

## Grille d'évaluation en conception et fabrication assistées par ordinateur : retour sur une double expérience pédagogique pour former des futurs architectes

### Evaluation Grid in Computer-Aided Design and Manufacturing : Insights from a Dual Pedagogical Approach for Educating Future Architects

Louis Roobaert<sup>1,2\*</sup>, Damien Claeys<sup>1,2</sup>, Sheldon Cleven<sup>1,2</sup> et Jesus Manuel Perez Perez<sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Faculté d'architecture d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI), Université catholique de Louvain (UCLouvain), Bruxelles, Belgique
- <sup>2</sup> Laboratoire Théorie des systèmes en architecture (tsa-lab), Institut de Recherche de Louvain pour le Territoire, l'Architecture, l'Environnement Construit (LAB), Université catholique de Louvain (UCLouvain), Bruxelles, Belgique

**Résumé** : Dans un monde fortement digitalisé, la customisation de masse est rendue possible par l'instauration d'une forme de continuum conception-fabrication. Les processus de conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) prennent une importance croissante dans la pratique architecturale. En réponse à ce contexte en mutation, les programmes de formation dans les facultés et les écoles d'architecture évoluent. Dans le cadre d'un module de conception-fabrication, dispensé en 2<sup>e</sup> année de bachelier, à la Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI) de l'Université catholique de Louvain (UCLouvain), un retour critique est opéré sur une double expérience pédagogique : la première propose un dispositif traditionnel fondé sur une pédagogie par objectifs (PPO), tandis que la seconde privilégie un dispositif actif, situé et exploratoire fondé sur une approche par compétences (APC). Enfin, une proposition de grille d'évaluation dédiées spécifiquement à l'enseignement de la CFAO est proposée en adaptant la table taxonomique d'Anderson & Krathwohl (2001), développée sur base de la taxonomie de Bloom (1956).

**Mots-clés** : CFAO, fabrication numérique, conception paramétrique, table taxonomique, grille d'évaluation.

*[Abstract : In a highly digitalised world, mass customisation is made possible by the introduction of a form of design-manufacturing continuum. Computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) processes are becoming increasingly important in architectural practice. In response to this changing context, training programs in universities and schools of architecture are evolving. In the context of a design-manufacture module taught in the 2<sup>nd</sup> year of a bachelor's degree at the Graduate School of Architecture, Architectural Engineering and Urban Planning (LOCI) of the Université catholique de Louvain (UCLouvain), a critical review is made of a twofold teaching experiment: the first proposes a traditional layout based on a pedagogy by objectives (PPO), while the second favours an active, situated and exploratory layout based on a skills-based approach (APC). Finally, a proposal for an assessment grid dedicated specifically to the teaching of CAD/CAM is presented by adapting the taxonomic table of Anderson & Krathwohl (2001), developed on the basis of Bloom's taxonomy (1956).]*

**Keywords** : CAD/CAM, digital manufacturing, parametric design, taxonomy table, assessment grid

## INTRODUCTION

Depuis l'émergence de la computation digitale, un usage intensif de technologies de l'information et de la communication (TIC) hybride les réalités physiques et numériques, modifiant profondément notre rapport au monde.

Dans le domaine spécifique de l'architecture, une solide culture digitale s'est progressivement développée (Benedikte 1991; Picon 2010; Menges & Ahlquist 2011; Carpo 2013, 2017; Oxman et Oxman 2014; Goodhouse 2017; Hovestadt, Hirschberg & Fritz 2020) et il est largement admis que les outils numériques d'aide à la conception impactent les processus de projection (Carpo 2001, Estevez 2001, Scheer 2014). Au-delà du pouvoir de séduction des projets aux esthétiques molles initiés dans la fluidité du cyberspace des années 1990, les concepteurs contemporains renouent avec le travail collaboratif, l'expérimentation et la matérialité des œuvres pour proposer des projets inscrits dans leurs contextes écosociaux. Dès les années 2000, cette tendance est figurée par l'iconique Golden Fish de Barcelone (Lindsey 2001) ou par les planches de découpe des pièces de la Son-O-House à Son en Breugel (Spuybroek 2004), amorçant un mouvement global de réintroduction d'un continuum conception-fabrication (CFAO), par une association de la conception assistée par ordinateur (CAO) avec la fabrication assistée par ordinateur (FAO) (Callicott 2001). Cette forme de « *file-to-factory* » (Cache 1997) est exprimée par le concept d'« associativité » (Cache & Beaucé 2003:138) : « L'associativité est la constitution, au moyen d'un logiciel, du projet architectural en une longue chaîne de relations, depuis les premières hypothèses de conception jusqu'au pilotage des machines qui préfabriquent les composants destinés à s'assembler sur le chantier. » Dans le cas de ce type de projets d'architectures « non standards », l'idée est « l'instauration d'un champ informationnel continu et homogène » (Migayrou 2003:13), permettant aux concepteurs d'articuler conception paramétrique et fabrication numérique en opérant une rencontre entre « *mass customization* » et « *design democratization* » (Kolarevic & Duarte 2018). Les fabrications numériques de projets revalorisent l'esprit traditionnel d'atelier, entre artisans et artistes, les « ateliers-laboratoires » du Bauhaus (Gropius, 1923) et le « Do it yourself (DIY) » promu par les hippies (Brand 1968). Elles favorisent l'éclosion de l'« éthique du hacker » (Himanen 2001), l'occupation de « tiers-lieux » (Oldenburg 1989) et la tenue d'« activités collectives de conception », entraînant d'importantes évolutions sur les plans « socio-technique » et « socio-cognitif » (Darses, Détienne, Visser 2001).

La transition vers l'association entre CAO et FAO est l'occasion de réinventer : (1) des professions existantes en améliorant notamment leurs conditions d'existences et d'action sur l'environnement ; (2) des formations menant à ces professions, pour éviter une « obsolescence programmée » (Claeys 2021a) de l'architecte face à la numérisation du monde.

Dans les écoles d'architecture, les expériences pédagogiques pour enseigner le CFAO mettent en avant plusieurs compétences transposables au monde professionnel :

- 1) comprendre la conception architecturale comme un processus dynamique et collaboratif de résolution d'une classe de problèmes particuliers (Claeys, 2013) ;
- 2) entrer en « conversation » itérative d'apprentissage (Pask 1975) pour développer un « *architect-machine dialogue* » (Negroponte 1969:511), une interaction humain-machine (IHM) dans « un *écosystème numérique*, peuplé d'humains, de machines et d'outils interconnectés » (Roobaert & Claeys 2022:2) ;
- 3) hybrider des méthodes traditionnelles et numériques de conception pour une émulation et un enrichissement mutuel (Claeys 2023) ;
- 4) organiser un continuum conception-fabrication, en gérant un « continuum informationnel », à travers la modélisation, la visualisation et la fabrication (Marin 2020:15) ;
- 5) enrichir le débat autour de trois questions auxquels les concepteurs de projets d'architecture doivent particulièrement faire face (Claeys, Roobaert 2022) : gérer les données, prendre des décisions, développer la créativité.

Le présent article est structuré en trois parties : (1) une contextualisation de la posture et de l'approche pédagogique poursuivie à la Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI) de l'Université catholique de Louvain (UCLouvain) ; (2) une description, une comparaison et une première évaluation de deux expériences pédagogiques de CFAO, organisées au sein du site de Bruxelles de la faculté en 2022 et en 2023 ; (3) une proposition de grille d'évaluation généralisable et transmissible des acquis des étudiants dans les cours de CFAO, sur base des retours d'expériences.

## POSTURE PÉDAGOGIQUE

Les expériences pédagogiques de CFAO décrites ici privilégient une méthode pédagogique fondée sur (1) une posture socioconstructiviste et elle utilise (2) une approche par compétences, en mettant en

situation les étudiants avec (3) un apprentissage par projet.

(1) Sans être une méthode pédagogique, le constructivisme est une posture épistémologique concernant les processus de construction des connaissances (succédant respectivement au behaviorisme et au cognitivisme). Cette théorie de l'apprentissage est centrée sur l'apprenant et elle lui attribue une capacité d'appropriation du savoir et de mise en perspective de ce dernier à l'aide de son vécu et de ses représentations. En prolongeant la méthode « génétique » et « historico-critique » (Piaget 1967), la connaissance n'est pas indépendante du sujet (par exemple, la *vérité objective* du réalisme) ou imposée (par exemple, une *vérité révélée* par une religion) (Le Moigne 1995:71). Le constructivisme intègre le « la connaissance évaluée de l'expérience du sujet cogitant » (Le Moigne 1995:73). De là, le socioconstructivisme est une théorie générale de l'apprentissage développant le constructivisme en intégrant les effets socioculturels ayant des effets sur la construction du savoir par l'apprenant, c'est-à-dire intégrant l'importance des liens sociaux dans la construction des savoirs, la réalité sociale et les phénomènes sociaux étant considérés comme construits (Berger et Luckmann, 1966). Cette théorie donne notamment une place aux questions de l'apprentissage par imitation et par la médiation de l'outil. En effet, en tant que forme d'« apprentissage social », l'une des sources du sentiment d'« auto-efficacité » de l'apprenant est la participation à des « expériences vicariantes » permettant l'apprentissage par imitation en observant un pair exécutant le comportement à acquérir et les conséquences qui en résultent pour celui-ci (Bandura 1977:117), tandis que la « médiation » socioculturelle favorisant la connaissance passe par l'utilisation du « langage » et des « outils » (Vygotski 1978:19-30).

