

Introduction à la conception numérique

Projet

- Refonte du cours de « Géométrie pour l'architecture I » S1 / U11-GES
- Coursus : Licence 1, Semestre 1
- Poids horaire : CM (19.5h) TD (26h) Groupes : 6
- Responsable du projet : Milovann Yanatchkov

Historique

- Ce document : version 2 du 22/06/22
- Versions antérieures :
- 08/06/22
 - réunion du champ STA, présentation d'une proposition de cours de « culture numérique »
 - après discussion, projet de refonte globale du cours de Daniel Léonard
- 13/06/22
 - réunion du champ STA, présentation d'une proposition « version 1 » sur la base d'une année de transition avec TD alternés Geogebra/Blender
 - après discussion, proposition d'une refonte globale des CM et TD sans les cours d'Emmanuel Claisse ni les TD Geogebra d'Yvan Monari. Milovann s'engage à produire un synopsis du cours, le groupe s'est engagé à trouver des solutions pour la mise en œuvre (intervenant en CM, moniteurs en TD) d'un cours entièrement nouveau dans des délais très restreints.

Contexte

Architecture et conception numérique

- La **numérisation** des pratiques de conception est une tendance de fond qui transforme l'ensemble du **secteur AEC** (Architecture Ingénierie Construction).
- Depuis le passage au BIM (Building Information Modeling) dans la décennie 2000-2010, de nouveaux instruments et de nouvelles pratiques (**maquette numérique**) ont bouleversés l'« **ordre** » de la **représentation**.

- Ces nouvelles modalités de représentation numérique se traduisent également dans de nouvelles approches de la conception en terme d'**information** (sous formes algébriques et vectorielles) et de **modélisation** (formalisation des savoirs et des problématiques de conception, mise en équation, etc.).
- Ces nouvelles modalités de **conception numérique** forment un champ riche et transversal qui requiert un corpus spécifique de connaissances et de savoir-faire.

Enseignements de la conception numérique

- La **conception numérique** est un champ complexe qui fait appel à un corpus « hybride » de notions mathématiques, informatiques, historiques et culturelles ; un vaste corpus qui nécessite un apprentissage graduel tout au long des années de licence dans le cadre du « tronc commun » ouvrant, par la suite, à des spécialités en master (**BIM Manager, Designer Génératif,...**)
- Une majorité des enseignants du champ STA constate que l'enseignement de la conception numérique n'atteint pas entièrement ses objectifs, créant parfois des problèmes de compétence dans les masters spécialisés. Il a été identifié que pour remédier à cette problématique, l'enseignement de la conception numérique devait **débuter plus tôt dans le cycle licence, dès la première année.**

Enseignements des mathématiques et de la géométrie

- L'enseignement de la conception numérique débute aujourd'hui en **licence 2** avec le cours de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur).
- La **licence 1** est aujourd'hui consacrée à l'apprentissage des mathématiques et de la géométrie descriptive.
- Le cours actuel de **géométrie pour l'architecture** (D. Léonard) propose un enseignement des notions essentielles de la géométrie et des mathématiques avec le logiciel **Geogebra** qui est notamment utilisé dans l'enseignement secondaire. Le nouveau cours se donne pour objectif de « traduire » progressivement ces notions géométriques et mathématiques dans le domaine plus spécifique de la conception numérique.
- Les méthodes contemporaines de conception numérique (maquette numérique, programmation visuelle, etc.) diffèrent radicalement des techniques historiques de la **géométrie descriptive** qui sont utilisées dans le dessin traditionnel sur papier tel qu'il est pratiqué aujourd'hui en atelier de projet en première année. Ce projet d'introduction à la conception numérique ne propose pas de remettre en cause la validité du dessin « à la main », mais de proposer l'autre « versant » numérique, d'une double culture analogique et numérique, une double culture qui devrait être **géométrique et algébrique.**

Enjeux environnementaux

- Le projet à pour ambition d'inscrire ces problématiques dans le cadre plus général de la crise environnementale et de la **transition écologique** qui est un enjeu majeur pour l'architecture.
- La conception numérique peut être l'un des leviers pour répondre au problème du changement climatique. Cela implique une montée en compétence des professionnels et donc des étudiants et une connaissance plus large des réalités de la « civilisation numérique ». Cette connaissance transversale se traduit par la nécessité d'enseigner le numérique en tant

que **culture numérique** « élargie », au-delà de l'apprentissage des seuls outils informatiques.

Objectifs

Le cours a pour objectif de faire découvrir les enjeux contemporains, les notions fondamentales et les savoir-faire associés à la conception numérique à travers les trois domaines de :

- la culture numérique (ou littératie numérique),
- des mathématiques, et
- des techniques de modélisation polygonale.

Une triple approche permettant conjointement de :

- découvrir l'histoire des mathématiques et de l'informatique, de
- renforcer la connaissance et la maîtrise des notions mathématiques essentielles, et d'
- apprendre à fabriquer des maquettes d'étude numériques.

