



Pratique de l'optimisation environnementale dans le cadre de l'expérience du projet architectural en Belgique (1997-2023)

The practice of environmental optimisation as part of the architectural project experience in Belgium (1997-2023)

Pascal Simoens^{1,2,3*}, Vincent Pirnay⁴, Mohamed-Anis Gallas^{3,5,6}

- ¹ Candidat au doctorat,
- ² Cours Villes intelligentes, faculté d'architecture et d'urbanisme, UMONS, BE
- ³ Institut Numédiart, Filière de projet D(a)T+A, UMONS
- ⁴ Ingénieur mécanicien, administrateur délégué POLY-TECH Engineering, groupe Pirnay
- ⁵ Dr en Sciences de l'Architecture
- ⁶ Cours de BIM, modélisation paramétrique, architecture cultures numériques et prospectives, FAU UMONS, BE

Résumé : La place du numérique dans les équipes de conceptions a profondément évolué ces 30 dernières années. L'objectif de cet article est de retracer les évolutions et (r)évolutions, par comparaison des enjeux de la conception architecturale durable en Belgique depuis les années 1990. Cette analyse traverse les différents métiers de la conception en focalisant plus particulièrement sur les métiers d'architecte et d'ingénieur en techniques spéciales qui furent en première ligne pour répondre aux enjeux climatiques. Les auteurs proposent une ligne du temps décrivant deux évolutions : la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et simulations dynamiques d'une part et la conception BIM (Building Information Management) / paramétrique d'autre part, qui se rencontrent aujourd'hui pour répondre aux nouvelles exigences environnementales qui vont à nouveau transformer les approches conceptuelles et les métiers. L'article se lit comme le récit d'expériences et d'utilisation d'un large panel d'outils numériques par des praticiens. La conclusion propose une piste de réflexion au croisement de la CAO/DAO où les simulations dynamiques pourraient rejoindre ceux du développement paramétrique de l'architecture pour répondre à certains enjeux contemporains de l'architecture et du développement durable.

Mots-clés : conception environnementale, normes, outils numériques, métiers, application

[Abstract: The Article explores the evolution of environmental optimization in architectural design in Belgium from 1997 to 2023. It focuses on the integration of digital technology in design teams, highlighting the transition from Computer-Aided Design (CAD) and dynamic simulations to Building Information Management (BIM) and parametric design. The authors discuss the increasing importance of environmental considerations in architecture, driven by climate change challenges. They also emphasize the need for new approaches in design and the evolving roles of Belgian architects and engineers in this context.]

Keywords : environmental design, standards, digital tools, professions, application

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un récit, la ligne du temps s'inscrit de manière singulière en accompagnant l'expérience individuelle de son ou ses auteurs. Nous allons raconter l'évolution des outils numériques sous la forme d'entrelacements parallèles du temps des architectes et ingénieurs œuvrant pour une conception architecturale durable en Belgique, incluant la conception paramétrique. Il est fait état de l'histoire personnelle des auteurs qui ont débuté leur carrière dans la seconde moitié des années 1990 par deux parcours parallèles les amenant à concevoir et accompagner des projets de toutes ampleurs (de 150 à 150.000 m²) tout en développant chacun une approche intimement liée à l'innovation numérique, tant dans le design paramétrique (Extension du parlement bruxellois, 2010) que du développement durable (design PhPP et certification BREEAM). Ce parcours croisé se matérialise dernièrement par le défi futur et commun du recyclage du pavillon belge de l'exposition universelle d'Osaka en 2025 au Japon (voir image 1 ci-dessous).



Image 1 - Projet lauréat du pavillon belge à Osaka (2025) conçu pour être entièrement démontable et reconstruit en Belgique. Carré 7 - Beyond de Limits - Groupe Pirnay, arch. Cyril Rousseaux.

Ces deux parcours parallèles et croisés relatent l'évolution des méthodes de conception et d'ingénierie des processus de projets durables dans la construction autant que la mesure de celles-ci pour atteindre des objectifs partagés de soutenabilité.

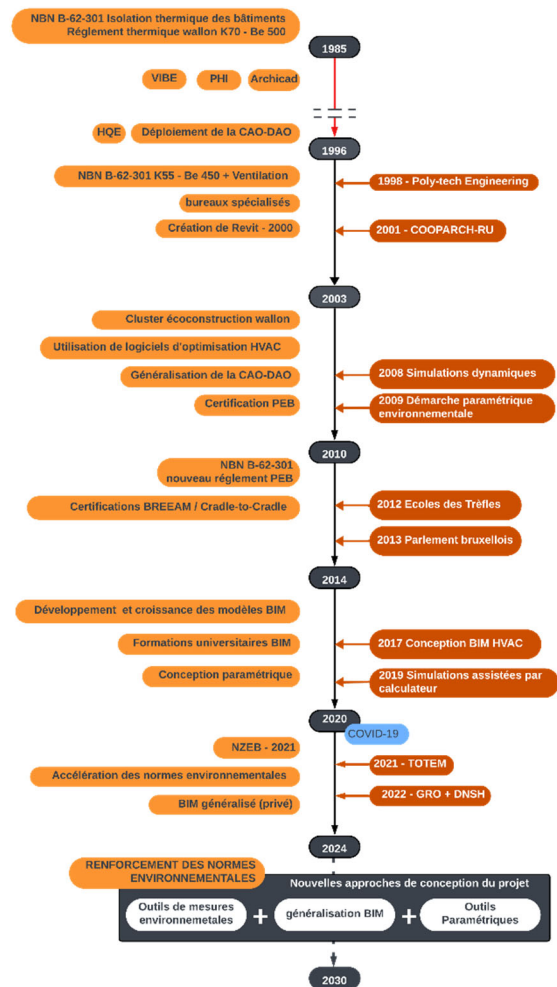


Figure 1 - Ligne du temps du découpage des périodes développées dans l'article. En orange : évolutions générales, en brun : intégration des travaux des auteurs.