(2) Après la Eight-Year Study, la pédagogie par objectifs (PPO) est une logique pédagogique centrée sur l'*enseignement* de savoirs et de savoir-faire et fondée sur une posture behavioriste. Elle recherche « une façon de considérer un programme pédagogique comme un instrument d'éducation fonctionnel » (Tyler 1949:1), par la création d'« objectifs éducationnels », constituant « les critères selon lesquels le matériel est sélectionné, le contenu est décrit, les procédures pédagogiques sont élaborées et les tests et examens sont préparés » (Tyler 1949:3). La PPO consiste à organiser une succession nécessaire et suffisante d'activités pédagogiques distinctes menant directement à la réalisation d'un objectif

prédéterminé, en conditionnant le comportement de l'apprenant, ce qui inhibe toute forme de créativité ou de compréhension holistique du savoir. Cloisonnées, les connaissances perdent leur sens et les apprenants sont incapables de transposer leur savoir à de nouvelles situations. Dans les années 1950, sous l'impulsion de Benjamin S. Bloom, un groupe de chercheurs développe la PPO en tentant d'établir des taxonomies d'objectifs pédagogiques dans trois domaines d'apprentissage complémentaires : cognitif (Bloom 1956), affectif (Krathwohl et al. 1958) et psychomoteur (Simpson 1972). Ces trois domaines recouvrent partiellement la traditionnelle distinction entre « savoir penser » (acquisition de connaissances à travers l'apprentissage ou l'expérience), « savoir être » (qualités comportementales facilitant cette acquisition) et « savoir faire » (application des savoirs acquis renvoyant à une habileté pratique ou à une maîtrise technique) (Cadeddu 2020). Du point de vue de la cognition humaine, la taxonomie de Bloom est devenue une référence incontournable pour situer le niveau de compréhension et d'acquisition des compétences de l'apprenant, étape après étape, depuis ce qui est facile à connaître jusqu'au constructions de savoir plus complexes (de faiblement ordonnées à hautement organisées). La taxonomie aide l'enseignant à se poser des questions pour mieux connaître le profil de l'apprenant, en espérant le faire progresser dans son apprentissage. Au départ, elle est représentée de manière hiérarchique sous la forme d'une pyramide - comme celle de Maslow (1943) - chaque niveau devant être acquis avant de tenter d'acquérir le suivant (« connaissance » -> « compréhension » -> « application » -> « analyse » -> « évaluation » -> « synthèse »). Avec l'émergence d'une « *knowledge society* » (Drucker 1968:267-290) néolibérale, le monde professionnel a évolué, le modèle du travail à la chaîne d'après-guerre reposant sur une succession de gestes simples prédéterminés est remis en question, alors que la connaissance devient un « *central capital* » (Drucker 1968:ix) rendant secondaire les ressources naturelles, le travail et le capital, si bien que les emplois doivent intégrer de l'imprévu et de la complexité. Dans les années 1990, la pédagogie par objectifs (PPO) est alors progressivement adaptée pour devenir une approche par compétences (APC). Fondée sur une posture socioconstructiviste, l'APC est une logique pédagogique centrée sur l'*apprentissage* combiné de savoirs, de savoir-faire et de savoir-être - trilogie reprises de nombreuses fois depuis les années 1960 -, mais elle est surtout un « savoir-agir » (Le Boterf 1994) - où la compétence de l'apprenant est sa capacité active d'adaptation au contexte dans lequel il doit l'exercer : « La compétence est la mobilisation ou l'activation de plusieurs savoirs,

dans une situation et un contexte données » (Le Boterf 1994). La compétence est « [un] savoir-agir complexe reposant sur la mobilisation et la combinaison efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'une famille de situations » (Tardif 2006:22; Tardif 2017:20). À partir d'une dynamique collective entre enseignants et apprenants et d'un dispositif didactique à géométrie variable, l'APC utilise l'ancrage dans des situations d'apprentissage devenant alors le point de départ des activités d'apprentissage et donnant du sens aux savoirs codifiés appris. La compétence devient synonyme de capacité d'adaptation créative aux exigences de la complexité et l'APC transforme les savoirs en actes ou séquences d'actions afin de préparer au mieux les apprenants au monde professionnel. Elle développe un pouvoir d'action chez l'apprenant et donne du sens à ce qu'il fait. Outre l'autoévaluation des apprenants, l'APC nécessite l'usage d'outils partagés permettant d'évaluer les travaux des apprenants sur une même base : (a) un *référentiel de compétences* associé à un diplôme (le choix des compétences à atteindre en fonction d'un profil du diplômé pour pouvoir exercer une activité professionnelle); (b) des *acquis d'apprentissages* (chaque unité d'enseignement choisi des compétences à évaluer dans le référentiel de compétences); (c) une *grille d'évaluation critériée* (chaque compétence est décrite par des descripteurs associés à des niveaux de performance). Parallèlement à l'adaptation progressive de la PPO par l'APC, la taxonomie de Bloom a été révisée en remplaçant notamment les résultats attendus par des mots d'action et par l'élaboration d'une « table taxonomique » comprenant deux axes, croisant différents types de connaissances avec différents processus cognitifs (Anderson & Krathwohl 2001).

(3) La pédagogie de la faculté LOCI est le résultat d'une longue tradition de l'enseignement de l'architecture (Claeys 2021b) dont les traits saillants sont la formation au dessin – aux outils de représentation au sens large – et l'apprentissage par le projet – au sens général, non limité au cours de projet d'architecture, occupant néanmoins une place centrale. Les étudiants apprennent l'architecture *par le faire*, ils doivent s'engager corporellement pour expérimenter des espaces. L'objectif est d'ancrer l'apprentissage de la conception du projet par la manipulation de la matière. Dans le cadre d'une posture socioconstructiviste et d'une approche par compétences, les apprenants sont acteurs de leur formation, mis en situation de *compagnonnage* – une transmission directe du savoir-faire de l'enseignant à l'apprenant influencée par une appartenance disciplinaire (Becher, 1994) –, de « *learning-by-doing* » (Schön 1985) – pour former

en atelier de futurs « *reflective practitioners* » (Schön 1983) –, ou face à des défis stimulants par un apprentissage par projet (APP) (Proulx 2004; Rautent et al. 2013).

## PROPOSITION D'UNE GRILLE D'ÉVALUATION CRITÉRIÉE

En actualisant la taxonomie de Bloom, la « table taxonomique » d'Anderson & Krathwohl (2001) propose un tableau à double entrée, où chacun des deux axes est divisé en *catégories* : l'axe de la dimension de la « connaissance mobilisée » (ordonnées) comprenant quatre catégories de connaissance : (A) « factuelles », (B) « conceptuelles », (C) « procédurales » et (D) « métacognitives »; l'axe de la dimension du « processus cognitif activé » (abscisses) comprenant six catégories de processus cognitifs : (1) « mémoriser », (2) « comprendre », (3) « appliquer », (4) « analyser », (5) « synthétiser », (6) « créer ». Les catégories des deux axes sont elles-mêmes divisées en *sous-catégories* de compétences, pouvant être associées à des *questions* permettant aux enseignants de les expliciter, lorsqu'ils désirent situer le degré d'apprentissage des apprenants (cf. figure 1).

dimension des processus cognitifs \ dimension des connaissances		dimension des processus cognitifs						
		1 Mémoriser	2 Comprendre		3 Appliquer	4 Analyser	5 Évaluer	6 Créer
		L1. Reconnaître	L2. Acquiescer	L3. Comprendre	L4. Appliquer	L5. Analyser	L6. Évaluer	L7. Créer
A Factuelles	A.1 Connaissance de la terminologie							
	A.2 Connaissance des détails spécifiques							
	A.3 Connaissance des faits							
B Conceptuelles	B.1 Connaissance des classifications et catégories							
	B.2 Connaissances des principes et des généralisations							
	B.3 Connaissances des théories, des modèles et des structures							
C Procédurales	C.1 Connaissance d'une compétence sur un sujet spécifique							
	C.2 Connaissance des techniques et des méthodes sur un sujet spécifique							
	C.3 Connaissance des critères pour savoir quand utiliser la méthode appropriée							
D Métacognitives	D.1 Connaissance stratégique							
	D.2 Connaissance des tâches cognitives							
	D.3 Connaissance de soi-même							

Figure 1 - la « table taxonomique » de base d'après Anderson & Krathwohl (2001).

