

# CAHIER SCIENTIFIQUE REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE

CAHIER SCIENTIFIQUE BIANNUEL DE LA REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE 1 | 2014





## **REVUE TECHNIQUE LUXEMBOURGEOISE**

[www.revue-technique.lu](http://www.revue-technique.lu)

pour

L'Association Luxembourgeoise des Ingénieurs, Architectes et Industriels

éditée par

Responsable Revue Technique Sonja Reichert

Graphisme Bohumil Kostohryz

t 45 13 54 23 s.reichert@revue-technique.lu

6, bv. G. D. Charlotte L- 1330 Luxembourg

Impression 3.500 exemplaires

imprimerie HENGEN

14, rue Robert Stumper L- 1018 Luxembourg



L'A.L.I.A.I. dans l'origine remonte à 1897, et qui regroupe plusieurs organismes apparentés, édite quatre fois par an la Revue Technique, sa publication principale, dédiée à des articles se rapportant aux sujets traités par les professionnels qu'elle regroupe.

Pour l'ALIAI la Revue Technique Luxembourgeoise et son site Internet sont des moyens de communication essentiels donnant à ses membres le contact immédiat avec l'organisation à laquelle ils sont affiliés.

Ces instruments offrent aux entreprises de présenter leur travail devant un public ciblé. La Revue Technique Luxembourgeoise possède un passé prestigieux qui lui confère une légitimité auprès des affiliés de l'ALIAI.

La Revue Technique Luxembourgeoise et le site Internet offrent aux Partenaires de la Revue Technique de l'Association des Ingénieurs, Architectes et Industriels la possibilité de

faire connaître leurs produits ou d'informer de cette manière sur la structure de leur entreprise et de toucher un public ciblé de lecteurs intéressés.

Le cahier scientifique, a pour mission de promouvoir le développement de la recherche et de la culture scientifique, en contribuant à la diffusion et à la valorisation des connaissances et des méthodes scientifiques en vue de soutenir un dialogue entre la science et la société.

Le cahier scientifique est publié 2 fois par an par la rédaction de la Revue Technique. C'est un instrument professionnel pour scientifiques, techniciens, étudiants et intéressés professionnels dans le domaine de l'ingénierie, de la technologie, de la recherche, des énergies renouvelables et de l'industrie.

Des articles sur des recherches approfondies par nos collaborateurs des instituts, des partenaires ou industriels sont publiés dans chaque exemplaire des cahiers scientifiques.





# INDEX

- 8\_ BIM  
Sylvain Kubicki, Architecte, Docteur en Sciences de l'Architecture
- 10\_ BUILDING INFORMATION MODELING  
Jos Dell, Architecte, Président de l'ordre des Architectes et Ingénieurs Conseils
- 12\_ UNE NÉCESSAIRE MUTATION!  
Francois Pelegrin, Architecte DPLG, Urbaniste DUP
- 16\_ Processus de collecte d'informations techniques par la maquette numérique sur le chantier Neobuild  
Daniel Zignale, Francis Schwall & Sylvain Kubicki
- 20\_ RETOUR D'EXPÉRIENCE DE L'UTILISATION DE LA 4D DANS LE PROJECT MANAGEMENT  
Jacky Plottes, ingénieur, Schroeder & Associés s.a., ingénieurs conseils
- 24\_ LA SIMULATION 3D AU SERVICE DU BÂTIMENT  
Cécile Goffaux et Ariane Frère (Cenaero), Sébastien Wauquier (Cover Group), Stéphane Mouton (CETIC)
- 26\_ NUMÉRIQUE ET TERRITOIRE EN TRANSFORMATION  
Collectif Quatorze: Joachim Bolanos, Grégoire Durrens, Sylvain Gauffillier, Romain Minod, Nancy Ottaviano, Rubèn Salvador-Torrès
- 28\_ MODÉLISATION 4D/5D: QUAND LE BIM INTÈGRE LE TEMPS ET LES COÛTS  
Sylvain Kubicki, Centre de Recherche Public Henri Tudor, Luxembourg, Koenraad Nys. D-Studio, Belgique
- 38\_ DIE ROLLE VON KOMPLEXEM PROBLEMLÖSEN IM UMGANG MIT NEUEN TECHNOLOGIEN  
Dr. phil. Samuel Greiff, Dipl.-Psych. ATTRACT fellow
- 42\_ ACTIVE NOISE CONTROL UND TIEFFREQUENTE LÄRMPROBLEME  
Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé, Dipl.Ing. Christian Kleinhennrich M.Sc.Bergische Universität Wuppertal  
Dipl.-Ing. Arndt Niepenberg, WaveScape Technologies GmbH
- 50\_ WISSENSCHAFTSKULTUR FÖRDERN  
Jean-Paul Bertemes vum FNR, Coordinateur de projet science.lu

\_comité de lecture Ingénieur dipl. Pierre Dornseiffer  
Représentant membre ALI

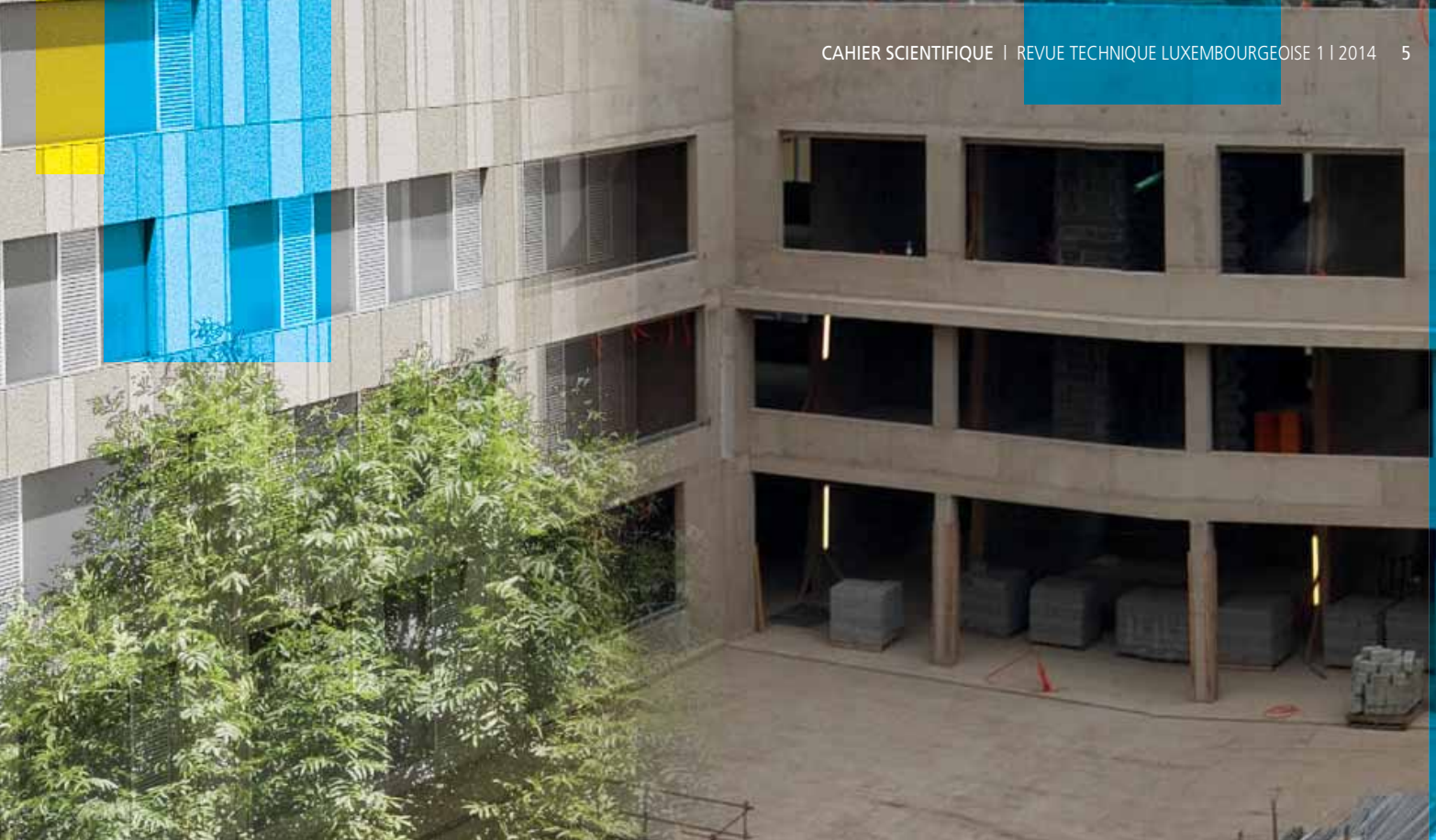
Ing. Dipl. Marc Feider  
Administrateur et chef de service Bâtiments / Ouvrages  
Schroeder & Associés