UNE LIGNE DU TEMPS DES ACTEURS DU PROJET À TRAVERS LES USAGES NUMÉRIQUES

1996-2002 : transitions vers le dessin assisté et débuts d'une conscience environnementale

Cette période commence par le début de carrière des deux auteurs dans la vie professionnelle. Après des études d'architecture (Institut supérieur d'architecture de Mons) et d'urbanisme (Université Libre de Bruxelles), Pascal Simoens démarre sa carrière par la construction d'une extension d'habitation en bois massif en menant une carrière parallèle dans un cabinet spécialisé dans la restauration patrimoniale avant de rejoindre la coopérative COOPARCH-RU en 2001 (20 collaborateurs et associés) dont il deviendra le

directeur quelques années plus tard. Dans le même temps, Vincent Pirnay réalise ses études d'ingénieur mécanicien à l'Institut Supérieur d'Ingénieurs de Bruxelles. Il rejoint ensuite l'entreprise familiale POLY-TECH ENGINEERING en 1998, bureau d'ingénierie en techniques spéciales, après un stage en mécanique (Allemagne) prolongé par une expérience dans une équipe d'ingénieurs espagnols.

1996 est une année charnière à bien des égards : la numérisation des bureaux d'architecture se généralise avec les premières générations d'étudiants formés aux outils de DAO (Autocad, Microstation, Archicad...). Cette numérisation à tâtons correspond plus à un déplacement de la table à dessin vers un écran d'ordinateur qu'un véritable changement de mode de production des dessins techniques. On notera toutefois déjà l'utilisation restreinte de logiciels 3D (add-ons Autocad p.e., Solitech, etc.) pour le positionnement des techniques dans les bâtiments. Dans le même temps, des tableurs de dimensionnement des systèmes de chauffage et de climatisation apparaissent sur le marché. En Belgique, le tableur Carrier, du nom de l'entreprise-fournisseur des systèmes du même nom, est fréquemment utilisé pour le dimensionnement de la ventilation et de la climatisation.

Dans la même période, les outils d'évaluation de l'isolation des bâtiments se professionnalisent. La réglementation sommaire initiée en 1984/85 par le gouvernement wallon et se basant sur la norme NBN B62-301 (Uyttenbrouck 1995) définissait une valeur K70 (performance énergétique tenant compte de la compacité et de l'isolation d'un bâtiment) devant tendre vers une valeur K55 et est associée à des exigences de ventilation ainsi qu'à la mise en place d'outils de contrôles permettant de mieux mesurer l'efficacité énergétique réelle des bâtiments. C'est un processus nouveau pour l'époque qui introduit une forme de quantification des solutions environnementales appliquées aux constructions qui anticipera quelques années plus tard la PEB¹ imposée par l'UE. 1996 est également la création du PHI² en Allemagne issu de la réflexion environnementale pour le développement d'un projet de logements situé à Darmstadt (1990). Le *Passiv Haus Institut* certifie des bâtiments passifs

PHPP³ basés sur un logiciel Adhoc. La notion de contrôle environnemental des constructions et la certification de ceux-ci entrent dans le vocabulaire architectural des auteurs de projets et la Flandre crée l'Institut flamand pour la construction et l'habitat bioécologiques (VIBE⁴).

2003-2009 : maîtrise des enjeux environnementaux et amélioration des calculs

Le basculement vers les années 2000 annonce une transformation profonde du marché de l'architecture en Belgique où émergent de nouvelles formes de compétences liées aux techniques d'isolation des bâtiments, inspirées des modèles allemands pour ensuite intégrer les modèles anglais et français telle la méthode HQE pourtant créée plus tôt en 1996. L'émergence en Belgique d'une démarche de conception environnementale poussée dans l'architecture est marquée par l'arrivée de nouvelles agences dites « spécialisées », telles que R2D2⁵ (1999), A2M⁶ (2000), ou le bureau d'architectes Coupeuz pour ne citer qu'eux. Dans le même temps, le cluster écoconstruction wallon est créé (2003).

Dans les bâtiments en construction, la question de la consommation énergétique devient un sujet courant, toutefois fréquemment mal maîtrisé par les architectes et ingénieur-e-s à la découverte des nœuds constructifs et des ponts thermiques. Le sujet devient un objet courant des discussions et une prise de conscience générale avec une spécialisation des compétences tels les certificateurs PEB⁷ se professionnalisent et amènent à un niveau d'exigence plus élevé. Cette certification oblige l'ensemble du monde de la construction à remettre en cause l'ensemble des processus opérationnels et de contrôles d'exécution, portés en cela par les pionniers depuis la fin des années 1990.

Les outils pour atteindre ces exigences sont la maîtrise AUTOCAD en 2D et la venue de logiciels environnementaux qui sont majoritairement des logiciels basés sur des tableurs améliorés par quelques formules de calculs spécifiques. Nous sommes encore loin d'outils à caractère paramétrique qui interagissent pour fournir des

¹ PEB : Directive 2002/91/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments. Elle tend à répondre (pour le secteur du bâtiment) aux engagements de l'Union dans le cadre du protocole de Kyoto.

² PHI : Passivhaus Institut, Darmstadt, GER

³ Le PHPP – Passive House Planning Package – est un logiciel programmé sous Excel (de Microsoft). C'est un outil d'accompagnement à la conception d'un bâtiment passif. Il contient une base de données expérimentales fournies par plus de 200 bâtiments sur plusieurs décennies.