Une transposition de la « table taxonomique » d'Anderson & Krathwohl est proposée ici pour en faire un outil d'évaluation *spécifique* à l'enseignement de la conception et la fabrication assistées par ordinateur. Dans cette table actualisée, les *catégories* et les *sous-catégories* des deux axes principaux sont conservées en admettant qu'elles possèdent une validité solidement établie en psychologie, quelle que soit l'activité d'apprentissage évaluée. Le travail d'adaptation mené ici concerne uniquement la reformulation des *questions* explicitant les (sous-)catégories, en

partant du principe que le contenu des différentes catégories de connaissances et que les stratégies cognitives pratiques diffèrent d'une activité d'apprentissage à l'autre et peuvent être définies de manière spécifique dans le cadre de l'apprentissage de la CFAO (cf. annexe 1).

## DEUX EXPÉRIENCES PÉDAGOGIQUES

Les deux expériences pédagogiques ont été menées en 2022 et en 2023, pendant un quadrimestre, dans le module « Dessin en mode assisté : modélisation & conception numérique » du cours de « Moyens d'expression et représentation : approfondissement », avec des étudiants de deuxième année de bachelier en architecture et encadrées par quatre enseignants. L'objectif principal du module est de permettre aux étudiants d'expérimenter le continuum conception-fabrication (CFAO), pour orienter un processus complet de transformation d'un objet modélisé virtuellement en un objet physique matérialisé dans le réel (cf. figure 2).

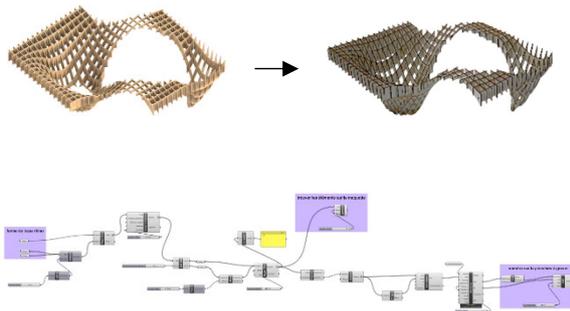


Figure 2 - Processus de CFAO depuis la géométrie de la maquette 3D virtuelle jusqu'à la fabrication et l'assemblage des pièces de la maquette physique.

Le module contribue à rencontrer les objectifs d'apprentissage généraux suivants du référentiel de compétences associé au profil du diplômé : (1) concevoir un projet architectural ; (2) exprimer une démarche architecturale ; (3) situer son action dans un contexte professionnel ; (4) adopter une attitude professionnelle. Lors de ces deux expérimentations pédagogiques, les acquis d'apprentissage spécifiques au module visent, à la fois, à rencontrer les enjeux contemporains de l'apprentissage de la CFAO en architecture, et les exigences du monde professionnel : (1) modéliser des objets architecturaux en trois dimensions ; (2) créer des représentations tridimensionnelles d'environnements ; (3) définir des contraintes et des variables pour la conception d'objets paramétriques ; (4) élaborer des scripts visuels

pour automatiser des tâches ; (5) concevoir des projets architecturaux en utilisant des outils numériques ; (6) optimiser des éléments architecturaux pour améliorer leurs performances ; (7) appliquer des habillages à des modèles 3D ; (8) mettre en page de manière professionnelle des objets en trois dimensions ; (9) utiliser l'impression 3D pour créer et réaliser des modèles architecturaux.

Le flux opérationnel de la conception à la fabrication proposé aux étudiants dans le cadre du module repose sur l'articulation fine d'une succession de dispositifs pédagogiques, de logiciels et d'outils permettant la mise en place d'un processus complet de CFAO (cf. figure 3).

Le choix s'est porté sur plusieurs outils analogiques et numériques : une esquisse à la main en phase d'idéation prenant en compte les contraintes du projet ; le logiciel de Rhinoceros 3D version 7 (RH) (modélisation en 3D) créé par Robert McNeel & Associates, avec son extension native Grasshopper (GH) (langage et conception paramétrique), et son plugin OpenNest préparant et optimisant des fichiers pour une machine laser ML960 (découpage et gravure sur des plaques de carton à l'aide d'une machine-outil à commande numérique - CNC) ; ainsi que le logiciel UltiMaker Cura préparant des fichiers pour une imprimante UltiMaker 2+ (impression 3D par dépôt d'un filament - FDM). Ces logiciels et machines ont été sélectionnés, à la fois, pour l'interopérabilité entre leurs interfaces, leur simplicité de prise en main, leur capacité à explorer la conception générative de formes complexes, le passage facilité entre conception et fabrication qu'ils permettent, mais également pour leur prix concurrentiel et leur usage répandu dans les bureaux d'architecture.

Deux modes d'évaluation définissent la note finale de l'apprenant : (1) l'évaluation continue individuelle des travaux réalisés pendant les séances de TP (60 % de la note) et (2) l'évaluation certificative en groupes du travail remis en session d'examen (40 % de la note). Pour l'évaluation continue, chaque exercice est évalué selon les acquis d'apprentissage et les spécificités des séances. L'organisation des TP a été structurée de manière à mettre en avant l'acquisition de compétences en modélisation tridimensionnelle (RH), en initiation au langage paramétrique (GH) et en contrôle de découpage mécanisé (Cura et ML960).

Le module est animé par sept dispositifs pédagogiques alternant les moments d'enseignement par transmission, vicariance et compagnonnage : (1) une ou deux séances de cours théoriques (2 ou 4 h), dispensées dans un auditoire rassemblant tous les étudiants (124 inscrits en

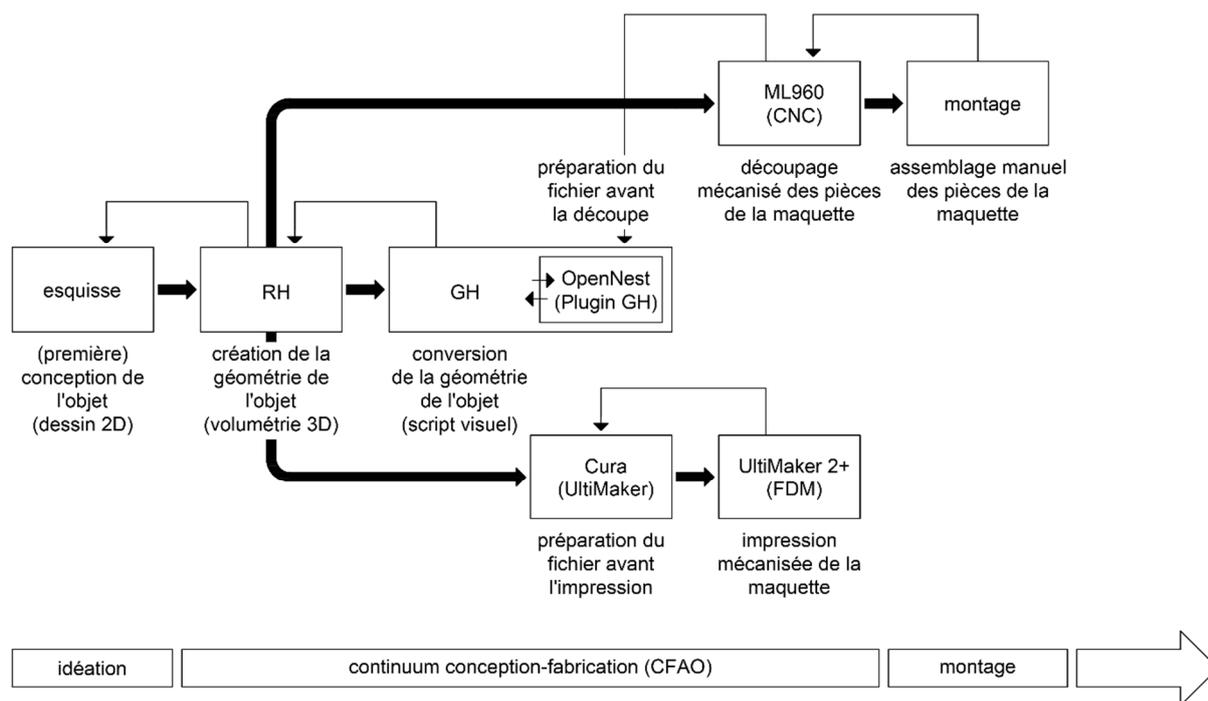


Figure 3 - Flux opérationnel depuis la phase d'idéation jusqu'à la phase de montage.