Prof. Dr. Ing. Jean-Régis Hadji-Minaglou  
Université du Luxembourg, Unité de recherche: Ingénierie  
Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication

Informaticien dipl. Patrick Hitzelberger  
Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann Département ISC

Prof. Dr. Ing. Michel Marso  
Professeur en Technologie de Télécommunications  
Université du Luxembourg, Unité de recherche: Ingénierie  
Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication

Dr. Paul Schosseler, Directeur  
CRTE / CRP Henri Tudor



revue publiée pour\_



www.ali.lu



www.oai.lu



www.tema.lu

**A L I A I**  
ASSOCIATION LUXEMBOURGEOISE DES  
INGÉNIEURS - ARCHITECTES - INDUSTRIELS  
www.aliai.lu



partenaires de la revue\_



revue imprimée sur du papier\_



**Sources Mixtes**  
Groupe de produits issus de forêts  
bien gérées, de sources contrôlées  
et de bois ou fibres recyclés  
www.fsc.org Cert no. CU-COC-812363  
© 1996 Forest Stewardship Council





# BIRKLEHOF

*Privates Internat & Gymnasium*

*Geborgenheit - Entfaltung - persönlicher Erfolg*



Der Birklehof mit musisch-künstlerischem, naturwissenschaftlichem und sprachlichem Profil steht für eine anspruchsvolle Schulbildung und ein ganzheitliches Erziehungskonzept. Seine moderne Internatspädagogik verbindet den Erwerb schulischer und außerunterrichtlicher Kompetenzen. In einer Atmosphäre der Ermutigung und des gegenseitigen Respekts, die die überschaubare Schul- und Internatsgemeinschaft auszeichnet, haben die Schülerinnen und Schüler Raum, ihre Persönlichkeit sowie ihre vielfältigen Interessen und Potenziale umfassend zu entwickeln.

**Ganzjährig individuelle Gesprächs- und Beratungstermine nach Vereinbarung.**

Schule Birklehof e.V. · Privates Internat & Gymnasium  
staatlich anerkannt · 79856 Hinterzarten (Schwarzwald)  
Tel. +49 7652 122-22 · [info@birklehof.de](mailto:info@birklehof.de) · [www.birklehof.de](http://www.birklehof.de)





# RETHINK CONSTRUCTION THINK INNOVATION

Acteur de référence de la recherche appliquée au Luxembourg, le CRP Henri Tudor développe des innovations utiles et durables pour l'économie et la société. Pour répondre aux besoins identifiés du marché, le Centre a défini 9 programmes d'innovation. En voici un exemple, avec ses principaux enjeux :

## LE PROGRAMME "CONSTRUCTION"

- Nouveaux outils de communication pour les projets de construction
- Amélioration des processus dans les projets de construction
- Construction durable
- Nouveaux matériaux de construction

Pour en savoir plus sur ce programme d'innovation : [www.tudor.lu/construction](http://www.tudor.lu/construction)

**tudor**  
PUBLIC RESEARCH CENTRE HENRI TUDOR

Innovating together



Dans le domaine de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction, les pratiques de conception, de construction, et d'utilisation des bâtiments s'appuient désormais couramment sur des modèles numériques du bâti.



# BIM\_

Sylvain Kubicki, Architecte, Docteur en Sciences de l'Architecture



Ces modèles transforment les modes de production de l'architecture au sein des bureaux. Ils sont, de plus, amenés à devenir progressivement les garants d'une qualité du projet architectural mais aussi du processus de gestion de projet, de l'efficacité de la communication entre les intervenants ou encore de la maîtrise des coûts de construction et d'exploitation des infrastructures. Ce constat s'étend naturellement aux pratiques de conception à l'échelle urbaine, aux grandes infrastructures, aux projets liés au patrimoine historique ou encore aux démarches de gestion et d'entretien de bâtiments et parcs immobiliers.

À l'échelle mondiale, quelques états ou pays se démarquent par une certaine avance sur la transformation

des pratiques, en particulier de maîtrise d'ouvrage publique. Les manuels BIM, en plein développement, en sont la preuve. Citons par exemple le National Building Information Modeling Standard™ (Etats-Unis), la norme PAS 1192-3, Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using BIM (Grande-Bretagne) ou encore CoBIM, Common BIM requirements (Finlande).

## Aperçu des pratiques au Luxembourg

Au Luxembourg, les premiers résultats de l'enquête «IT Barometer<sup>1</sup>» (Kubicki & Botton, 2014<sup>2</sup>) montrent que seule une très faible proportion des professionnels interrogés est sensibilisée au BIM. Parmi ceux-ci les architectes se



montrent plus familiers avec les concepts de BIM et d'IFC<sup>3</sup> que les ingénieurs ou entrepreneurs.

La raison évoquée, mais non validée, serait que les bureaux d'architecture sont la cible d'un marketing orienté «BIM» entrepris par les principaux éditeurs de logiciels d'architecture.

D'autre part, on constate une sensibilisation et un intérêt croissants de la part de la maîtrise d'ouvrage publique et privée, dans le cadre des nouveaux projets de construction. Cette catégorie d'acteurs mesure aujourd'hui l'enjeu du BIM pour la collecte des données sur le bâtiment «as-built» en vue d'initier les systèmes de gestion de patrimoine. Mais les apports en gestion de projet les concerne également: de la vérification de l'adéquation projet-programme à la gestion intégrée des coûts et du planning (4D/5D).

Une problématique essentielle, en début de projet, consiste à définir et implémenter une stratégie BIM:

\_adaptée au projet et acteurs impliqués,  
\_établissant sans équivoque les responsabilités quant à la production ou l'utilisation de modèles, en remplacement ou en sus des documents (plans, descriptifs) actuels,  
\_supportée par un environnement technologique adapté,  
\_et fixant les règles de coordination et gestion des modèles («BIM Management»).

La standardisation est un élément incontournable dans ces démarches. D'ailleurs, les exemples BIM anglo-saxons reposent tous sans exception sur des normes ou standards. Le succès de ceux-ci, c'est-à-dire l'adhésion remportée par les différents corps de métiers impliqués dans la construction, semble lié à leur implication dans le processus d'élaboration des normes: groupes de travail communs, période de tests et d'amélioration. Ces pratiques de standardisation sont historiquement portées par le CRTI-B (voir l'exemple de la conception de CRTI-weB©), qui jouera sans nul doute son rôle dans les futures évolutions du BIM au Luxembourg.