⁴ VIBE : Vlaams Instituut voor Bio-ecologisch Bouwen en Wonen

⁵ <http://www.r2d2architecture.be/>

⁶ <https://www.a2m.be/>

⁷ Entrée en vigueur en Flandre en 2006, puis 2008 à Bruxelles et enfin 2010 en Wallonie

outils d'aide à la décision. Pour les architectes, et bien que les premières versions du BIM soient déjà sur le marché (Revit, Archicad ...), la dataification du projet est un horizon inconnu tandis que les ingénieurs en techniques liées au confort et l'environnement commencent à utiliser les outils de simulation et de conception dynamique dont la puissance suit celle des ordinateurs. Des logiciels comme TRNSYS, créée en 1976, *open source* et simulant les apports solaires passifs et actif (Cui, Overend 2019), commencent à recueillir un succès important auprès des ingénieurs désireux d'optimiser leurs calculs sur base de la maquette d'architecture. Ces logiciels permettent de passer d'une analyse des conditions nominales d'utilisations à des conditions d'utilisation partielles des bâtiments, ce qui impactera de manière significative la consommation d'énergie des systèmes tout en offrant une meilleure réponse au confort des utilisateurs. Dans le même laps de temps, on voit apparaître des bureaux spécialisés pour les questions de durabilité. Le bureau 3E⁸ en est certainement le pionnier à Bruxelles et en Belgique (1999).

Toutefois, les modes de partages d'informations entre les architectes et ingénieurs restent très ancrés dans des processus de projet liés aux méthodes traditionnelles, hiérarchisés par des tâches sélectives spécialisées et très peu collaboratives.

2010-2013 : Normalisation et calculs d'optimisation

2010 voit arriver la seconde vague de réglementations européennes pour la régulation énergétique des bâtiments (Official Journal of the European Union, 2010), venant renforcer la première directive de 2002 et pousse vers la construction basse énergie pour 2020. La certification professionnelle s'intensifie avec l'arrivée de véritables compétences qui étaient déjà acquises au niveau des projets de grande ampleur, mais qui restaient quelque peu à la traîne pour les constructions individuelles dans un contexte urbanistique où la construction par autopromotion constitue la grande majorité de la production (75 % du parc immobilier résidentiel)(Halleux 2009), inscrite en banlieue urbaine et répondant le mieux aux aspirations des classes moyennes (Desseroux, Romainville 2011).

Les architectes commencent à prendre conscience de l'apport de l'ingénierie environnementale pour atteindre les objectifs chiffrés qui sont fixés par les maîtrises d'ouvrage afin de répondre aux objectifs

de Kyoto. Les bureaux d'ingénieur-e-s approfondissent peu à peu leurs connaissances techniques environnementales par l'optimisation des systèmes et la réduction des besoins en énergie (pompes à chaleur, etc.) y compris pour les systèmes structurels avec des projets pionniers en CLT et, plus largement, les ossatures en bois qui se concrétisent en milieu urbain⁹. Les agences et architectes pionnier-e-s des années 2000 à 2010 deviennent incontournables, accompagnés par de nouveaux besoins auxquels les logiciels répondent de mieux en mieux. Ces mêmes logiciels renvoient alors à de nouvelles questions de conception qui ne pourront être résolues qu'avec une intégration plus poussée de la cocréation entre les architectes et ingénieurs en techniques spéciales. L'exemple représentatif de l'évolution des études est celui de la composition et la conception des enveloppes des bâtiments dont la maîtrise reste du chef du maître d'œuvre tandis que ce sont les ingénieurs qui calculent les apports de lumière, d'isolation et de surchauffe. On voit apparaître une profonde modification des processus de conception où le dénominateur commun est l'équation énergétique. Toutefois, ce processus reste très classique dans l'organisation des équipes de conception avec une séparation manifeste entre l'architecte (donneur d'ordre) et l'ingénieur en technique spéciale qui valide ou non la proposition d'un point de vue environnemental. Cette situation ne manque pas d'amener de nombreux problèmes en phase d'exécution où les résultats de simulation sont éloignés de la réalité de chantier et ensuite des usages.



Image 2 - École, crèche et salle de sport des trèfles à Anderlecht, arch. Arter et ingénieurs Poly-Tech Engineering. 2012. Immeuble passif. Crédit photo Georges De Kinder.

Néanmoins, l'alliance entre les architectes et les bureaux d'études s'intensifie en même temps que les exigences de la promotion immobilière et des pouvoirs publics augmentent. C'est le cas du projet de l'école des Trèfles à Bruxelles (arch. ATER¹⁰,

⁸ <https://www.3e.eu/>

⁹ Un brin de paille, habitation à ossature Bois et paille, arch. Karbon, 2013.

¹⁰ <https://www.arterarchitects.com/architecture-projects/ecole-les-tr%C3%A8fles>

2012), où le bureau d'études POLY-TECH Engineering propose une vision globale élargie pour la création d'un bâtiment passif et optimisé à la marge. On voit également émerger les premières approches paramétriques dans l'architecture bruxelloise avec, entre autres, le symbole de l'extension du parlement régional bruxellois (Cooparch-RU, 2013).



Image 1 - Détail du projet de l'extension du parlement bruxellois dont la façade est composée de voronoïdes, COOPARCH-RU, 2013, arch. Pascal Simoens, ing. Pirnay.