2022, 130 en 2023), par un professeur pour acquérir des savoirs en culture digitale et comprendre de manière générale le processus continu de conception-fabrication (apprentissage transmissif) ; (2) huit ou neuf séances de travaux pratiques (16 ou 18 h), encadrées en salle informatique, en groupe (4 groupes de TP d'environ 30 étudiants), par deux assistants pour acquérir des savoirs et des savoir-faire en RH/GH/OpenNest (apprentissage transmissif et vicariant, compagnonnage) ; (3) deux demi-séances de travail (2 h), accompagnées au laboratoire de fabrication (fab lab), en demi-groupes de TP (environ 15 étudiants), par un professeur pour présenter la découpeuse CNC et l'imprimante FDM et les logiciels qui gèrent les travaux (apprentissage transmissif, en situation pratique) ; (4) des périodes de travail, en autonomie, en sous-groupes (environ 4 étudiants), pour concevoir et fabriquer un objet (apprentissage vicariant) ; (5) des périodes de travail, avec un accompagnement individuel pour chacun de ces sous-groupe, au fab lab, assurées par un professeur pour gérer la fabrication des objets conçus (apprentissage par compagnonnage) ; (6) des périodes de travail, en autonomie, en sous-groupes, pour assembler la maquette de l'objet fabriqué (apprentissage par le faire) ; (7) une journée de présentation de la maquette physique de l'objet conçu et fabriqué, en jury, devant l'ensemble des enseignants et des étudiants du module.

Entre 2022 et 2023, les principales différences entre les expériences pédagogiques sont : (1) la diminution du nombre d'heures de théorie en auditoire au début du module, contrebalancée par

la répartition de courts moments de théorie au début de chaque séance de TP ; (2) la complète réorganisation du dispositif pédagogique des TP (cf. annexe 2).

Pour permettre la comparaison entre l'organisation du dispositif pédagogique des TP de 2022 et de celui de 2023, deux schémas sont élaborés en reprenant (cf. figures 4/5) : la représentation des phases de travail, le positionnement des enseignants ( $E_i$ ) et des apprenants ( $A_i$ ), leurs interactions, et les processus cognitifs activés. La logique des deux schémas est la suivante : moteurs de leur formation et ayant pour ressources les enseignants, les apprenants acquièrent des connaissances avec des intensités variables, tout en interagissant (in)directement avec les autres apprenants (expériences vicariantes) et avec les enseignants (écouter, poser des questions, compagnonnage...).

En 2022, lors de la première expérience pédagogique analysée, l'organisation interne des TP est classique et constante d'une séance à l'autre, sur le modèle d'une pédagogie par objectifs (PPO) (cf. figure 4) : d'un côté, un premier enseignant – positionné à *distance* des étudiants dans un rôle plus *transmissif* – expose l'énoncé d'un exercice à remettre à la fin des deux heures, puis il montre, étapes par étapes, la succession des outils à mobiliser et des opérations à mener dans RH/GH pour concevoir et fabriquer un objet correspondant à un modèle de référence ; d'un autre côté, les étudiants tentent de suivre, en temps réel et par imitation, les instructions prédéfinies par l'enseignant. Un second enseignant – situé à *proximité* des étudiants et inscrit plutôt dans une

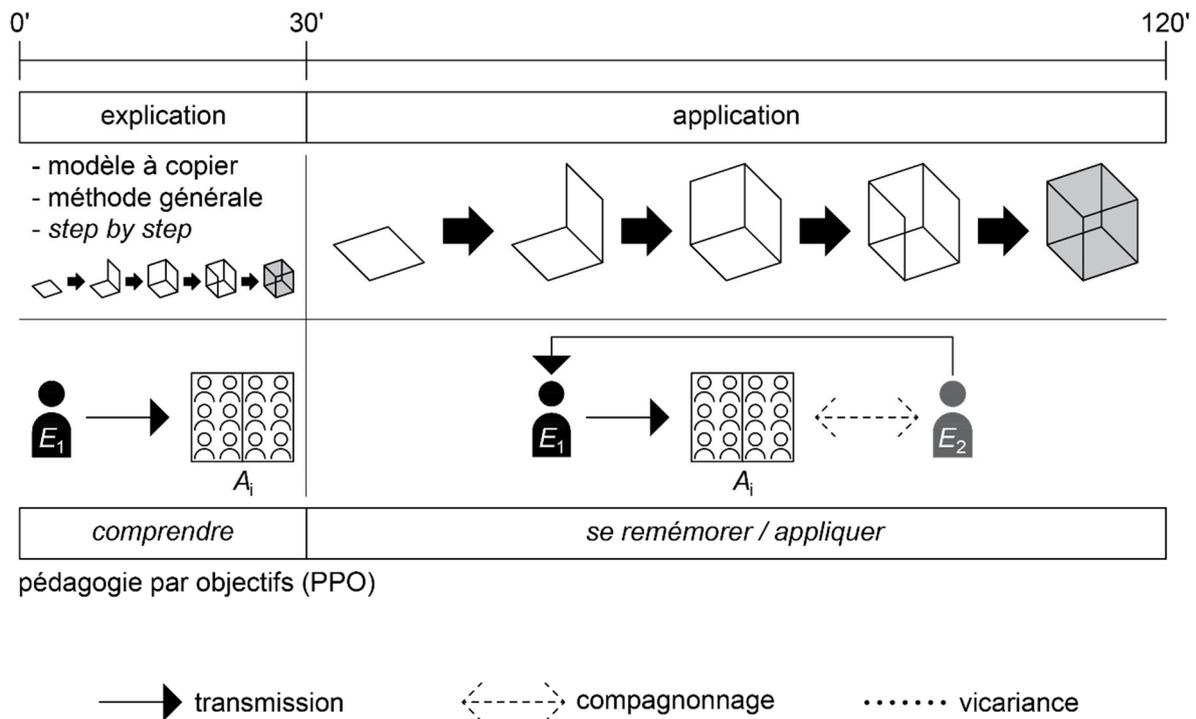


Figure 4 - Modèle pédagogique année 2022 : par objectif.

relation de *compagnonnage* – passe entre les tables des étudiants pour répondre à des questions plus *spécifiques*. Le premier enseignant faisait également des pauses régulières après les étapes plus complexes du processus de modélisation ou de paramétrisation, de manière à répondre à des questions plus *générales*. L'évaluation des travaux réalisés par les étudiants porte principalement sur le degré de correspondance entre le résultat obtenu et celui espéré : la *copie d'un modèle de référence*.

La potentialité pour les étudiants de mener des expériences vicariantes avec leurs voisins est réduite en raison du rythme soutenu des apports transmissifs de l'enseignant, mobilisant fortement leurs ressources cognitives. Les étudiants acquièrent des compétences, mais ils peuvent difficilement extrapoler leur utilisation lorsqu'il faut les appliquer dans d'autres cas. Les processus cognitifs « se remémorer », « comprendre » et « appliquer » sont fortement mobilisés, mais les trois processus « analyser », « évaluer » et « créer », le sont peu.

En 2023, lors de la seconde expérience pédagogique analysée, en tirant parti des retours des étudiants de l'année précédente au comité d'année, la structure interne des séances de TP a été adaptée (cf. figure 5). Encadrée par deux enseignants comme lors de la première expérience, chaque séance est cette-fois rythmée par quatre temps : (1) une phase théorique (10 minutes) dispensée par les deux enseignants initie chaque séance de TP (ce qui est rendu possible par la diminution du

nombre d'heures de théorie en auditoire au début du module), complétée d'un partage d'expérience des enseignants, mettant en avant les potentialités offertes par RH/GH en présentant rapidement quelques applications concrètes ; (2) une session de questions-réponses (5 minutes) pour anticiper les questions générales des étudiants ; (3) une phase d'*expérimentation dirigée* (1 heure) pour découvrir les fonctionnalités des logiciels, construite à partir d'une succession de courts exercices pratiques – appelés *samples* par les enseignants –, conçus pour permettre aux étudiants d'explorer et de maîtriser des concepts spécifiques ou des compétences techniques dans un domaine particulier, que les étudiants pourront sortir de leur contexte et réutiliser au service d'autres processus de conception-fabrication ; (4) une phase d'*expérimentation créative* (45 minutes) pour ancrer les acquis des *samples* au cours de laquelle un exercice final est proposé aux étudiants, qui doivent concevoir un objet libre, en mettant en pratique, de manière *créative* et *originale*, les outils, les procédures et les compétences appris au cours de la séance. L'évaluation des travaux réalisés par les étudiants ne porte plus sur la réalisation la plus fidèle possible d'une *copie d'un modèle de référence*, mais sur la capacité à produire une *variation* de ce modèle – parmi d'autres possibles – en jouant avec les *paramètres* établis par le cadre de référence de l'énoncé.