L'objectif poursuivi étant de :

- comprendre les enjeux spécifiques de la civilisation numérique post-carbone,
- appréhender les mathématiques numériques comme un instrument au service de la pensée constructive, et de
- connaître et pratiquer les géométries synthétiques et analytique à travers l'expérimentation de la maquette numérique polygonale.

APC

Les acquis du cours sont donc de trois ordres :

- 1) Acquisition d'une culture numérique en phase avec les transformations techniques et sociétales contemporaines.
- 2) Acquisition d'une culture mathématique adaptée à la conception numérique.
- 3) Acquisition d'un savoir-faire de modélisation polygonale associé la connaissance des logiques numériques sous-jacentes.

Les acquis d'apprentissage d'un cours d'« introduction à la conception numérique » en tant que « refonte » et « mise à jour » du cours de « Géométrie pour l'architecture » ne font pas explicitement parti de la grille « approche par compétence » actuelle (APC). Les compétences actuellement répertoriées qui entrent dans le cadre de ce nouveau cours sont recensées dans la partie de A de cette grille :

- A. Recourir à des modes de représentation variés pour décrire, comprendre et concevoir des objets
- A.1. Utiliser les outils, techniques et conventions graphiques adaptées pour représenter bidimensionnellement et tridimensionnellement les corps physiques

Une partie des compétences formant la spécificité et la transversalité du nouveau cours d'« introduction à la conception numérique » sont recensés au premier semestre de licence 1 (S1), une partie au premier semestre de licence 2 (S3). A cela il s'agit d'intégrer des acquis qui ne font pas directement partis des « outils », « techniques » et « conventions » tels que les notions de « culture numérique » et d'« histoire des mathématiques ».

Cours magistral

- Poids horaires (19,5h)
- Calendrier : cours les mercredis matin de 9h45 à 11h45
- 10 séances de 2h

Contenu

Le cours magistral d'« introduction à la conception numérique » a pour objectif de faire découvrir la spécificité des « mathématiques numériques » dans le contexte des enjeux liés aux nouvelles modalités de conception numérique. La spécificité de ce champ est la transversalité de ses notions qui font référence aux mathématiques, à l'informatique et à l'architecture. Le cours a pour ambition d'apporter aux étudiants une vision panoramique de cette « culture numérique » qui est propre au domaine AEC (Architecture, Engineering, Construction). Le cours est organisé par grand thèmes tels que « nombre, espace, modèle, ... ». Chaque thème donne lieu à une approche historique des mathématiques et du numérique, associée à des notions pratiques et à des références architecturales.

Bibliographie

- Carpo, Mario. The Digital Turn in Architecture 1992-2012. Londres, Wiley, 2013.
- Ching, Francis, Architecture : Form, space, and order, John Wiley & Sons, 2014.
- Berry Gérard, Hyperpuissance informatique, Odile Jacob, Paris, 2017.
- Escofier, Jean-Pierre, Petite histoire des mathématiques, Dunod, Paris, 2016.
- Lazard Emmanuel, Khun Pierre-Mounier, Histoire illustrée des mathématiques, Edp Sciences, 2022.
- Menges Achim, Ahlquist Sean, Computational Design Thinking, Londres, Wiley, 2011.
- Picon Antoine, Culture numérique et architecture : une introduction, Birkhäuser, Bâle, 2010
- Pottmann Helmut et al. Architectural Geometry, Bentley Institute Press, 2007
- Torra Vicenç, Du boulier à la révolution numérique, RBA France, 2013.
- Terracol Pascal, Vocabulaire de géométrie, Presse des Ponts, Paris, 2017.

1. Conception numérique

- Qu'est-ce que la « conception numérique » ?
- Présentation des enjeux « numériques » pour la conception de l'architecture à l'ère de l'anthropocène.

Notions mathématiques

- Cours d'introduction sur le sens des mathématiques du point de vue de l'architecture
- Origine de la géométrie et des mathématiques

Notions numériques

- Cours d'introduction générale sur le numérique et la conception numérique
- Origines de l'informatique

2. Espace

- Qu'est-ce que l'« espace » du point de vue des mathématiques ?
- Quelles différences entre géométries euclidienne, analytique et numérique ?

Notions mathématiques

- Théorème de Thalès
- Règle de trois
- Introduction à la notion de dimension
- Éléments de géométrie : points, lignes, plans
- Notion d'espace affine

Notions numériques

- Nombres binaires, entiers et flottants
- Notion de fichiers et de format de donnée

3. Nombres et figures

- Comment « dessiner avec des nombres » ?
- Quelles articulations entre algèbre et géométrie ?