2014-2019 : basculement environnemental et enjeux BIM

Au milieu des années 2010, la maîtrise des concepts environnementaux s'améliore de manière continue tandis que l'émergence d'outils paramétriques permettant l'amélioration des modèles de conception architecturale font leur apparition chez un public averti d'architectes. Ces outils¹¹ sont le plus souvent utilisés pour optimiser la forme du projet dans un contexte donné ou de quantifier ses besoins en énergie primaire. Les bureaux pionniers de la durabilité des constructions emboîtent le pas y voyant une nouvelle manière d'optimiser les projets afin de réduire les besoins en énergies (apports et protections solaires, éclairage, refroidissement naturel, etc.).

Parallèlement, le BIM devient un sujet de discussion de plus en plus récurrent dans les bureaux d'architecture. Notre pratique montre que l'outil BIM constitue une amélioration progressive plutôt qu'une percée technologique. En effet, si la plupart des facultés d'architecture francophones de Belgique développent depuis cette période des formations spécifiques dans leur cursus, voir des cours d'aide à la conception paramétrique, force est de constater que la conception paramétrique telle que des architectes comme Zaha Hadid, Frank Gehry, Grimshaw ou Mamou Mani est rare en Belgique... encore aujourd'hui.

Si des outils comme SketchUp font partie de la panoplie de l'architecte comme AUTOCAD, ils ne sont pas utilisés à leur plein potentiel collaboratif avec les ingénieur·e·s, ce qui est pourtant essentiel dans la démarche BIM. Pire, nous voyons apparaître une dichotomie entre les acteur·ice·s : les architectes qui ne désirent pas que l'on travaille directement sur leurs plans, les ingénieur·e·s en stabilité qui y voient un travail de conception intéressant, mais surtout une surcharge de travail importante et les ingénieur·e·s en techniques spéciales qui y trouvent l'opportunité d'optimiser leurs systèmes tout en maîtrisant beaucoup mieux la mise en œuvre.

D'après notre expérience, il est devenu fréquent les ingénieur·e·s en techniques spéciales soient, un peu par défaut, les pionnier·e·s du BIM et beaucoup plus rapidement que les architectes qui restent accroché·e·s à une conception traditionnelle des phases du projet renvoyant la production d'une maquette à la phase d'exécution, ce qui amène à un ralentissement de la transition vers les maquettes IFC et l'usage des outils de collaboration. Les ingénieur·e·s tirent leur épingle du jeu en redessinant des maquettes BIM dans le cadre de la maintenance des bâtiments, renforçant encore leur avantage sur les autres concepteurs des bâtiments.

À ce stade de l'intégration des outils numériques dans les projets, et malgré la démonstration d'une intégration plus étroite dans la conception par un élargissement timide des échanges de données dans les équipes de projet, le rapport entre les architectes et les ingénieur·e·s en techniques spéciales s'inscrit dans un processus de validation et non d'optimisation alors que les outils permettent une approche bien plus large d'améliorations de la conception environnementale. Quant à la démarche paramétrique, elle est cantonnée à quelques projets spécifiques ou aux très grandes agences d'architectes qui travaillent à l'international telle

¹¹ Grasshopper, Rhinoceros, SketchUp, Trnsys, Design builder

l'agence A2M avec ses bureaux à Bruxelles, Lisbonne et New York.

Dans le même temps, l'ensemble des acteurs prennent conscience que l'optimisation des constructions pour répondre aux futures nouvelles exigences européennes en matière de développement durable va nécessiter de plus en plus un besoin d'outils numériques où les données deviendront centrales par opposition au seul dessin ne devenant plus qu'une partie des données nécessaires à la construction, tant pour la conception que pour les usages post réceptions. Les bâtiments deviennent des objets qui ont une durée de vie mesurée et doivent être recyclés. Des Labels tels le Cradle-to-Cradle ou bâtiments exemplaires (RBC) font leur apparition, les certifications de type BREEAM deviennent un passage obligé pour les grands projets privés. Tous ces labels et certifications nécessitent des bases de données de plus en plus complexes et touchent un large panel de bureaux d'études. Nous constatons une transformation des mentalités, d'une part dans la nécessité de penser les projets dans leurs écosystèmes, mais également l'émergence d'une nécessaire intégration des acteurs spécialisés dans l'environnement dans les équipes de conception en amont du projet, transformant les mentalités vers un mode de pensée plus systémique, moins sérié, entre les acteurs de la construction.

Nous sommes donc dans une période de basculement avec un point d'inflexion fondamental : les accords de Paris (2016) qui font prendre conscience de l'enjeu climatique à toutes les échelles de projet, de la maison individuelle aux projets d'ampleur urbaine ou territoriale. Il n'est plus question de « réfléchir à faire », mais bien de « faire ».

2020-2023 : accélération de l'optimisation environnementale et des processus numériques

2020 est bien sûr l'année du COVID-19 qui a profondément accéléré l'usage des plateformes de projet telles que Teams de Microsoft pour ne citer que la plus répandue. Derrière ce changement fonctionnel où la virtualité des projets s'est montrée de manière plus exacerbée, de nouveaux processus tels que la création d'une maquette collaborative se sont avérés utiles dans les bureaux de taille moyenne (15 à 25 collaborateurs) alors que les plus grandes infrastructures ont capitalisé de leur avance procédurale. On peut parler de basculement et d'accélération.