Chaque *sample* fonctionne localement sur le modèle d'une pédagogie par objectifs (PPO), alors que la

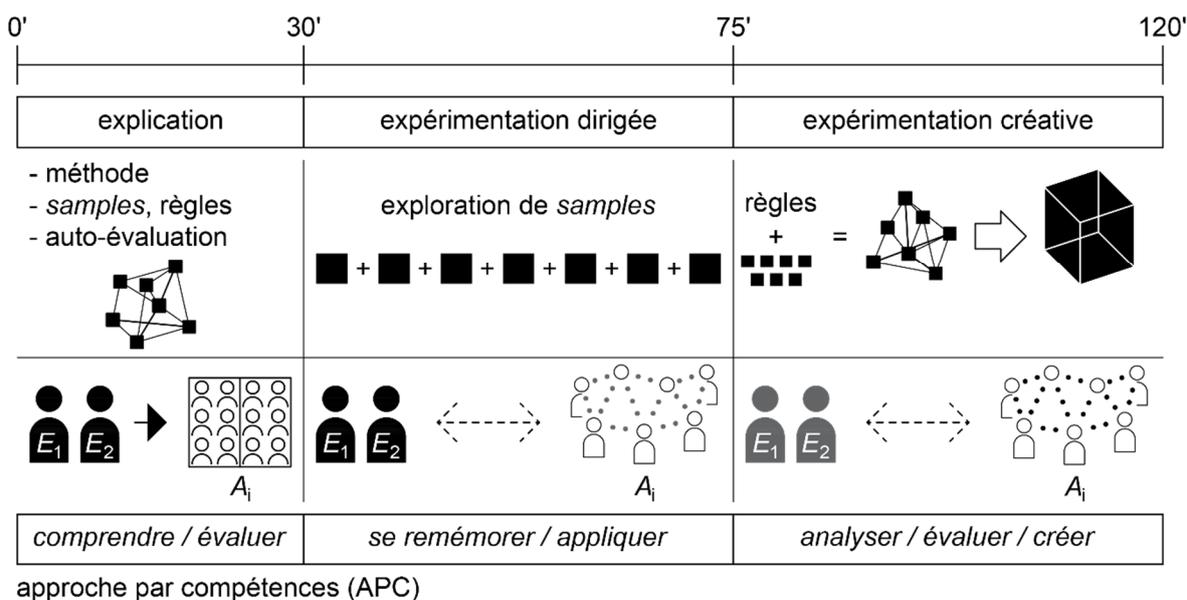


Figure 5 - Modèle pédagogique année 2023 : par compétence.

phase d'expérimentation créative s'inscrit globalement dans une approche par compétences (APC), dans l'idée que les étudiants puissent mobiliser, cette fois, les trois processus « analyser », « évaluer » et « créer ».

Un cinquième temps dépasse le cadre temporel de la séance de TP : en raison de la variété et de l'intérêt des travaux des étudiants, les enseignants ont décidé de mettre en place une page dédiée au module sur Instagram. Après chaque séance de TP, lorsque les travaux sont corrigés, un processus de sélection soigneux est effectué et ceux qui articulent le mieux les acquis des *samples* sont publiés sur un réseau social. D'un point de vue pédagogique, l'utilisation des réseaux sociaux est apparue ici comme une source de motivation supplémentaire pour les étudiants.

## ANALYSE DES DEUX EXPÉRIENCES PÉDAGOGIQUES

La nouvelle table permet la contextualisation des différentes mises en évidence par la comparaison des deux expériences pédagogiques. Les dimensions de connaissances sont considérées comme commune, puisque les objectifs d'apprentissage généraux choisis dans le référentiel de compétences sélectionnées et les acquis d'apprentissage spécifiques au module sont transversaux aux deux méthodologies, tandis que le

degré d'activation des processus cognitifs sont spécifiques à chacune d'entre elles. Ainsi, ce qui les distingue n'est pas tant la nature des connaissances à assimiler, mais plutôt l'activation des processus cognitifs qui leurs sont associés. Pour comparer les deux modules pédagogiques à partir de ce qui les distingue, les activités d'apprentissages liées aux TP sont identifiées précisément, ainsi que la façon dont elles sollicitent les processus cognitifs (*cf.* annexe 2).

Les TP de la première expérience pédagogique s'articulent autour d'un seul et même exercice par séance, censé stimuler les six types de processus cognitifs : (1) la *mémorisation* est favorisée par la structure même du cours, celui-ci s'étalant sur un quadrimestre complet, avec des exercices qui s'appuient sur les précédents, les étudiants répètent des actions pour consolider leurs compétences ; (2) pour encourager la *compréhension*, chaque séance commence par une explication contextuelle des références, engageant les étudiants à prendre des notes et à assimiler l'information de manière compréhensible ; (3) pour *appliquer* les connaissances, les enseignants décomposent les références en sous-étapes, demandant aux étudiants de les reproduire en utilisant des procédures spécifiques, leur permettant ainsi de maîtriser la manipulation de sous-problèmes. Les catégories suivantes nécessitent un réel investissement de la part de l'étudiant car elles ne sont pas directement induites par la méthodologie : (4) le volet *analytique*

implique que l'apprenant examine chaque composante des références fragmentées afin de reconstruire les différentes catégories de connaissances ; (5) pour l'évaluation, il doit confronter sa réalisation à la référence, en détectant les erreurs dans leurs démarches et les incohérences entre leurs objectifs et les protocoles qu'ils mettent en place ; (6) l'action de créer n'est pas sollicitée par les séances de TP, il leur est demandé d'extrapoler, en autonomie, l'usage de leurs acquis à d'autres énoncés.

Les TP de la seconde expérience pédagogique hybrident différents dispositifs qui sollicitent à tour de rôle les processus cognitifs des étudiants. Tout comme dans la première approche : (1) la mémorisation est favorisée par la structure même du cours ; (2) la compréhension se fait par la répartition de la théorie au travers de cas concrets, invitant l'étudiante à prendre des notes pour s'approprier la connaissance ; (3) les *samples* ont été spécifiquement conçu pour que les apprenants puissent s'exercer et se confronter aux savoirs ; (4) l'analyse s'effectue au travers de la déconstruction des références exemplifiant l'énoncé de l'exercice de fin de séance ; (5) l'évaluation est permise par l'interaction entre les étudiants entre eux et avec leurs enseignants, lors de la résolution des *samples* et l'élaboration de l'exercice de fin de séance ; (6) enfin, la partie créative est supportée par la création d'un artefact personnel permettant d'appliquer dans un exercice libre les connaissances assimilées.

La divergence fondamentale entre les deux expériences pédagogiques réside principalement dans la linéarité des séances. En effet, chaque méthodologie implique dans une certaine mesure l'activation des divers processus cognitifs nécessaires à l'assimilation des connaissances factuelles, conceptuelles, procédurales et métacognitives. Cependant, ces dimensions ne sont pas automatiquement sollicitées par les deux approches mises en place.

Dans le premier cas, l'ensemble des dimensions cognitives sont mobilisées à travers un unique exercice. Les enseignants présentent une référence découpée en plusieurs sous-parties que les étudiants doivent reproduire pour la reconstituer. Ainsi, ce système unique exige des étudiants qu'ils naviguent à travers les cinq processus cognitifs (se remémorer, comprendre, appliquer, analyser, évaluer, créer). Néanmoins, si un étudiant, peu engagé dans le cours, opte pour la simple résolution des étapes de la reconstitution sans une compréhension approfondie, le module ne l'oblige pas à stimuler l'ensemble de ces processus cognitifs. De ce fait, il pourrait simplement résoudre le problème en appliquant mécaniquement une connaissance procédurale.

En revanche, dans la seconde méthode, les diverses typologies de savoirs sont largement explorées au travers de multiples processus cognitifs mis en œuvre. Les étudiants n'ont pas d'autre choix que d'internaliser pour ensuite comprendre et enfin appliquer le savoir au moyen des *samples*. Dans les cas où certains étudiants négligent les *samples* et tentent directement de résoudre le problème de fin de séance, ils se retrouvent dans l'incapacité de le résoudre, par manque de compréhension de la manière d'appliquer le savoir. Ensuite, l'étape de l'analyse est requise avant que les étudiants puissent déconstruire l'élément de sortie qu'ils souhaitent reconstituer à partir des images de référence, dans le but de renforcer leur créativité. Enfin, la créativité elle-même est sollicitée à chaque séance, puisque les étudiants doivent créer un artefact libre en utilisant toutes les autres dimensions cognitives qu'ils ont déjà activées pendant la séance. Cet ensemble de classe de procédure les force à s'investir pleinement (cf. annexe 3).