### Conférence SCAN'14

La conférence SCAN'14, organisée au mois de juin 2014, a réuni des professionnels concepteurs, chercheurs et étudiants en architecture, ingénierie, construction ou urbanisme pour échanger leurs points de vue dans une dynamique interdisciplinaire. Elle a rassemblé les approches professionnelles pratiques, les études et modélisations scientifiques ainsi que les démarches pédagogiques dans une dynamique de partage et d'échange.

27 contributions scientifiques et pédagogiques ont été sélectionnées et publiées après expertise par un comité scientifique. Elles ont aussi été présentées lors de la conférence internationale SCAN'14 (Séminaire de Conception Architecturale Numérique) qui s'est tenue au Centre de Recherche Public Henri Tudor, en partenariat avec le laboratoire MAP-CRAI de l'ENSArchitecture de Nancy, du 19 au 20 juin 2014.

Les journées scientifiques ont été précédées d'une journée professionnelle «BIM» co-organisée par le CRP Henri Tudor et Neobuild. Le programme avait pour objectif de rendre compte des évolutions du sujet d'un point de vue international, avec des orateurs luxembourgeois, mais aussi anglais, français, belges ou encore hollandais. Les textes qui suivent ont été rédigés par certains de ces orateurs.

D'abord, Jos Dell et François Pélegrin situent le thème du BIM dans la pratique de la conception, insistant sur l'aspect collaboratif véhiculé par cette pratique. Puis différents usages appliqués («BIM Uses») sont rapportés dans les textes de Daniel Signale, Jacky Plottes et Cécile Goffaux (et leurs co-auteurs). Enfin l'usage de maquettes numériques dans la conception urbaine est abordé dans l'article de Nancy Ottaviano (Collectif Quatorze).

[www.tudor.lu](http://www.tudor.lu)

- 1\_ Il s'agit ici de premiers résultats observés sur base d'un échantillon non définitif. Les résultats finaux de l'enquête, conduite entre septembre 2013 et juin 2014, seront rendus publics dans le courant de l'année 2014.
- 2\_ Kubicki, S. & Botton, C. (2014). IT Barometer survey in Luxembourg. First results to understand IT innovation in Construction sector. In proceedings of CIBW78 & ISCCBE Conference. Orlando, Florida. June 23rd – 25th, 2014.
- 3\_ IFC est le modèle de données standardisé pour la description des objets du bâtiment, ouvert, international et interopérable développé par BuildingSmart ([www.buildingsmart.org/standards/ifc/](http://www.buildingsmart.org/standards/ifc/)).

Le BIM, la maquette numérique, les IFC sont des terminologies qui ont fait leur apparition, il y a plusieurs années. Certains concepteurs voulaient s'y lancer rapidement, d'autres acteurs positionnaient les IFC comme la solution à tous les problèmes dans la construction. Ces nouveaux concepts remettaient en cause d'une certaine façon notre manière de travailler. A ce moment-là, le secteur n'avait pas la maturité pour se lancer dans cette aventure. Depuis lors, les outils et les approches ont changé.

**SCAN**<sup>14</sup>  
LUXEMBOURG

OAI  
ORDRE DES ARCHITECTES  
ET DES INGÉNIEURS-CONSEILS

## BUILDING INFORMATION MODELING\_

Jos Dell, Architecte, Président de l'ordre des Architectes et Ingénieurs Conseils



Qu'est-ce que le BIM? Il existe plusieurs définitions: «Building Information Modeling», «Building Information Model» ou encore «maquette numérique du bâtiment (MNB)».

Néanmoins, toutes ces définitions convergent vers le sens que le BIM concerne à la fois la gestion et la modélisation. Le BIM n'est pas, ou pas uniquement, un outil de dessin en 3D. Bien que la conception se fasse de plus en plus à l'aide d'outils basés sur la 3D, la communication dans la construction est basée essentiellement sur des documents graphiques imprimés, et de ce fait en 2D, qui ne sont qu'une image du modèle à un moment donné et sous un certain angle de vue.

Les architectes et les ingénieurs savent que les informations contenues dans une représentation de l'objet sont innombrables: géométrie de la construction, relations spatiales, quantités, propriétés des éléments de construction; pour ne citer que celles-là. Ces informations ne sont pas transposables de manière univoque sur un document graphique. Les réflexions, qui ont mené à choisir une certaine représentation, sont très souvent perdues dans notre manière classique de travailler. Les réflexions et les choix, que le concepteur est amené à faire tout au long de l'évolution du projet, ne pourront être que très difficilement communiqués au maître d'ouvrage.

En ce qui concerne la gestion, nous avons mis au point, au



sein de l'OAI, il y a quelques années, un groupe de travail ayant pour objectif de mettre en place des procédures facilitant la collaboration entre les différents protagonistes de l'acte de construire. Le facteur humain jouant un rôle primordial dans les relations, il est important de mettre l'accent sur une bonne communication: nous mentionnons cet élément-clé de la réussite d'un projet dans toutes les séances d'information. Un premier pas a été franchi par la mise en place de fiches spécifiques précisant la répartition des prestations entre architectes et ingénieurs-conseils, tout en tenant compte du fait que la communication s'étend bien au-delà, vers le maître d'ouvrage et les entreprises.

Le concepteur change de paradigme: sa création est basée sur des objets, éléments de la construction (ex. porte), et plus uniquement sur des objets graphiques (ex. demi-cercle). Les IFC caractérisent alors ces objets. Le processus de dessin n'est plus uniquement un assemblage d'éléments graphiques, mais d'objets contenant des propriétés.

Les architectes devront veiller à ne pas réduire l'architecture à un assemblage d'objets standardisés. La maquette numérique ne devra pas avoir comme seul but de favoriser l'échange entre acteurs et de fournir au maître d'ouvrage un outil pour la gestion de son patrimoine. Le réel défi pour les années à venir consiste à intégrer dans des formations la notion du BIM. La conception de projets de qualité architecturale doit rester l'objectif primordial, tout en ajoutant une couche d'intelligence attachée à chaque objet représenté.

Par ailleurs, un des problèmes essentiels réside actuellement dans la gestion de la masse des données et, en grande partie aussi, des contraintes réglementaires et techniques. Nous rejoignons ici la conception paramétrique. Les mêmes recherches sont faites plusieurs fois au sein d'un même bureau, au sein de la maîtrise d'œuvre, des entreprises. Des modifications graphiques intègrent le risque de non-conformité, étant donné que les contraintes de base ne sont pas transparentes pour chaque acteur intervenant dans la conception, et, plus tard, lors de la construction. Idéalement le BIM devrait donc apprendre avec le concepteur,

par exemple, dans le cas des contraintes relatives à une autorisation de construire (les écarts par rapport aux limites du terrain devraient cerner la conception), ou celles relatives à une autorisation commodo-incommodo (caractéristiques des portes, distances entre escaliers, compartimentage coupe-feu). Les recherches répétées à chaque étape de la conception sont sources de pertes de temps et de non conformités. Le pourquoi des différentes contraintes devrait être ancré dans la représentation graphique; ce qui permettrait d'économiser des ressources et des litiges.

L'intelligence ajoutée à la représentation graphique favorise certainement la collaboration dans l'acte de construire. Il faut cependant éviter le piège consistant à croire que la maquette numérique résoudrait tous les problèmes. Aucun outil ne pourra se substituer à la communication directe entre acteurs.

La crise que nous traversons n'est pas une crise mais une nécessaire mutation. Dans un monde trop longtemps dominé par l'économie, il est urgent de réintroduire d'autres valeurs: sociales, environnementales et culturelles en remettant l'homme au cœur du dispositif<sup>1</sup>. C'est cela le "développement durable".