L'accélération se matérialise par deux axes : le premier concerne l'application de normes

environnementales particulièrement drastique à partir de 2021 dans les trois régions avec, pour objectif, la construction de bâtiment à énergie quasi nulle, basé sur les standards du *Nearly zero energy building* (NZEB) incluant l'imposition de production d'énergie renouvelable (minimum 25kWh/m².an en Flandre pour les demandes de construction de bâtiments résidentiels en 2023), et pour les projets publics de grande ampleur l'application de méthodes de la famille BREEAM, LEED, etc. dénommée GRO en Belgique, du nom de la première ministre norvégienne à l'initiative du rapport Gro Harlem Brundtland (Brundtland 1987) nécessitant l'utilisation de logiciels de simulation dynamique ainsi que de logiciels ACV¹². Ces démarches environnementales et de durabilité des constructions se sont généralisées avec les financements du PRR belge, plan de relance et de résilience européenne post-COVID. En effet, tous les projets financés par le programme doivent répondre aux exigences DNSH, notion développée dans le paragraphe suivant, et devront garantir la neutralité carbone des constructions et de leur usage par les principes d'analyse du cycle de vie des bâtiments.

Le second axe est la généralisation et l'accélération du processus BIM que nous considérons comme une conséquence du premier axe. En effet, la notion de contrôle des processus est complexe à mettre en œuvre pour les pouvoirs publics et l'imposition d'un management BIM est la seule garantie pour eux d'obtenir une maquette leur permettant de garantir une gestion/exploitation/maintenance (GEM) post travaux crédités par l'équipe de conception. Les phases traditionnelles de projets qui s'arrêtaient aux réceptions sont maintenant une partie du cycle de vie du bâtiment qui s'étend bien plus longtemps et où l'architecte et les ingénieurs n'en ont pas nécessairement la maîtrise, mais doivent produire des documents structurés pour permettre la continuité de service et l'efficacité énergétique à long terme. Le travail des ingénieurs en technique spéciales revêt alors d'une tout autre dimension puisque les projets commencent à être évalués non seulement pour leurs qualités architecturales, mais également pour leurs qualités environnementales qui doivent être quantifiées. La symbiose entre ces deux parties du projet est garantie par les données qui découlent des simulations et garanties tout au long du processus d'exécution par la maquette BIM.

Si l'ensemble des outils de quantification et de simulation sont plus performants en 2023, ils n'ont pas profondément évolué depuis la période 2010-2020. Nous devons plutôt parler d'une maturation des outils et d'une optimisation de leur efficacité

¹² ACV : Analyse de cycle de vie

grâce à l'intégration plus systémique des acteur·ice·s du projet qui sont maintenant habitué·e·s et sensibilisé·e·s à l'approche collaborative depuis le basculement des modes de travail dématérialisés (Zahidi 2023) liés à la période COVID. Les architectes se sont rendu·e·s compte de l'importance des spécialistes de l'environnement et de l'énergie dans la réflexion « amont » du projet. Ils travaillent maintenant de plus en plus comme « conseillers » avant d'implémenter ensuite les solutions dans le projet et vérifier la pertinence de celles-ci. Nous sommes aujourd'hui loin de l'ingénieur qui tentait de résoudre des problèmes dans un bâtiment figé dans son organisation fonctionnelle par l'architecte et approuvée par la maîtrise d'ouvrage. L'ingénieur en technique spéciale se retrouve au même niveau que celui de l'ingénieur en stabilité qui a toujours été consulté en amont par les architectes pour avaliser la faisabilité structurelle de leurs concepts.

L'approche n'est toutefois pas complète et les outils paramétriques restent utilisés à la marge pour l'optimisation entropique des projets. Un concept qui s'appuie sur le fait que si la moitié du bilan carbone d'un bâtiment est dû à sa phase de construction, la seconde moitié est liée à ses usages sur une durée de vie calculée sur la base de 60 ans en Belgique (TOTEM¹³). La première partie est de mieux en mieux maîtrisée pour les projets privés de moyenne à grande taille et de toutes tailles pour les projets publics. Toutefois, la seconde partie nécessite encore une importante optimisation entre la forme/conceptualisation du bâtiment qui a un impact sur les usages et l'énergie utilisée en phase de fonctionnement.

LA QUESTION SINGULIÈRE DES OUTILS PARAMÉTRIQUES DANS LE PROJET

L'approche paramétrique constitue la forme la plus connue et exploitée des approches computationnelles. Ces dernières sont arrivées en rupture avec les approches de dessin ou de conception assistée par ordinateur. Nous ne sommes plus dans une logique de production de représentations ou de modèles selon un schéma préétabli, mais plutôt dans une logique hybride entre les mécanismes de conception et les algorithmes informatiques avec une finalité générative et exploratoire. L'approche computationnelle exploite le potentiel de calcul pour construire des logiques génératives de formes, de configuration et de solutions architecturales en

réponse à des objectifs précis. Ces objectifs peuvent être sous la forme de valeurs numériques de performance facilement quantifiables ou d'intentions de projets demandant un travail de caractérisation plus complexe (par image ou par texte avec une sémantique structurée) (de Boissieu 2013; Stals 2019).

L'approche paramétrique est donc considérée comme une interprétation concrète et simple des approches computationnelles. Nous la qualifions de simple puisqu'elle est basée sur des descriptions mathématiques paramétrées sous la forme d'équations exprimant une « série d'équations exprimant une série de quantités comme fonctions explicites d'un nombre de variables indépendantes, dénommés « paramètres » » (Couwenbergh, Gallas 2021).

Cette approche paramétrique en architecture n'est pas dépendante du développement informatique, mais a connu une intégration durant d'autres époques plus anciennes comme celle de Antoni Gaudi ou plus récemment Frei Otto. Son association au domaine informatique date de 1988, date de développement de Pro/Engineer ou de CATIA durant la même époque. Cet outil (CATIA) fut exploité pour développer deux projets d'architecture remarquables (au niveau du langage formel) à savoir le Barcelona Fish (1991) et Guggenheim Museum (1993).