## CONCLUSION

Un transfert des conclusions de notre étude pédagogique vers le monde professionnel de la conception architecturale devrait être opéré dans le futur pour confronter les résultats des expériences pédagogiques et des acquis supposés des étudiants avec les acquis attendus et utiles dans le monde professionnel.

La grille d'évaluation proposée devrait faire l'objet d'expériences dans un prochain cours à LOCI, elle peut être mobilisée par d'autres, voire même transposée à d'autres types de cours en architecture. Concrètement, l'usage de cette grille permet d'envisager la création d'un protocole d'expérimentation pour pouvoir analyser la progression des apprentissages des étudiants.

L'étude présentée ici a des limites méthodologiques, parmi lesquelles : (1) la dimension cognitive de l'apprentissage est prise en compte, mais les dimensions affectives et psychomotrices devraient l'être également. Seules quelques études existent actuellement au sujet de la conception architecturale (par exemple, El Sayary et al. 2020) ; (2) les catégories de la dimension des processus cognitifs d'Anderson & Krathwohl (2001) ont été acceptées comme suffisamment générales pour être appliquées aux cas d'étude, mais ces catégories pourraient être adaptées pour être plus spécifiques à la projection architecturale.

Enfin, cette recherche démontre de manière théorique que les changements effectués entre la première et la deuxième expérience pédagogique

sont bénéfiques pour l'apprentissage, ce qui permet l'élaboration de la grille d'évaluation. Mais l'effet réel de ce changement n'a pas été mesuré. Pour confirmer la pertinence de cette grille et mesurer son effet sur l'apprentissage des étudiants, le développement d'une nouvelle méthodologie et d'une expérience pédagogique pour la tester devrait donc être fait à partir de la table taxonomique pour la CFAO.

## RÉFÉRENCES

- ANDERSON, Lorin W. et KRATHWOHL, David R. (éd.), 2001. *A taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Abridged Edition. New York, NY : Longman. ISBN 978-0-321-08405-7.
- BANDURA, Albert, 1977. *Social Learning Theory*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall. ISBN 978-0-13-816744-8.
- BENEDIKT, Michael (éd.), 1991. *Cyberspace: first steps*. Cambridge, MA : MIT Press. ISBN 978-0-262-52177-2.
- BECHER, Tony, 1994. The significance of disciplinary differences. *Studies in Higher Education*. 1 janvier 1994. Vol. 19, N° 2, pp. 151-161. DOI [10.1080/03075079412331382007](https://doi.org/10.1080/03075079412331382007).
- BERGER, Peter L. et LUCKMANN, Thomas, 1966. *The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge*. New York, NY : Doubleday & Company.
- BLOOM, Benjamin S. (éd.), 1956. *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook 1: Cognitive Domain*. New York, NY; London, UK : Longman.
- BRAND, Stewart, 1968. *Whole Earth Catalog: Access to Tools*.
- CACHE, Bernard, 1997. *Terre meuble*. Orléans : Editions HYX. Ressources. ISBN 978-2-910385-06-4.
- CACHE, Bernard et BEAUCÉ, Patrick, 2003. Vers une architecture associative. In : MIGAYROU, Frédéric (éd.), *Architectures non standard*. Paris : Centre Pompidou. pp. 138-139. ISBN 978-2-84426-231-8.
- CADEDDU, Joseph, 2020. Savoir, savoir-faire et savoir-être. Réflexions pédagogiques sur les relations université-entreprise. *Transalpina*. 1 novembre 2020. N° 23, pp. 99-112. DOI [10.4000/transalpina.682](https://doi.org/10.4000/transalpina.682).
- CALLICOTT, Nick, 2001. *Computer-Aided Manufacture in Architecture: The Pursuit of Novelty*. Oxford, UK : Architectural Press. ISBN 978-0-7506-4647-5.
- CARPO, Mario, 2001. *Architecture in the Age of Printing: Orality, Writing, Typography, and Printed Images in the History of Architectural Theory*. Cambridge, MA : MIT Press. ISBN 978-0-262-03288-9.
- CARPO, Mario (éd.), 2013. *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*. Chichester, UK : John Wiley & Sons. AD reader. ISBN 978-1-119-95175-9.
- CARPO, Mario, 2017. *The second digital turn: design beyond intelligence*. Cambridge, MA : MIT Press. Writing architecture. ISBN 978-0-262-53402-4.
- CLAEYS, Damien, 2013. *Architecture et complexité: un modèle systémique du processus de (co)conception qui vise l'architecture*. Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain.
- CLAEYS, Damien, 2021a. D'une crise de légitimité à la potentialité d'une anticrise. In : CLAEYS, Damien (éd.), *Anticrise architecturale: Analyse d'une discipline immergée dans un monde numérique* [en ligne]. Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain. pp. 11-20. forma loci. ISBN 978-2-39061-142-4. Disponible à l'adresse : <http://hdl.handle.net/2078.1/249709>
- CLAEYS, Damien, 2021b. Architecture, ingénierie architecturale, urbanisme : potentialité d'un récit commun dès 1863. *Lieuxdits*. 2021. N° 20, pp. 15-31. DOI [10.14428/ld.vi20.62933](https://doi.org/10.14428/ld.vi20.62933).
- CLAEYS, Damien, 2023. Physiological and cognitive discontinuities: From mythical mediation to implicit discretization of architectural design tools. *Frontiers of Architectural Research*. 2023. Vol. 12, N° 1, pp. 1-12. DOI [10.1016/j.foar.2022.06.008](https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.06.008).
- CLAEYS, Damien et ROOBAERT, Louis, 2022. Trois systèmes de raisonnement en conception architecturale: heuristique, algorithmique, métacognition. *lieuxdits*. 6 juillet 2022. N° 22, pp. 10-21. DOI [10.14428/ld.vi22.67143](https://doi.org/10.14428/ld.vi22.67143).
- DARSES, Françoise, DÉTIENNE, Françoise et VISSER, Willemien, 2021. Assister la conception: perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique. 2021.
- DRUCKER, Peter F., 1968. *The Age of Discontinuity: Guidelines to our Changing Society*. New York, NY : Harper & Row.
- EL SAYARY, Samer, MOHSEN, Hiba et MANTASH, Lamis, 2020. Re-thinking Bloom's taxonomy by integrating digital simulation in pragmatic architectural education. *Architecture and Planning Journal (APJ)* [en ligne]. 6 octobre 2020. Vol. 23, n° 2. DOI [10.54729/2789-8547.1070](https://doi.org/10.54729/2789-8547.1070).
- ESTEVEZ, Daniel, 2001. *Dessin d'architecture et infographie: l'évolution contemporaine des pratiques graphiques*. Paris : CNRS Éditions. ISBN 978-2-271-05799-0.
- GOODHOUSE, Andrew (éd.), 2017. *When is the digital in architecture?* Berlin : Sternberg Press. Canadian Centre for Architecture (CCA). ISBN 978-1-927071-46-5.
- GROPIUS, Walter, 1995. Principes de production du Bauhaus (1923). In : RICHARD, Lionel (éd.), *Architecture et société*. Paris : Linteau. pp. 35-40. ISBN 978-2-910342-03-6.