Le BIM comme: «Bouleversement Interprofessionnel Majeur»

## UNE NÉCESSAIRE MUTATION!\_

Francois Pelegrin, Architecte DPLG, Urbaniste DUP

Même si le Grenelle de l'environnement a réveillé les consciences et commence à produire ses effets, une évidence subsiste: le fonctionnement actuel de la filière construction et cadre de vie ne conduit pas facilement à la qualité attendue; preuves en sont le coût annuel de l'assurance construction, le coût de la non qualité<sup>2</sup> sans parler du coût du mal vivre<sup>3</sup>. Il faut donc promouvoir des approches globales, multicritères (et certainement pas seulement thermique comme c'est trop souvent le cas aujourd'hui), apprendre à raisonner en "économie globale"<sup>4</sup> pour réparer et construire un cadre de vie de qualité durable. Qu'il s'agisse d'aménagement, de construction neuve ou de requalification architecturale et technique de quartiers et de bâtiments devenus inadaptés aux besoins, il nous faut, d'urgence, renvoyer en formation tous les professionnels de l'acte de construire, oser la rupture avec des pratiques obsolètes, et certainement saisir l'opportunité de nouveaux outils tels que le BIM pour nous faire sortir de l'âge de pierre. Le consommateur, qui n'a aucune raison de faire -à priori- confiance veut être rassuré<sup>5</sup>, le banquier comme l'assureur ne financent que ce qui est certifié et le maître d'ouvrage n'entreprend que si c'est financé et assuré. Ainsi, dotées de compétences actualisées et de nouveaux outils, les professions du cadre de vie seront mieux armées pour faire ce que l'on attend d'elle, à savoir:

**\_GARANTIR LES PERFORMANCES** du projet à chaque étape d'élaboration du projet, voir garantir les résultats dans la mesure où le comportement de l'utilisateur est clairement établi.

**\_ASSURER LA TRAÇABILITÉ DE LA PRESCRIPTION:** le matériau posé doit être le matériau prescrit.

**\_ATTESTER DU RESPECT DE NORMES, RÉGLEMENTATIONS, CERTIFICATIONS, LABELLISATIONS, QUALIFICATIONS,** en attendant de réussir à alléger l'arsenal normatif et réglementaire<sup>6</sup>)

### OSONS LA RUPTURE

Pour cela, il leur faut oser de vraies ruptures, et notamment comportementales:

\_travailler en mode ingénierie concourante et non plus en ingénierie séquentielle; cette pluridisciplinarité au service du projet doit conduire à de plus larges investigations sur le

système constructifs et sur les choix des matériaux, \_le sujet est ancien<sup>7</sup> mais il est vrai que les outils adaptés manquaient à l'époque,

\_développer des systèmes d'auto contrôle et des superviseurs de contraintes permettant aux acteurs majeurs (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, entreprises) de justifier du respect des exigences et du même coup endiguer le flot et le coût des auditeurs, vérificateurs, experts en tout genre qui se multiplient à chaque nouvelle réglementation ou certification. Un outil révolutionnaire peut accompagner cette MUTATION en plaçant les acteurs en situation de démarche qualité partagée.

Le nom de code de cet outil qui marquera cette décennie est le BIM: (Building Information Model) autrement appelée MAQUETTE NUMERIQUE

Pour ma part, je préfère l'appeler:

### BIM comme BOULEVERSEMENT INTERPROFESSIONNEL MAJEUR

C'est en effet ce qui va se passer; il va révolutionner nos pratiques et le mode d'élaboration des projets<sup>8</sup>, L'INGENIERIE CONCOURANTE qui induit une démarche qualité partagée:

Concevoir en mode „ingénierie concourante“ autour d'outils 3D collaboratifs au format BIM.

Nos outils de conception<sup>9</sup> et de réalisation ont bien 25 ans de retard par rapport à ceux utilisés dans les autres filières: aérospatiale, automobile, électro-ménager...

Rénover le processus de PROGRAMMATION-CONCEPTION-RÉALISATION-EXPLOITATION, grâce à la gestion cohérentes en 3D des informations du projet, à leur partage et à leur enrichissement progressif dans la maquette numérique, qui seule permet une représentation fidèle du projet et des évaluations justes

La création de la MAQUETTE NUMERIQUE revient naturellement à l'architecte; c'est lui qui crée et agence les espaces, les volumes, et définit les matières qui les séparent. C'est lui qui s'assure que les formes spatiales ainsi créées conjuguent harmonieusement les différentes contraintes à satisfaire : intégration au site, conception bioclimatique, respect du programme et



des différents règlements tels que PLU et apporte ce supplément d'âme qui donne du sens au projet et produit de l'architecture et pas simplement de la construction.

Une fois les formes urbaines et les espaces validés, la maquette numérique sera progressivement enrichie des apports des partenaires de la maîtrise d'œuvre, laquelle économisera un temps précieux car elle n'aura plus à décoder et ressaisir les informations du projet architectural<sup>10</sup>; en contrepartie de ce temps gagné, elle pourra multiplier les itérations, les simulations, les calculs nécessaires à l'optimisation du projet: thermique, structure, économie, coût global, bilan énergie grise...

La saisie soignée du projet en 3D au format BIM par l'architecte (il faudra lui en donner les moyens) permet aux autres acteurs l'exploitation directe des données dans leur(s) logiciel(s) de calcul. Ainsi ils s'évitent non seulement 70% (environ) de temps de décodage d'informations et de ressaisie dans leur logiciel-métier mais aussi de dangereux risques d'erreur.<sup>11</sup>

Le BIM est un format 3D intelligent:

Au-delà de la révolution induite par l'ingénierie concourante dans tout le procès: programmation-conception-réalisation-maintenance; il en est une autre révolution qui s'annonce:

#### Le SUPERVISEUR DE CONTRAINTES

En effet, le concepteur pourra décider «d'embarquer dans la maquette numérique» un certain nombre d'exigences à satisfaire qu'elles soient issues du programme, du PLU, de réglementations ou d'exigences propres au concepteur, ce qui fera du BIM:

\_un outil pédagogique car le concepteur pourra visualiser sur sa demande les règles à respecter

\_un outil d'autocontrôle automatique signalant sur demande ou automatiquement les transgressions des règles édictées: par exemple non-respect d'un prospect, d'un C+D, d'une surface de baie, mais encore d'une isolation de paroi, etc...

\_une mémoire vive du projet bien utile surtout quand le projet s'interrompt puis redémarre quelques mois ou années plus tard avec de nouveaux collaborateurs qui n'ont pas en tête toutes les contraintes à satisfaire.

\_Les référentiels, à terme, seront supportés par la maquette numérique<sup>12</sup> et permettront au fil de réaliser les autos contrôles et in fine d'éditer un rapport «officiel» sur le respect ou non-respect des éléments du référentiel (c'est exactement ce qui se passe aujourd'hui avec la RT 2012)<sup>13</sup>

A chaque phase d'élaboration du projet, la maquette numérique jouera donc le rôle de SUPERVISEUR DE CONTRAINTES et permettra d'alléger la mission et le coût des vérificateurs externes.

Ainsi, il sera possible à chaque étape de GARANTIR que les PERFORMANCES demandées sont bien atteintes.

#### A QUI PROFITE LE BIM?

A tous les acteurs et «in fine» au «maître d'usage exploitant» puisqu'il héritera d'une super base de données en 3D, utile pendant toute la durée de vie du bâtiment jusqu'à son éventuelle destruction.

Cette maquette numérique a donc une valeur certaine.

Le BIM implique une vision «gagnant-gagnant»

On le voit, bien tous les acteurs sont impactés et chacun pourra en tirer profit en s'évitant des saisies multiples, sources d'erreur et de perte de temps.