Plus récemment (à partir de 2007), l'approche paramétrique a connu un développement moins expérimental dans le domaine académique et professionnel grâce aux travaux de David Ruten qui a proposé une version exploitable et accessible d'un outil paramétrique adapté aux connaissances et aux pratiques conceptuelles des architectes nommés Explicit History. Ce dernier propose une interface de programmation graphique qui répond aux attentes des architectes et qui permet d'exploiter le potentiel de modélisation dynamique de l'outil Rhinocéros de Robert McNeel & Associates. Cet outil, appelé finalement Grasshopper, a pu créer une mutation rapide des pratiques de modélisation orientées conception impactant l'expression architecturale elle-même. Il a ouvert la possibilité de l'exploration et du développement de structures et de formes architecturales qualifiées comme complexes. Le développement de Grasshopper constitue un tournant majeur dans l'histoire du monde numérique et ses applications architecturales dans la mesure où les outils classiques essayent de s'en inspirer pour développer des interfaces similaires (Dynamo) ou de créer des passerelles tel Revit Inside qui intègrent les données de simulation de Trnsys

¹³ <https://www.totem-building.be/>

(2017) ou encore Grasshopper-Archicad_Connection (2016).

Il nous a semblé important d'isoler l'historique du développement des outils paramétriques afin de mieux sérier les enjeux dans le cadre de l'histoire du développement des améliorations environnementales des projets en Belgique. En effet, excepté un petit nombre de bureaux singuliers, la très grande majorité des architectes belges n'appliquent de très faiblement une démarche paramétrique dans leurs projets mêmes s'il a été démontré que ce type de démarche peut fortement contribuer à l'optimisation de l'architecture, dans au moment de la conception (Muen 2020), qu'ensuite pour les usages (Lopez-Lopez et al. 2023). Plusieurs raisons expliquent ce constat.

La première raison est la rupture des phases conceptuelles du projet. Le précédent chapitre démontre qu'il a fallu plus de 25 ans pour qu'un nombre important de bureaux d'architecture de taille moyenne et grande intègrent dès la phase de conception les processus d'optimisation énergétique et environnementale dans leurs projets. Celui-ci fut le plus souvent à marche forcée, face aux exigences environnementales imposées par les normes européennes et régionales et dont l'augmentation des exigences a nécessité un croisement de compétences s'ouvrant plus largement à la transdisciplinarité. Le modèle belge ajoute à ce contexte une dimension formelle avec des marchés publics peu rémunérateurs et donc peu enclins à l'innovation.

La deuxième raison est la rupture sémantique/méthodologique appliquée au projet avec l'arrivée de la démarche paramétrique : si le passage de la table à dessin à l'écran CRT puis LED s'est passée sans remise en cause des phases traditionnelles du projet, les logiciels d'optimisation se sont appuyés sur la maquette, un commun de l'architecture, les bases de données étaient laissées aux jeux des ingénieurs en charge de l'optimisation énergétique. *A contrario*, l'approche algorithmique basée sur les données nécessite une remise en cause des phases de projet avec un apport pluridisciplinaire dès les toutes premières phases de conception pourtant dédiées au seul architecte. En Belgique, son rôle reste fortement inspiré du modèle « Beaux-Arts » enseigné dans les écoles d'architecture et positionnant l'architecte comme maître de l'œuvre. À la fin des années 1990, les pionniers du développement durable ont également été confrontés à ce problème, mais dans une moindre mesure pour « penser » les modes de construction traditionnels autrement et répondre aux nouveaux

enjeux environnementaux qui s'annonçaient. Il a fallu près de 15 à 20 ans, soit une génération, pour que les artisans et entrepreneurs saisissent également cette connaissance et ses enjeux et changent leur approche de la maîtrise d'œuvre s'ouvrant au champ expérimental.

La troisième et dernière raison de la faible intégration de l'approche paramétrique dans le projet en Belgique est le sentiment diffus de perte de sens de la conception par l'architecte s'il utilise les outils paramétriques. Alors que la conception reste un acte d'une certaine pureté intellectuelle, le voici confronté non seulement à une machine qui fournit une forme à partir de données et d'algorithmes qui restent une « black box » pour la grande majorité des architectes, mais en plus ces algorithmes utilisent des données objectives qui restreignent le carcan des architectes... Ce qui peut être vrai si ces outils ne sont pas intégrés pleinement dans le processus de conception pluridisciplinaire.

Contrairement au BIM généralement considéré comme un passage obligé et une suite logique à la CAO, l'approche paramétrique remet en question l'essence même de la conception du bâtiment par l'architecte et telle qu'imaginée à l'époque de la création du modèle de l'école des Beaux-arts de Bruxelles (1711) complété par la première section d'architecture créée à Mons en 1781. Un modèle fondé sur l'enseignement académique qui mettait l'accent sur l'étude des classiques et sur le développement des compétences techniques singulières : l'architecte était le « maître d'œuvre ». Or, les outils paramétriques remettent en cause les fondements de ce modèle aujourd'hui dans une maîtrise devenue toute relative face à des algorithmes qui peuvent dessiner, en apparence, à la place du concepteur.

Dans les faits, les pionniers de l'architecture paramétrique savent qu'il n'en est rien. L'approche paramétrique permet au contraire d'ouvrir des liens pour mieux intégrer les pratiques de conception, de matérialisation, mais aussi d'idéation grâce notamment au développement des Intelligences Artificielles (IA). Une créativité renouvelée, partagée dans une équipe de maîtrise d'œuvre et nécessaire pour répondre aux enjeux titanesques de la crise environnementale.