- HIMANEN, Pekka, 2001. *The Hacker Ethic and the Spirit of the Information Age*. New York, NY : Random House. ISBN 978-0-375-50566-9.
- HOVESTADT, Ludger, HIRSCHBERG, Urs et FRITZ, Oliver, 2020. *Atlas of Digital Architecture: Terminology, concepts, methods, tools, examples, phenomena*. Basel : Birkhauser. ISBN 978-3-0356-1990-4.
- KOLAREVIC, Branko et DUARTE, José Pinto (éd.), 2018. *Mass Customization and Design Democratization*. London : Routledge. ISBN 978-1-351-11786-9.
- KRATHWOHL, David R., BLOOM, Benjamin S. et MASIA, Bertram B., 1956. *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook II: Affective Domain*. David McKay Company, Inc.
- LE BOTERF, Guy, 1994. *De la compétence : essai sur un attracteur étrange*. Paris : Éditions d'Organisation. ISBN 978-2-7081-1753-2.
- LE MOIGNE, Jean-Louis, 1995. *Les épistémologies constructivistes*. Paris : Presses universitaires de France. Que sais-je ? éd.2007.
- LINDSEY, Bruce, 2001. *Digital Gehry: Material Resistance, Digital Construction*. Basel : Birkhäuser. ISBN 978-3-7643-6562-2.
- MARIN, Philippe, 2020. *Numérisation du réel, un regard sur le flux informationnel en architecture* [en ligne]. Habilitation à diriger des recherches. Université de Lille. [Consulté le 4 avril 2022]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03153388>
- MASLOW, Abraham H., 1943. A theory of human motivation. *Psychological Review*. 1943. Vol. 50, n° 4, pp. 370-396. DOI [10.1037/h0054346](https://doi.org/10.1037/h0054346).
- MENGES, Achim et AHLQUIST, Sean (éd.), 2011. *Computational design thinking*. Chichester : Wiley. AD Reader. ISBN 978-0-470-66570-1.
- MIGAYROU, Frédéric (éd.), 2003. *Architectures non standard*. Paris : Centre Pompidou. ISBN 978-2-84426-231-8.
- NEGROPONTE, Nicholas, 1969. Towards a Humanism Through Machines. *Architectural Design*. 1969. Vol. 7, n° 6, pp. 511-512.
- OLDENBURG, Ray, 1989. *The great good place: cafés, coffee shops, community centers, beauty parlors, general stores, bars, hangouts, and how they get you through the day*. New York, NY: Paragon House. ISBN 978-1-55778-110-9.
- OXMAN, Rivka E. et OXMAN, Robert M. (éd.), 2014. *Theories of the Digital in Architecture*. London; New York : Routledge, Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-415-46923-4.
- PASK, Gordon S., 1975. *Conversation, Cognition and Learning: A Cybernetic Theory and Methodology*. Amsterdam : Elsevier. ISBN 978-0-444-41193-8.
- PIAGET, Jean (éd.), 1967. *Logique et connaissance scientifique*. Paris : Gallimard. Encyclopédie de la Pléiade, 22. ISBN 978-2-07-010413-0.
- PICON, Antoine, 2010. *Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Professions*. Basel : Birkhäuser. ISBN 978-3-0346-0261-7.
- PROULX, Jean, 2004. *L'apprentissage par projet*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec. Collection Formules pédagogiques. ISBN 978-2-7605-1294-8.
- RAUCENT, Benoit, MILGROM, Elie, BOURRET, Bernard, HERNANDEZ, Anne et ROMAND, Christophe, 2013. *Guide pratique pour une pédagogie active : les APP... apprentissages par problèmes et par projets*. Toulouse : Louvain-la-Neuve : INSA Toulouse : Ecole polytechnique de Louvain. ISBN 978-2-87649-059-8.
- ROOBAERT, Louis et CLAEYS, Damien, 2022. Trois modalités conversationnelles en conception architecturale : apports de la théorie de la conversation de Gordon S. Pask. JACQUOT, K. et LEQUAY, H. (éd.), *SHS Web of Conferences*. 2022. Vol. 147, pp. 04002. DOI [10.1051/shsconf/202214704002](https://doi.org/10.1051/shsconf/202214704002).
- SCHEER, David R., 2014. *The Death of Drawing: Architecture in the Age of Simulation*. London : New York : Routledge. ISBN 978-0-415-83496-4.
- SCHÖN, Donald A., 1983. *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. New York, NY : Basic Books. ISBN 978-0-465-06874-6.
- SCHÖN, Donald A., 1985. *The Design Studio: An Exploration of Its Traditions and Potentials*. RIBA Publications for RIBA Building Industry Trust. London : Portland, OR : RIBA Publications for RIBA Building Industry Trust; Exclusive distributor, ISBS. Architecture and the higher learning. ISBN 978-0-947877-45-3.
- SIMPSON, Elizabeth J., 1972. *The Classification of Educational Objectives in the Psychomotor Domain*. Washington, DC : Gryphon House.
- SPUYBROEK, Lars, 2004. *NOX. Machining Architecture*. New York: Thames & Hudson. ISBN 978-0-500-28519-0.
- TARDIF, Jacques, 2006. *L'évaluation des compétences. Documenter le parcours de développement*. Montréal, Québec, Canada : Chenelière Éducation.
- TARDIF, Jacques, 2017. Des repères conceptuels à propos de la notion de compétence, de son développement et de son évaluation. In : POUMAY, Marianne, TARDIF, Jacques et GEORGES, François (éd.), *Organiser la formation à partir des compétences : un pari gagnant pour l'apprentissage dans le supérieur*. Louvain-la-Neuve : De Boeck supérieur. pp. 15-37. Pédagogies en développement.
- TYLER, Ralph W., 1949. *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. Chicago, Il : University of Chicago Press. ISBN 978-0-226-82031-6.
- VYGOTSKY, Lev S., 1978. *Mind in Society. Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA : Harvard University Press. ISBN 978-0-674-57629-2.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Table taxonomique pour la CFAO

Table originelle à deux entrées

		Dimension des processus cognitifs						
		1	2	3	4	5	6	
		Mémoriser	Comprendre	Appliquer	Analyser	Évaluer	Créer	
Dimension des connaissances	A	Savoir Factual						
	B	Connaissance conceptuelle						
	C	Connaissance procédurale						
	D	Connaissance métacognitiv						

Dimension des processus cognitifs

Sous-catégorie générique	Exemple spécifique	Processus pédagogique 1	Processus pédagogique 2
<b>1. Mémoriser</b>			
<b>1.1.</b> Reconnaître : localiser la connaissance précédemment transmise	Reconnaître l'iconographie et savoir à quoi correspond un outil	La structuration du cours en différentes séances, permet de reconvoquer, séance après séance, divers éléments	L'ensemble des moyens pédagogiques mis en place (théorie, <i>sample</i> , expérimentation créative...) permet d'utiliser, plusieurs fois, les mêmes processus dans différentes situations, afin d'intégrer pleinement leur logique
<b>1.2.</b> Identifier : retrouver le savoir lié à un élément dans la mémoire à long terme	Réutiliser une action apprise dans un <i>sample</i> telle qu'une opération booléenne pour construire l'exercice d'expérimentation créative		
<b>2. Comprendre</b>			
<b>2.1.</b> Interpréter : changer la forme d'une information	Convertir le message émis en une information compréhensible pour le récepteur	La compréhension est encouragée par la phase d'explication, durant laquelle un modèle est reconstitué progressivement, étape par étape, permettant ainsi une appropriation d'une série d'actions	La compréhension s'opère durant la phase théorique, lorsque les enseignants font des rappels sur les outils et fournissent des exemples d'application concrets pour
<b>2.2.</b> Exemplifier : s'approprier une information	Associer la catégorie d'outil des courbes sur Rhino3D vers		

	les outils correspondants sur AutoCAD		illustrer les composantes d'une catégorie d'action spécifique
<b>2.3.</b> Classifier : localiser la connaissance	Déterminer à quelle catégorie d'outils appartient l'action addition booléenne		
<b>2.4.</b> Résumer : catégoriser une information	Abstraire les actions étudiées dans le <i>sample</i> pour les contextualiser dans l'ensemble du logiciel		
<b>2.5.</b> Inférer : tirer des conclusions logiques	Appliquer par transposition le savoir de l'addition booléenne vers la soustraction booléenne		
<b>2.6.</b> Comparer : reconnaître la correspondance	Comparer le fonctionnement et l'enchaînement des opérations nécessaires pour découper des surfaces par rapport à la découpe de mailles		
<b>2.7.</b> Expliquer : construire des systèmes causaux	Construire un modèle de programmation visuel dans Grasshopper, où les effets de chaque étape du processus sont identifiables sur le résultat		
<b>3. Appliquer</b>			
<b>3.1.</b> Exécuter : appliquer une procédure non-connue à une tâche familière	Réaliser une opération booléenne pour joindre deux polygones au lieu d'utiliser les actions « couper » et « joindre »	L'application est facilitée par la phase 2, qui encourage les étudiants à reconstruire, étape par étape, le modèle sélectionné par les enseignants	Pour s'entraîner, les étudiants disposent, à chaque séance, d'un <i>sample</i> composé d'environ 40 mini-exercices. Ces exercices les immergent dans l'ensemble des actions possibles, dans divers environnements d'un outil d'un logiciel
<b>3.2.</b> Implémenter : appliquer une procédure connue à une tâche non familière	Transposer le concept d'addition booléenne appliqué aux polygones vers une addition booléenne de solides		
<b>4. Analyser</b>			
<b>4.1.</b> Différencier : distinguer l'élément pertinent dans une action	Dans un script visuel conçu sur Grasshopper, distinguer ce qui constitue une variable de ce qui définit un paramètre	L'analyse est stimulée par l'impact direct de l'action, immédiatement mise en œuvre sur la reconstruction du modèle	Après la découverte de la thématique au travers d'un <i>sample</i> , un exercice de fin de séance est proposé aux étudiants, en mobilisant l'ensemble des actions apprises dans l'élaboration d'une occurrence. Les étudiants sont alors encouragés à déconstruire le modèle mental pour identifier une série d'actions permettant sa construction
<b>4.2.</b> Organiser : déterminer la façon dont les éléments fonctionnent dans un système	Structurer un script visuel dans Grasshopper de manière à ce que chaque séquence d'actions soit identifiable		
<b>4.3.</b> Attribuer : déterminer le point de vue	Identifier le point de vue de l'auteur d'un script visuel afin de pouvoir l'adapter		
<b>5. Évaluer</b>			
<b>5.1.</b> Vérifier : détecter les erreurs dans un processus	Dans un script visuel dans Grasshopper, identifier les entrées qui empêchent le processus de fonctionner correctement	L'évaluation ne se fait qu'à travers la comparaison entre la reconstitution du modèle effectuée par les enseignants et celle réalisée par les étudiants	En dehors des moments réservés à l'enseignement transmissif, l'interaction est encouragée à la fois entre les étudiants et entre les étudiants et les enseignants, permettant de vérifier leur compréhension de l'information, mais également de favoriser le débat entre eux pour approfondir leur connaissance
<b>5.2.</b> Critiquer : détecter les incohérences entre un objectif et un modèle	Parmi toutes les méthodes étudiées, choisir la plus appropriée pour répondre à l'énoncé		
<b>6. Créer</b>			
<b>6.1.</b> Générer : créer une famille de solution répondants aux contraintes	Élaborer un script visuel dans Grasshopper intégrant des variables conçues pour générer une population satisfaisant les objectifs fixés	/	Chaque séance se termine par la création d'un artefact libre par chaque étudiant en lien avec la thématique abordée. À travers cette réalisation, les