Il est autant destiné aux constructions neuves qu'à la réhabilitation.<sup>14</sup>

#### PROGRAMMATION

On peut faire de la programmation spatiale, associer aux espaces les caractéristiques attendues.

Ainsi les concepteurs pourront automatiquement afficher les exigences des différents éléments du programme.

#### CONCERTATION- COMMUNICATION

Support de dialogue et de concertation avec les élus, la maîtrise d'ouvrage et les autres partenaires. A tous les stades du projet, le format BIM permet de visualiser le bâtiment sous tous ses angles et de s'y promener en temps réel, de rentrer à l'intérieur des volumes.

#### CONCEPTION

Dès l'esquisse, vérifier automatiquement le respect des règles du PLU et le respect de contraintes que le concepteur s'est lui-même donné; insertion dans l'environnement, prise en compte des masques lointains. Dès l'avant-projet appréhender et ausculter le projet: performance

bioclimatique, comparaison de modes constructifs, coût global sur l'enveloppe, empreinte environnementale. A toutes les étapes du projet, vérifier le respect des exigences programmatiques ou réglementaires, partager les informations avec les partenaires de la maîtrise d'œuvre au profit de l'optimisation du projet. Indépendamment des gains de temps pour tous (sauf pour l'architecte qui devra faire une saisie très soignée), le travail en mode collaboratif est porteur de qualité et de gain de temps.

Accès aux banques de données des industriels dès lors qu'ils sont au format IFC: il est de l'intérêt de ces derniers, s'ils veulent être prescrits, de «ne pas louper le coche»

#### CONSULTATION DES ENTREPRISES

Outil à la disposition des entreprises pour:

- \_chiffrer les travaux en évitant de longs et fastidieux métrés
- \_préparer du chantier
- \_simuler l'avancement du chantier, la pose des échafaudages, le calepinage, par exemple.
- \_etc

#### GESTION DE CHANTIER

- Simuler l'avancement
- Aide à la mise en œuvre
- Respect de la prescription

#### RECEPTION

- Respect des conformités

#### GESTION MAINTENANCE EXPLOITATION

Restitution au maître d'ouvrage d'une banque de données en 3D à jour pour exploitation et la maintenance du bâtiment: une sorte de «carnet de santé du bâtiment» perpétuellement réactualisé.

Belles économies en perspective en évitant les coûts de relevés et ressaisies d'un bâtiment à réhabiliter lorsque l'on ne dispose que de «plans papiers» non mis à jour

#### LES CHANTIERS A ENGAGER TOUT DE SUITE

La question de la formation

- \_la formation à la saisie en 3D et notamment auprès des architectes, car c'est naturellement à eux que revient la réalisation de cette maquette numérique même si on peut imaginer qu'elle peut «changer» de main puisque «in fine» elle reviendra au maître d'usage exploitant.

- \_la formation des autres acteurs pour se former à leurs logiciels de métier mis à jour au format BIM/IFC.

La question de la rémunération et de la répartition des honoraires par phase:

- \_définir la juste rémunération pour la réalisation de la maquette numérique, revoir la répartition des honoraires par phase: il faut beaucoup plus de moyens plus tôt car la saisie démarre à l'esquisse et dès l'APS elle doit être méticuleuse.

- \_apprécier la valeur marchande de cette base de données EXPLOITATION MAINTENANCE dont le grand bénéficiaire est le maître d'usage exploitant.

- \_repenser la juste répartition des honoraires au sein de la maîtrise d'œuvre; l'économie de temps pour ceux qui exploiteront directement les données de la maquette numérique étant de l'ordre de 70%; se pose alors la question de l'usage de cette économie; le but n'est pas de demander 70% de rabais à nos partenaires mais de travailler autrement pour, après avoir investi dans la saisie soignée du projet, collaborer plus en amont, et faire plus de simulations.

- \_le recours au BIM va coûter plus cher au début (coût des logiciels, des formations, du rodage...) mais il génèrera globalement de l'économie une fois la pratique devenue courante.<sup>15</sup>

- \_Les maîtres d'ouvrage publics (état, collectivités territoriales, bailleurs sociaux, etc...) devraient (comme certains pays l'ont déjà fait) imposer ou au moins fortement inciter le recours au BIM dans les marchés publics.

La remise en question de l'ensemble du système: réglementation, normalisation, certification, labellisation à voir avec tous les acteurs, l'Etat et les organismes certificateurs.

En remettant au centre du jeu les acteurs reconnus compétents, dotés d'outils validés, il y a matière à revoir tout cet arsenal en vue de son allègement. C'est une impérieuse nécessité; si rien n'est fait, nous ne pourrions plus construire tant nous serons englués dans des dispositifs ne permettant plus de satisfaire des exigences trop nombreuses et parfois contradictoires.

La question de nouvelles formes de consultation?

Le BIM permettrait de nouvelles formes de consultation, sujet à voir avec tous les intéressés.

La question de la modernisation de la prescription.<sup>16</sup>



La traçabilité de la prescription (sujet à voir avec les industriels)

En bref:

LA MAQUETTE NUMERIQUE DOIT PERMETTRE LE RECEN-  
TRAGE SOUHAITABLE SUR LES ACTEURS MAJEURS, D'EN-  
COURAGER LES DÉMARCHES QUALITÉ PARTAGÉE ET LES  
AUTOS CONTROLES EN VUE D'ALLEGGER, VOIR SUPPRIMER  
DANS CERTAINS CAS, LE COUT DES CONTROLES EXTERNES  
TOUT EN DIMINUANT CEUX DE NON QUALITÉ

De tels outils impactent directement tous les comporte-  
ments et vont faire sensiblement «bouger les lignes».

Nous sommes bien à l'aube d'une nouvelle ère pour les ac-  
teurs de la construction et du cadre de vie. C'est pourquoi  
je confirme que la meilleure définition du BIM (Building In-  
formation Model traduit en français comme maquette nu-  
mérique) est: Bouleversement Interprofessionnel Majeur...

Et j'ajoute en direction des architectes:

...avec comme initiateur et chef d'orchestre tout désigné:  
l'ARCHITECTE, à condition qu'il comprenne les enjeux<sup>17</sup> et  
entreprenne tout de suite les efforts de formation néces-  
saires pour passer de la saisie 2D au vrai 3D format BIM.

BIM ou «has been», il est temps de choisir...

- 1\_ Ce message porté depuis longtemps par l'UNSAF semble avoir été en-  
tendu; la preuve: la prochaine réglementation 2020 ne sera pas une  
réglementation thermique mais une réglementation « Bâtiment respon-  
sable » donc multicritère
- 2\_ les experts considèrent que le coût de non qualité d'un secteur d'activité  
est de 10 à 15% de son chiffre d'affaire; le secteur «construction et  
cadre de vie» représente 160 milliards d'euros par an soit 24 milliards  
d'euros en retenant le taux de 15%
- 3\_ lire à ce sujet l'ouvrage « édifiant » de la MIQCP sur le coût global
- 4\_ c'est à dire en «coût global» mais autant le dire en terme positif; encore  
faut il placer les acteurs en position de "bien faire" du premier coup; Ce  
qui pose de lourdes questions sur les compétences, missions, rémuné-  
rations, responsabilités et indépendance des acteurs.
- 5\_ la société n'a plus confiance: le monde de la médecine a failli avec le sang  
contaminé, l'agriculture avec la «vache folle», le bâtiment avec l'amiante
- 6\_ Sous ma présidence le comité d'orientation stratégique COS CONSTRUC-  
TION et URBANISME à l'AFNOR, a lancé il y a 3 ans le chantier «verdis-  
sment des normes» et il y a un an déjà la réflexion «TROP DE NORMES»
- 7\_ voir l'article de F Pélegrin: cahiers du Moniteur 1985
- 8\_ mais ce n'est qu'un outil; sans le talent et de la compétence des acteurs,  
il ne fera pas de miracle
- 9\_ et pour cause: dans les années 80 un standard (dxf) s'est rapidement  
imposé comme mode d'échange entre logiciels graphiques mais limi-  
tés à des échanges vectoriels en 2D, incapables d'ajouter une couche  
sémantique, il a certes contribué à l'informatisation rapide du secteur  
mais a malheureusement habitude la majorité de ses acteurs au travail  
en 2D; souhaitons que la même énergie sera investie pour promouvoir

désormais le format 3D BIM avec les IFC (attention, avant d'acheter un  
logiciel 3D, bien vérifier la compatibilité avec le format IFC)