2024 ET SUITES ?

Le 14 décembre 2022, l'UE a mis en application sa directive 2022/2464, amendant la communication du 11 décembre 2019 intitulée « *Le pacte vert pour l'Europe* ». Cette directive traite du DNSH¹⁴, « *Qui ne*

¹⁴ DNSH : Do Not Significant Harm

nuit pas de manière significative » (à l'environnement, NDLR) en français. Cette directive va profondément modifier l'approche paramétrique et d'optimisation des projets d'architecture, car il s'appuie sur les normes environnementales pour le financement des projets et donc responsabilise les pouvoirs publics et les banques dans le financement d'investissement, hypothécaires ou non, dans les projets.

Le DNSH nécessite la réponse à 6 questions simples :

- 1) L'atténuation du changement climatique ;
- 2) L'adaptation au changement climatique ;
- 3) L'utilisation durable et la protection des ressources hydriques et marines ;
- 4) La transition vers l'économie circulaire, y compris la prévention et le recyclage de déchets ;
- 5) La prévention et réduction de la pollution de l'air, de l'eau et du sol ;
- 6) La protection et restauration de la biodiversité et de la santé des écosystèmes.

Bien que le DNSH soit encore dans une période de transition et donc seulement appliqué aux projets financés par l'Europe, d'ici 2030, tous les projets de financement seront dans l'obligation de quantifier l'impact de leur projet à travers les 6 questions posées. En Belgique, cette démarche est d'ores et déjà appliquée aux projets financés par des fonds européens, publics ou privés.

La réponse quantifiée à ces 6 questions nécessite à la fois la mise en place de méthodes systémiques (BREEAM, GRO...), des outils de quantification, mais également des démarches à basse entropie constructive pour contenir le bilan carbone de la construction tout autant que le bilan énergétique d'usage.

C'est dans ce cadre que nous pensons que les démarches paramétriques pourront s'intégrer dans le processus plus large de conception architecturale et technique des bâtiments. Aujourd'hui, nous avons montré une évolution importante des approches conceptuelles des architectes et ingénieurs pour concevoir un bâtiment : des quelques architectes pionnier·e·s du développement durable dans les années 1990, le champ des pratiques de l'optimisation environnementale s'est élargi dans la première décennie 2000 en intégrant de plus en plus transversale les ingénieurs. Les années 2010 furent le déploiement généralisé de l'application de normes de plus en plus strictes jusqu'au basculement des années 2020. Toutefois, la gouvernance et la position des acteur·ice·s lié·e·s au projet restent très ancrées dans les traditions du modèle Beaux-arts alors que le processus est de plus en plus intégré au sein de l'équipe de

conception. Particulièrement, l'acte de création reste du chef exclusif de l'architecte et peut être un risque limitant l'optimisation de l'architecture au regard de nouveaux enjeux liés au climat. Nonobstant, les processus paramétriques de conceptions nécessitant des données partagées par l'ensemble des équipes de maîtrise d'œuvre permettraient un meilleur dialogue entre les architectes et les ingénieurs dans une approche méthodologique appliquée en amont du concept initial et les outils paramétriques qui peuvent devenir des outils d'échanges rapides pour l'optimisation conceptuelle.



Figure 3 - Modèle traditionnel de vérification de l'impact d'ensoleillement au 21 mars à 9h00 via l'outil SketchUp.

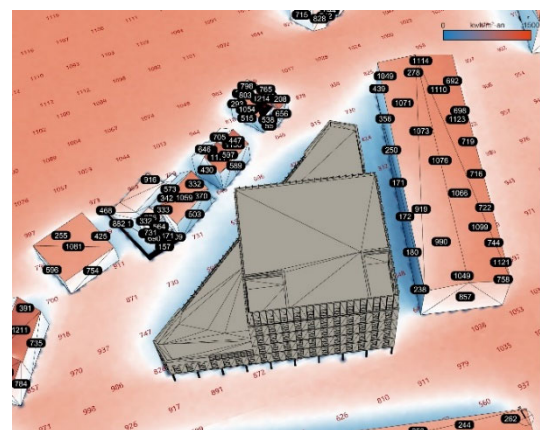
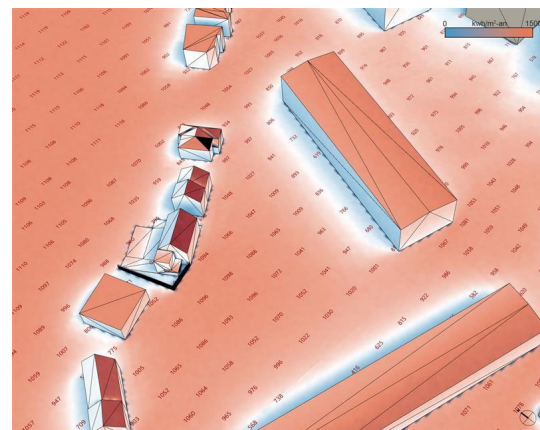


Figure 4 et 5 - Etudes comparatives des apports solaires annuels sur un site vierge et de l'impact potentiel des nouvelles constructions sur le voisinage.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La démarche paramétrique est peut-être arrivée à un point de basculement comme arrive aujourd'hui la démarche BIM qui est de plus en plus intégrée aux exigences de la maîtrise d'ouvrage pour la gestion de toutes les étapes du projet architectural. Dans le nouveau contexte environnemental des nouvelles exigences européennes, l'approche paramétrique devrait offrir la possibilité de réduire les itérations de projets qui s'effectue encore aujourd'hui essentiellement dans les différentes phases de conception jusqu'à l'exécution. L'amélioration de la conception grâce aux outils paramétriques offre un crédit de temps qui pourrait être réaffecté en amont de la conception et optimisé avec la maquette BIM. En d'autres termes, les outils paramétriques devraient permettre aux architectes d'être à nouveau plus créatifs alors que dans le même temps les normes et processus de quantification des projets et ensuite des usages des bâtiments sont devenus de plus en plus détaillés et restrictifs.