<b>6.2.</b> Concevoir : décomposer une procédure pour atteindre les objectifs	Diviser le problème en plusieurs parties pour identifier les variables et établir un algorithme capable de générer des modèles		étudiants doivent appliquer individuellement l'ensemble des connaissances acquises pour produire une version originale de l'artefact
<b>6.3.</b> Produire : capacité à créer un projet	Capacité à définir les variables, les paramètres et les procédures nécessaires pour réaliser le modèle escompté		

### Dimension des connaissances

Dimension des connaissances génériques	Exemple spécifique
<b>A. Savoir factuel</b>	
<b>A.1.</b> Connaissance de la terminologie	Identifier les icônes associées aux différentes actions, maîtriser le vocabulaire technique spécifique, connaître les noms des commandes et s'appropriier la terminologie propre aux logiciels utilisés
<b>A.2.</b> Connaissance des détails spécifiques	Comprendre les effets des actions et des sous-actions des commandes, telles que la manière de réaliser une opération booléenne, y compris l'accès aux paramètres de l'opération pour choisir des options spécifiques comme la décision de supprimer ou non le volume résultant de l'opération
<b>B. Connaissance conceptuelle</b>	
<b>B.1.</b> Connaissance des classifications et des catégories	Connaître la catégorie d'opération à laquelle appartient une action spécifique, telle que les courbes, les solides, les surfaces, les points, les <i>nurbs</i>
<b>B.2.</b> Connaissance des principes et des généralisations	Savoir situer les outils dans l'ensemble des opérations 3D (composer, décomposer, déformer, répéter, récuser)
<b>B.3.</b> Connaissance des théories, des modèles et des structures	Savoir quand engager un processus de modélisation 3D, paramétrique, génératif et les inputs nécessaires à sa réalisation
<b>C. Connaissance procédurale</b>	
<b>C.1.</b> Connaissance d'une compétence spécifique à un sujet	Sujet spécifique : les solides. Compétence visée : maîtriser l'opération booléenne d'addition. L'objectif est d'acquérir la capacité de comprendre comment utiliser l'addition booléenne pour efficacement fusionner deux solides
<b>C.2.</b> Connaissance des techniques et des méthodes spécifiques à un sujet	Sujet spécifique : les solides. Compétence visée : maîtriser l'utilisation des opérations booléennes. Cela inclut la capacité de mettre en œuvre une opération booléenne avec ses sous-options spécifiques et de déterminer la séquence appropriée des commandes à utiliser
<b>C.3.</b> Connaissance des critères pour savoir quand utiliser la méthode appropriée	Sujet spécifique : les solides. Compétence visée : les opérations booléennes. Déterminer le moment approprié pour utiliser l'addition, la soustraction et la division entre des solides
<b>D. Connaissance métacognitive</b>	
<b>D.1.</b> Connaissance stratégique	Déterminer les possibilités et les limites d'un logiciel, ainsi que de chacune de ses sous-parties. Planifier l'utilisation d'une séquence logique d'opérations pour réaliser un projet
<b>D.2.</b> Connaissance des tâches cognitives	Déterminer l'effort nécessaire pour atteindre un objectif spécifique. Connaître l'évaluation du travail nécessaire, évaluer le choix logique des outils les plus appropriés pour accomplir une tâche donnée
<b>D.3.</b> Connaissance de soi-même	Développer une capacité d'auto-critique, en apprenant à évaluer et à se positionner par rapport à ses propres connaissances

**ANNEXE 2 : Répartition des activités pédagogiques**

Année 2021-22 (PPO – 124 étudiants)				
Semaine	Locaux	Activités	Remises	Exercices et compétences par séance
1	auditoire	théorie 1		introduction théorique CFAO
2	auditoire	théorie 2	en ligne - PDF	introduction théorique CFAO
3	salle informatique	TP Rhino 3	en ligne - PDF	exercice 1 - Sol Lewitt - modélisation 3D
4	salle informatique	TP Rhino 4	en ligne - PDF	exercice 2 - Mies van der Rohe - 2D à la 3D
5	salle informatique	TP Rhino 5	en ligne - PDF	exercice 3 - Sami Rintala - création et modification 3D
6	salle informatique	TP Rhino 6	en ligne - PDF	exercice 4 - toiture/façade - formes complexes
7	salle informatique	TP Rhino 7	en ligne - PDF	exercice 5 - tour - langage paramétrique
8	salle informatique	TP Rhino 8	en ligne - PDF	exercice 7 - banc - lien RH et GH 1
9	fab-lab	fab-lab part 1		usages et fonctionnalités de la découpeuse laser
10	fab-lab	fab-lab part 2		usages et fonctionnalités de l'impression 3D
11	salle informatique	TP GH 1	en ligne - PDF	exercice 7 - banc - Lien RH et GH 2
12	salle informatique	TP GH 2	en ligne - PDF	exercice 8 - banc - form to fab
Examen	en atelier	jury	défense orale	synthétiser

Année 2022-23 (APC – 129 étudiants)				
Semaine	Locaux	Activités	Remises	Exercices et compétences par séance
1	auditoire	théorie		introduction théorique CFAO
2	salle informatique	TP Rhino 1	en ligne - PDF	exercice 1 - façade - transcription des savoirs 2D
3	salle informatique	TP Rhino 2	en ligne - PDF	exercice 2 - château - modélisation 3D
4	salle informatique	TP Rhino 3	en ligne - PDF	exercice 3 - façade - 2D à 3D et 3D à 2D
5	salle informatique	TP Rhino 4	en ligne - PDF	exercice 4 - Element House - Modification 3D
6	salle informatique	TP Rhino 5	en ligne - PDF	exercice 5 - halle - formes complexes
7	salle informatique	TP Rhino 6	en ligne - PDF	exercice 6 - pattern - optimisation du dessin
8	salle informatique	TP GH 1	en ligne - PDF	exercice 7 - tours - langage paramétrique
9	fab lab	fab lab part 1		usages et fonctionnalités de la découpeuse laser
10	fab lab	fab lab part 2		usages et fonctionnalités de l'impression 3D
11	salle informatique	TP GH 2	en ligne - PDF	exercice 8 - Artefact - Lien RH et GH
12	salle informatique	TP GH 3	en ligne - PDF	exercice 9 - maquette de site form to fab
Examen	palmeraie	jury	défense orale	synthétiser

**ANNEXE 3 : Grille d'évaluation critériée adaptée d'après la « table taxonomique » d'Anderson & Krathwohl (2001)**

		1		2						3		4			5		6			
		Mémoriser		Comprendre						Appliquer		Analyser			Évaluer		Créer			
		1.1 Reconnaître	1.2 Récupérer	2.1 Interpréter	2.2 Exemplifier	2.3 Classifier	2.4 Résumer	2.5 Inférence	2.6 Comparer	2.7 Expliquer	3.1 Exécuter	3.2 Implémenter	4.1 Différencier	4.2 Organiser	4.3 Attribuer	5.1 Vérifier	5.2 Critiquer	6.1 Générer	6.2 Concevoir	6.3 Produire
2022	Dupliquer	répétition		explication de la référence + structuration de sa modélisation						reproduction de la modélisation		analyse de l'action			correspondance référence et résultat		NA			
2023	Itérer	exercices répétés et continuité temporelle		théorie, cas concrets, prise de notes, appropriation						<i>samples</i> pour s'exercer à chaque savoir		déconstruction de l'énoncé de fin de séance en une série d'action			interaction entre les étudiant.es entre eux et avec les enseignants		création d'artefacts personnels pour appliquer les connaissances (exercice fin de séance)			