10\_ si leurs logiciels de métier sont bien au format IFC

11\_ l'enjeu n'est pas de réduire les honoraires de nos partenaires de 70%  
mais bien de travailler différemment

12\_ B Ferries et F Pélegrin étudient actuellement les contraintes d'un réfé-  
rentiel qui pourraient être supportées par le BIM de façon à alléger le  
coût des audits au profit de la rémunération des concepteurs

13\_ c'est déjà le cas avec certain logiciel RT 2012; exemple concret : depuis  
ma saisie 3D sous ARCHICAD au format BIM, je teste sous ARCHIWIZARD  
en temps réel les performances énergétiques et le confort visuel de mon  
projet, en attendant de pouvoir établir prochainement le calcul du coût  
global et le bilan énergie grise de l'enveloppe du bâtiment

14\_ la recherche action SOLOMA (mandataire ARCHITECTURE PELEGRIN) ,  
soutenue par le PUCA illustre parfaitement l'application du BIM (AR-  
CHICAD/ARCHIWIZARD) appliquée à des opérations de réhabilitation

15\_ il serait judicieux de confier à la MIQCP une étude sur la juste rémuné-  
ration des projets réalisés en BIM: les surcoûts du départ et les économies  
à l'arrivée; la répartition des honoraires par phase et les surcoûts de  
saisie...

16\_ telle que proposée par ARCHINOV en 1996

17\_ hélas, j'en attends déjà certains dire que le BIM serait une atteinte  
à leur créativité et une entrave supplémentaire; à ceux là –qui n'ont  
visiblement encore rien compris - je dis: «rassurez vous, c'est bien vous  
qui concevez mais vous devrez désormais saisir votre conception en  
3D, faute de quoi d'autres le feront à votre place et c'est là que vous  
prendrez un gros risque.»

La crise que nous traversons n'est pas une crise mais une nécessaire mutation. Dans un monde trop longtemps dominé par l'économie, il est urgent de réintroduire d'autres valeurs: sociales, environnementales et culturelles en remettant l'homme au cœur du dispositif<sup>1</sup>. C'est cela le "développement durable".



# PROCESSUS DE COLLECTE D'INFORMATIONS TECHNIQUES PAR LA MAQUETTE NUMÉRIQUE SUR LE CHANTIER NEOBUILD\_

Daniel Zignale, Francis Schwall & Sylvain Kubicki

## 1\_ Introduction

Le stockage des données du bâtiment et de ses équipements est aujourd'hui important pour mettre en place et assurer une bonne maintenance. Budget, dates de garanties, ou encore précautions d'interventions sont autant d'éléments à connaître et à rendre disponible en temps et en heure. L'optimisation de la gestion de ces données est alors un gain indéniable pour les maîtres d'ouvrages, et les futurs gestionnaires (et sous-traitants). En tant que maître d'ouvrage du projet Neobuild<sup>1</sup> nous évoquons par exemple des besoins bien particuliers:

«Le paiement d'une prestation d'installation ne sera envoyé que lorsque toutes les fiches techniques des équipements installés seront fournies. Comment assurer cela sans pénaliser le déroulement du chantier?»

«Les prix des équipements doivent être enregistrés au moment de leur installation afin de les comparer à leur prix de remplacement, ce qui permettra de justifier un changement de budget en cas d'augmentation des prix. Comment faire?»

Des solutions techniques existent pour assister cela, comme par exemple les outils de GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur). Cependant, renseigner ces informations demande un effort important. Avant même la saisie dans un outil (elle-même déjà fastidieuse), agréger ces informations et les stocker est déjà un défi.

Nous avons à cet effet expérimenté l'utilisation de la maquette numérique afin d'allier la modélisation 3D du bâtiment et de ses équipements (électricité, HVAC) durant la conception/construction, à la saisie d'informations sur les ouvrages (propriétés d'un circuit, caractéristiques techniques d'une climatisation...) qui puissent être ultérieurement exploitables (Ibrahim & Krawczyk, 2003). L'outil de modélisation choisi est Revit<sup>2</sup> (Architecture + MEP), logiciel de la suite Autodesk. Le format d'échange commun pour exploiter ces données avec un outil de GMAO est le tableur Excel.

## 2\_ Solutions explorées

Malgré les bénéfices indéniables apportée par le BIM (Azhar, Hein, & Sketo, 2011), l'alimentation du modèle, notamment les informations sur les équipements, soulève des discussions récurrentes : Quelle compétences requises? Pour quel coût? Quel temps passé? Le problème réside dans l'assignation des responsabilités quant à la saisie de l'information: il s'agit d'attribuer cette tâche aux bonnes personnes, dans un contexte technologique adapté, afin de minimiser l'impact sur la charge de travail voire même d'améliorer la productivité.

Deux solutions ont été explorées:

«intégrer les données techniques directement dans le modèle, en tant que paramètres des objets 3D,

«ou lier ces objets à leur fiche technique en s'assurant que ce lien soit pérenne et tracé.

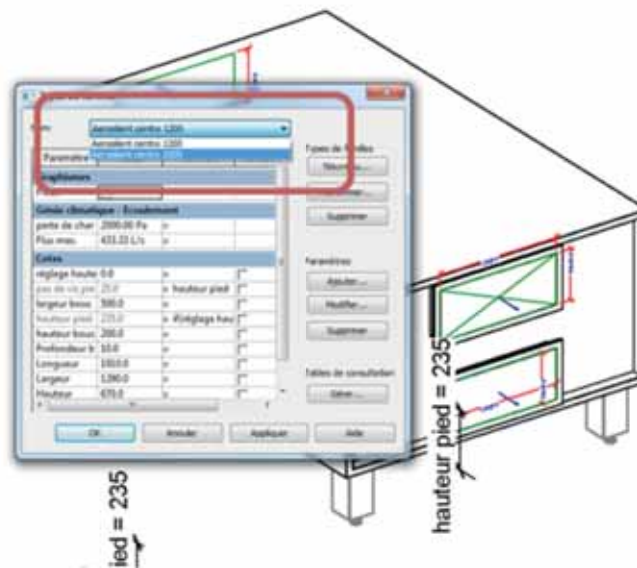
### 2.1\_ L'utilisation d'objets 3D entièrement paramétrés

L'outil Revit (comme d'autres logiciels de modélisation BIM) permet la modélisation d'objets paramétriques sous formes de familles. L'exemple suivant décrit la modélisation d'un système de ventilation de marque Drexel & Weiss, en faisant varier les paramètres d'un modèle à un autre (ex. le modèle Centro 1200 et Centro 2000, voir figure 1).