Notions mathématiques

- Polygones et polyèdres
- Coordonnées cartésiennes
- Notion de vecteur

Notion numérique

- Notion d'objet et de surface maillée

4. Projections et transformations

- Fonctions et applications
- Projections affines

Notions mathématiques

- Transformations dans l'espace : translation, rotation, échelle
- Projection parallèles et projections coniques

Notions numériques

- Opérations vectorielles
- Homothétie et projection

5. Modèles

- Qu'est-ce qu'un modèle du point de vue mathématique ?

Notions mathématiques

- Systèmes de coordonnées globales et locales
- Notion de topologique

Notions numériques

- Objets et données : scène, objets, données
- Continuités géométriques
- Pivots et centres de transformation

6. Courbure

- Comment tracer un cercle numériquement ?

Notions mathématiques

- Mesures d'angles (degrés et radians)
- Notions de trigonométrie

Notions numériques

- Notion d'échantillonnage et de résolution
- Courbe de Béziérs

7. Surface

- Qu'est-ce qu'une surface paramétrée ?

Notions mathématiques

- Notion de tangence et de courbure
- Surfaces développables

Notions numériques

- Splines et nurbs
- Coordonnées UV

8. Structure

- Qu'est-ce qu'une structure de donnée ?

Notions mathématiques

- Notions d'arbre et de graphe

Notions numériques

- Structures de données
- Bases de données

9. Algorithme

- Qu'est-ce qu'un algorithme ?

Notions mathématiques

- Grammaires et langages formels
- Algèbre booléenne et table de vérité

Notions numériques

- Notions informatiques d'instruction, de condition, de boucle
- Langages et interfaces de programmation utilisateur

10. Computation

- Qu'est-ce qu'une démarche « computationnelle » en architecture ?
- Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?

Notions mathématiques

- Complexité, inférence, probabilité

Notions numériques

- Conception pilotée par les données
- Algorithmes génétiques

TD

Les travaux dirigés sont une mise en application des notions numériques et mathématiques découvertes pendant les cours magistraux. Cette mise en pratique passe par l'apprentissage de la modélisation polygonale comme instrument complémentaire à la géométrie descriptive pour apprendre à voir dans l'espace en associant points de vue géométrie et algébrique, approches synthétiques et analytiques. Les TD donnent lieu à des exercices de conception permettant de découvrir dans la pratique le fonctionnement des systèmes numériques et des logiciels de conception.

Malgré la différence entre les deux géométries analogiques et numériques précédemment évoquée, une partie des notions essentielles de la géométrie descriptive et de la géométrie euclidienne (comme les notions de projection, de parallélisme, etc.) restent valides dans le corpus de la conception numérique qui comprend 3 niveaux :

- 1- Esquisse numérique
- 2- Modélisation numérique
- 3- Méthodes algorithmiques

Les TD du cours d'« introduction à la conception numérique » se concentrent principalement au niveau de l'**esquisse numérique** avec la découverte des logiques de **modélisation polygonale** qui sont propres aux logiciels basés sur des **maillages** (*mesh*). **Blender**, en tant que logiciel libre semble indiqué pour cet objectif car il est librement et gratuitement accessible pour l'ensemble des étudiants sur les trois systèmes d'exploitation (PC,Mac,Linux).

Les exercices se présentent sous la forme d'une série de petits « projets » à construire sur la base d'éléments simples et réguliers attachés à des contraintes mettant en œuvre des notions mathématiques et des techniques de modélisation.

1. Environnements numériques

- Objectif : découvrir les notions de base des environnements numériques contemporains.
- Notions de système, de logiciel, de fichier, d'arborescence, etc.

2. Esquisse numérique

- Objectif : apprendre à « dessiner avec des nombres ».
- Découvrir les objets maillés.
- Découvrir les primitives géométriques : point, ligne, plan

3. Construire des polygones

- Objectif : construire des figures régulières et des volumes simples.
- Stratégies de modélisation par déplacement, copie, subdivision, etc.
- Mise en pratique des notions mathématiques pour le calcul des dimensions.

4. Assembler et modifier des objets

- Objectif : se familiariser avec les notions de repère, d'espace local et d'espace global.
- Découvrir le principe d'objet, d'opérateur, de modificateur, de calque.

5. Volumes à partir d'épures

- Objectif : apprendre à construire des volumes à partir d'épures planaires.

6. Pavages et appareillages

- Objectif : apprendre à décomposer une forme en une série régulière d'éléments géométriques.
- Trames, réseaux, calepinages et appareillages.

7. Construire un escalier

- Objectif : aborder intuitivement la notion de vecteur.
- Quantités relatives et quantités absolues.

8. Phares et campaniles

- Objectif : apprendre à se servir de la trigonométrie pour la construction de géométries courbes.

9. Charpentes et toitures

- Objectif : mise en pratique des méthodes de modélisation polygonale et des outils mathématiques essentiels pour la construction d'un objet « complexe ».

10. Formes paramétriques

- Objectif : mettre en pratique la notion d'algorithme à travers la construction d'un objet paramétrique.