L'IA associée à des outils de conception paramétrique peut offrir aux architectes une nouvelle place à la maîtrise d'œuvre et replacer la créativité au centre des enjeux environnementaux. Les ingénieur·e·s en technique spéciales devenues parfois des spécialistes en génie environnemental ne s'y sont pas trompé·e·s et les ingénieur·e·s en stabilité sont en train de s'approprier peu à peu l'ensemble de la démarche paramétrique pour optimiser les structures. Cette démarche est d'autant plus aisée que dans ces domaines, les logiciels de conception structurale sont déjà partiellement automatisés (plan de ferrailages, intégration des Eurocodes...).

Le maître d'œuvre est donc à la croisée des chemins entre la possibilité de repenser le processus de conception du projet avec pour ambition de transcender les enjeux comptables de la neutralité carbone, ou subir les normes de plus en plus restrictives et comptables du projet. Le paramétrage environnemental et ses conséquences financières auront-ils la peau de l'architecte ? Pourra-t-il/elle se réinventer en chef·fe d'orchestre d'une équipe de maîtrise d'œuvre, s'appuyant sur les outils paramétriques de conception pour être plus innovants et ainsi sortir des carcans de type DNSH où le financement du projet devient une injonction environnementale régie par des données comptables ? Ce nouveau questionnement nous mène à penser qu'il y a une fenêtre d'opportunité possible pour que l'architecte reprenne sa place de maître d'œuvre quelque peu affadée depuis un certain temps en Belgique. Pour y arriver, les équipes de projet devront également compter sur une réforme des mentalités des

nouvelles facultés d'architecture qui restent majoritairement ancrées dans un mode d'enseignement encore inspiré par le modèle classique hérité des Beaux-arts qui favorise un enseignement étape par étape alors que le monde des données le rend omniscient et donc transversal. Ces facultés forment les professionnels de demain.

Les outils paramétriques de conception contribuent à dépasser ses carcans traditionnels sans pour autant les renier grâce à une approche par objets, formes et équations qui peuvent en outre, rendre la sémantique BIM plus signifiante. Finalement, la démarche paramétrique, avec ses outils, pourrait devenir le chaînon manquant pour l'architecte entre penser l'architecture et la rendre possible face aux enjeux climatiques. Dans le contexte européen actuel, ce n'est plus un enjeu, mais c'est devenu une obligation.

RÉFÉRENCES

- BRUNTLAND, Harlem, 1987. *Our Common Future*. New York, NY : Nations Unies. Report of the World Commission on Environment and Development.
- COUWENBERGH, Jean-Pierre et GALLAS, Mohamed-Anis, 2021. Conception paramétrique avec Rhino et Grasshopper: applications en architecture, ingénierie et design. Eyrolles, Paris. ISBN 978-2-212-67827-7.
- CUI, Hanxiao et OVEREND, Mauro, 2019. A review of heat transfer characteristics of switchable insulation technologies for thermally adaptive building envelopes. *Energy and Buildings* [en ligne]. 15 septembre 2019. Vol. 199, pp. 427-444. DOI 10.1016/j.enbuild.2019.07.004.
- DE BOISSIEU, Aurélie, 2013. Thèse : Modélisation paramétrique en conception architecturale : Caractérisation des opérations cognitives de conception pour une pédagogie. ULiège, DOI : 10.13140/RG.2.2.29966.51521
- DESSEROUX, Christian et ROMAINVILLE, Alice, 2011. La production de logements en Belgique et à Bruxelles - Acteurs, dynamiques, géographie. [en ligne]. 11 avril 2011. Vol. 15, N° 2011. DOI 10.4000/echogeo.12279.
- HALLEUX, Jean-Marie, 2009. Le rôle des promotions foncières et immobilières dans la production des périphéries: application à la Belgique et à ses nouveaux espaces résidentiels. *Revue Géographique de l'Est* [en ligne]. 18 mai 2009. Vol. 45, N° 3-4, pp. 161-173. DOI 10.4000/rge.285.
- LOPEZ-LOPEZ, Dariel, SERRANO-JIMENEZ, Antinio, GAVILANES, Juan, VENTURA-BLANCH, Ferran, BARRIOS-PADUA, Angela et DIAZ-LOPEZ, Carmen, 2023. A Study on the Parametric Design Parameters That Influence Environmental Ergonomics and Sustainability. *Sustainability*. 6

avril 2023. Vol. 15, N° 6304, pp. 30. DOI 10.3390/su15076304.

MUEN, Zhang, 2020. The applications of parametric design in green building. In : *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2020. pp. 7.

OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, 2010. *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings* [en ligne]. 18 juin 2010. L 153/13.

STALS, Adeline, 2019. Pratiques numériques émergentes en conception architecturale dans les bureaux de petite taille - Perceptions et usages de la modélisation paramétrique. [en ligne]. 13 septembre 2019. [

UYTTENBROUCK, Jozef, 1995. La norme NBN B 62-301 : signification et application. *CSTC Magazine*. 1 septembre 1995. Vol. 1995, N° 7, pp. 35-42.

ZAHIDI, Saadia, 2023. Report : The future of Jobs. Genève : World Economic Forum., [en ligne]