Cette approche possède cependant des limites: il faut posséder la compétence nécessaire à l'édition d'objets 3D (ici dans Revit) et être à même de gérer un catalogue de ces objets réutilisé et alimenté à chaque projet. C'est donc le plus souvent aux architectes et ingénieurs qu'incombe cette tâche, alors que l'information est détenue par les fournisseurs. L'enjeu est alors de gérer cet échange, ce qui techniquement peut être envisagé de plusieurs manières.

#### La base de données MagiCad

L'outil Magicad<sup>3</sup> permet d'insérer dans un modèle Revit, des modèles d'équipements fidèles aux catalogues des

**Aerosilent Centro 1200****Aerosilent Centro 2000**

1\_ Modélisation des deux types de système de ventilation Aerosilent.

fournisseurs. Ces modèles contiennent les dimensions normalisées ainsi que les caractéristiques techniques réelles. Ils pourront être utilisés aussi bien pour la représentation que pour effectuer des simulations. Dans le cadre de relations contractuelles récurrentes entre des fournisseurs et des maîtres d'ouvrages ou maîtres d'œuvre, posséder une telle base de données sera très utile pour utiliser des objets connus qui auront été modélisés une seule fois. Cela implique un investissement de la part du fournisseur qui devra effectuer ce travail de modélisation ou le sous-traiter à la société MagiCad pour qu'ils créent eux-mêmes cette base de données (service payant). Si cette solution paraît idéale, elle mettra du temps à se démocratiser. Notre expérience nous a montré que très peu de fournisseurs sont actuellement prêts à proposer leur catalogue sous forme d'objets modélisés. Sur le long terme cependant, et avec le recours contractualisé au BIM par les pouvoirs publics, cela pourra devenir une exigence ou du moins un élément de choix dans les appels d'offres.

#### *L'édition des paramètres via un tableur Excel*

Les nomenclatures dans Revit peuvent être remplies automatiquement par l'import des données au format Excel. Le processus d'échange est le suivant pour répertorier les équipements est le suivant :

- \_l'ingénieur génère des nomenclatures vierges pour chaque catégorie d'équipements qu'il envoie aux fournisseurs concernés,
- \_ceux-ci les remplissent et les renvoient,
- \_enfin l'ingénieur les réimporte dans le modèle avant de regénérer finalement une nomenclature globale qui sera exploitable.

Dans un tel cas de figure, l'enjeu est d'identifier l'information importante à renseigner, en fonction des types d'équipements. Cette information changeant d'un type à l'autre, d'un pays à l'autre ou d'un gestionnaire à l'autre, arriver à une structure homogène est difficile. De plus, la saisie

reste conséquente, même si elle est divisée et répartie chez les différents fournisseurs. Ces informations étant déjà présentes dans les fiches techniques, ce processus reste perçu comme «du travail en plus».

La solution explorée ci-dessous vise à exploiter cette information comprise dans les fiches techniques.

### **3\_ Vers une gestion des fiches techniques basée sur le modèle**

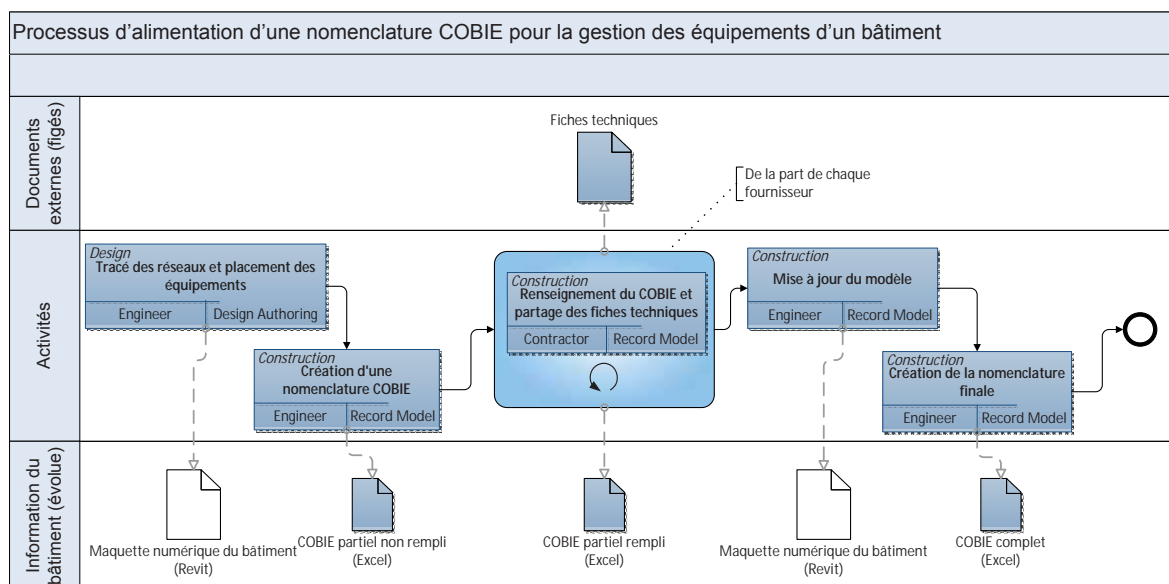
Les fiches techniques composent actuellement la véritable base de données relative aux caractéristiques techniques d'un bâtiment. Au cours du projet, la demande des fiches techniques et l'envoi de celles-ci se fait la plupart du temps par échange de mail. Ces échanges sont peu traçables et le stockage des fiches techniques doit être rigoureux, incluant une gestion de versions. Nous avons pu constater que sans méthodologie de classement et de tri, la consultation de ces fiches devient vite laborieuse au fur et à mesure de leur réception. Leur gestion est donc un enjeu. Elle permettra également de répondre à des besoins particuliers tel que la validation des fiches avant d'émettre une facture.

Le processus d'échange imaginé (voir figure 2) est semblable à ce-lui décrit précédemment. Il ne s'agit plus cependant ici de remplir la nomenclature au format Excel avec toutes les caractéristiques techniques d'un équipement mais d'y renseigner uniquement la référence de la fiche technique ainsi que les informations supplémentaires utilisées pour leur gestion (date de pose, durée de garantie, coût...). Cette approche est actuellement très répandue aux Etats-Unis et au Royaume-Uni sous le nom de COBie (Construction Operations Building Information Exchange). Elle s'intègre parfaitement dans les méthodes et outils BIM (Sabol, 2008).

#### **3.1\_ COBie: généralités**

Le projet COBie fut initié en décembre 2006. L'objectif était d'identifier les besoins d'information des responsables d'installation, opérateurs et gestionnaires pendant le cycle de





2\_ Processus d'échange d'information mis en place

vie du bâtiment et de lever la contrainte liée à la multitude de documents (papiers / numériques) échangés. COBIE<sup>4</sup> est donc conçu pour transmettre et gérer ces données mais aussi les documents qui les contiennent (East & Brodt, 2007).

Au cours de notre expérimentation, les données COBIE que nous avons sélectionnés afin de répondre à nos besoins sont les suivants:

- \_le fournisseur (nom et URL),
- \_le numéro de série (du catalogue fournisseur),
- \_la référence de la fiche technique,
- \_la référence à un éventuel cahier des charges de montage (ou un détail d'exécution),
- \_le coût au moment de l'installation,
- \_la durée de vie prévue,
- \_la date de début de garantie,
- \_et enfin le coût en cas de remplacement.

