution co-evolution in creative design. *Design Studies*, *34*(5), 515–542. https://doi.org/10.1016/j.destud.2013.01.002

Wolmarans, N. (2016). Inferential reasoning in design: Relations between material product and specialised disciplinary knowledge. *Design Studies*, *45*, 92–115. https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.12.003

Yilmaz, S., & Daly, S. R. (2016). Feedback in concept development: Comparing design disciplines. *Design Studies*, *45*, 137–158. https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.12.008

Yin, R. K. (1981). The Case Study Crisis: Some Answers. *Administrative Science Quarterly*, *26*(1), 58–65.

Yu, R., & Gero, J. S. (2016). An empirical basis for the use of design patterns by architects in parametric design. *International Journal of Architectural Computing*, *14*(3), 289–302. https://doi.org/10.1177/1478077116663351

Yusuke, S., Fukuda, T., Yabuki, N., Michikawa, T., & Motamedi, A. (2016). A Marker-less Augmented Reality System using Image Processing Techniques for Architecture and Urban Environment. *Proceedings of the 21st International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2016)*, 713–722.