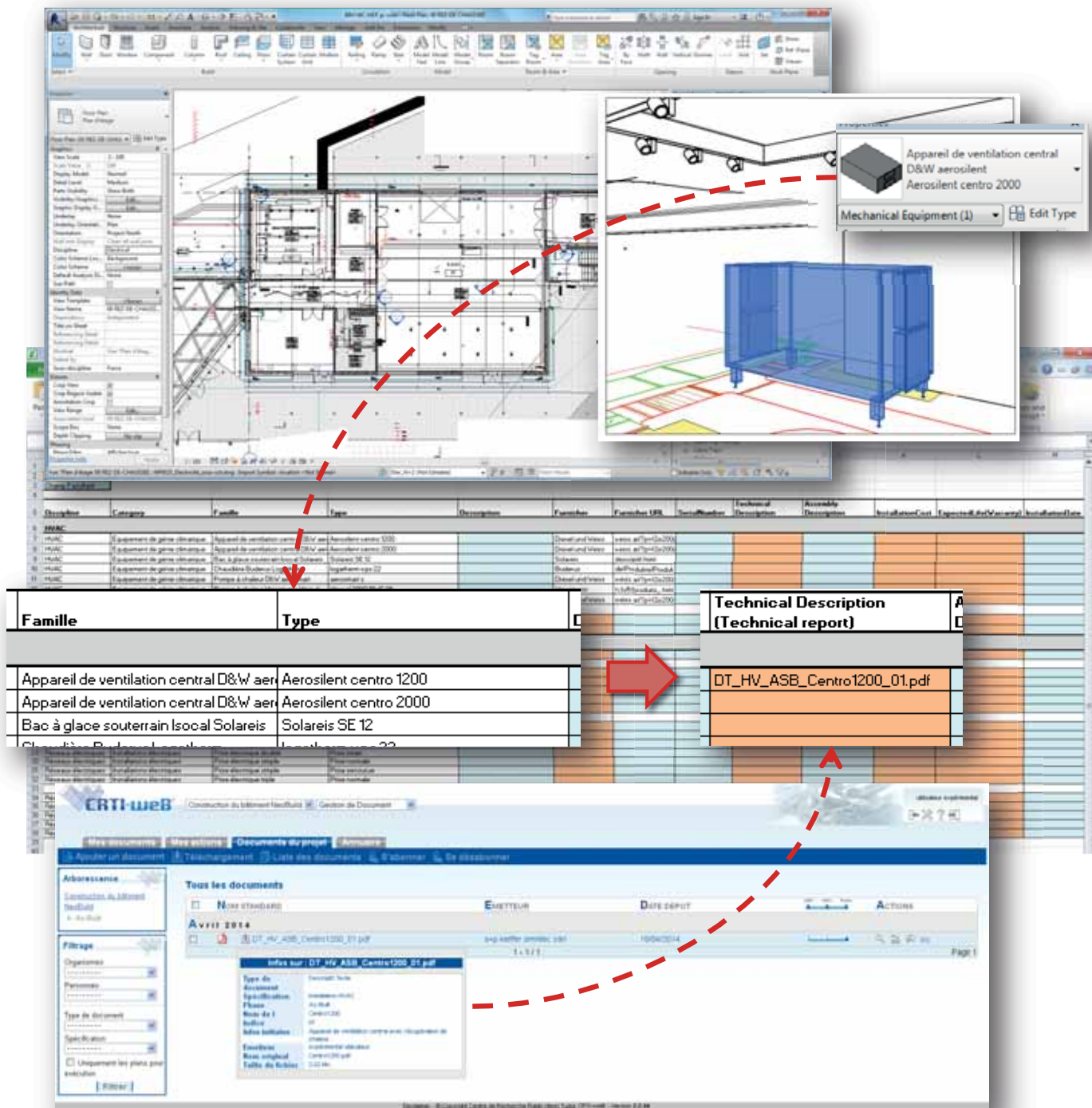
### 3.2\_ Notre approche

Comme le montre la figure 2, la tâche de modélisation des équipements revient à l'ingénieur MEP qui génère ensuite une nomenclature COBIE partielle pour chaque fournisseur. Pour chaque type d'équipement, le fournisseur concerné remplit les données demandées, dont les références des fiches techniques qu'il met à disposition également. Pour ce faire nous proposons le partage des fiches sur une plateforme web d'échange de documents (CRTI-weB) qui impose un nommage normalisé. Ainsi c'est ce nom unique qui devra être rapporté dans le tableur COBIE en guise de référence de la fiche, ce qui assure un lien unique et durable (voir figure 3). Enfin, l'ingénieur peut récolter ces données en les important dans le modèle et regénérer une nomenclature complète qui sera utilisée pour la mise en place de la gestion du bâtiment. Elle pourra alors être plus exhaustive, décrivant par exemple pour chaque équipement installé

(et non seulement chaque type) l'étage et la pièce dans laquelle il se trouve. Les prérequis pour entamer une activité de GMAO seront alors effectifs.

### 4\_ Conclusion

Des moyens techniques variés permettent de répartir la charge de travail relative à la mise en place de la gestion d'un bâtiment entre les différents acteurs du projet, et ce grâce à un échange structuré de l'information issue du modèle à des moments clés du projet. Cet article en montre un exemple. Cependant, l'utilisation du COBIE n'est pas une pratique répandue au Luxembourg, et encore moins l'utilisation de la maquette numérique pour générer les nomenclatures. L'offre de services généralement proposée par les fournisseurs d'outils de GMAO est basée sur la resaisie d'information. Nous cherchons donc à tester le processus proposé avec le fournisseur du projet Neobuild. Ceci nous permettra d'évaluer l'aptitude de COBIE à gérer les informations dans le cadre d'un projet privé à Luxembourg, ainsi que la possibilité de démocratiser l'approche. Au terme de cette étude nous pourrions améliorer le processus, voire les solutions techniques proposées (comme des plugins pour les logiciels CAO/BIM ou une plateforme web dédiée à la gestion des fiches techniques). D'autres solutions innovantes autour de la maquette numérique pourront être exploitées comme par exemple l'utilisation de puces RFID ou autres dispositifs de reconnaissance d'objets qui permettront de consulter en temps réel l'information du bâtiment comprise dans le modèle BIM depuis le chantier (Motamedi & Hammad, 2009).



### 3\_ L'information échangée au travers de ses différentes formes

- 1\_ <http://www.neobuild.lu/projects?id=nic>
- 2\_ <http://www.autodesk.com/products/autodesk-revit-family/overview>
- 3\_ <http://www.magicad.com/fr>
- 4\_ En pratique COBIE est un modèle de données standard ouvert et publié, défini sur la base du format IFC (<http://www.buildingsmart.org/standards/ifc>). La spécification complète (connue sous le nom FM Handover Model View Definition) est disponible ici : [http://docs.buildingsmartalliance.org/MVD\\_COBIE/](http://docs.buildingsmartalliance.org/MVD_COBIE/)

## Bibliographie

- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2011). Building Information Modeling ( BIM ): Benefits , Risks and Challenges.
- East, W., & Brodt, W. (2007). BIM for construction handover. Journal of Building Information Modeling.
- Ibrahim, M., & Krawczyk, R. (2003). The level of knowledge of CAD objects within the building information model. Association for Computer-Aided Design in Architecture (pp. 172–177).
- Motamedi, A., & Hammad, A. (2009). RFID-assisted lifecycle management of building components using BIM data. ISARC, (Isarc), 109–116.
- Sabol, L. (2008). Building Information Modeling & Facility Management. IFMA World Workplace, Dallas, Tex., USA.

La simulation 4D a trouvé sa première application au sein de la société Schroeder & Associés s.a. dans le service Project Management en 2009. Depuis, la 4D s'est révélée être un outil de travail très performant, ayant permis à Schroeder & Associés s.a. de consolider sa place de précurseur en la matière au Grand-Duché de Luxembourg.

# RETOUR D'EXPÉRIENCE DE L'UTILISATION DE LA 4D DANS LE PROJECT MANAGEMENT\_

Jacky Plottes, ingénieur, Schroeder & Associés s.a., ingénieurs conseils

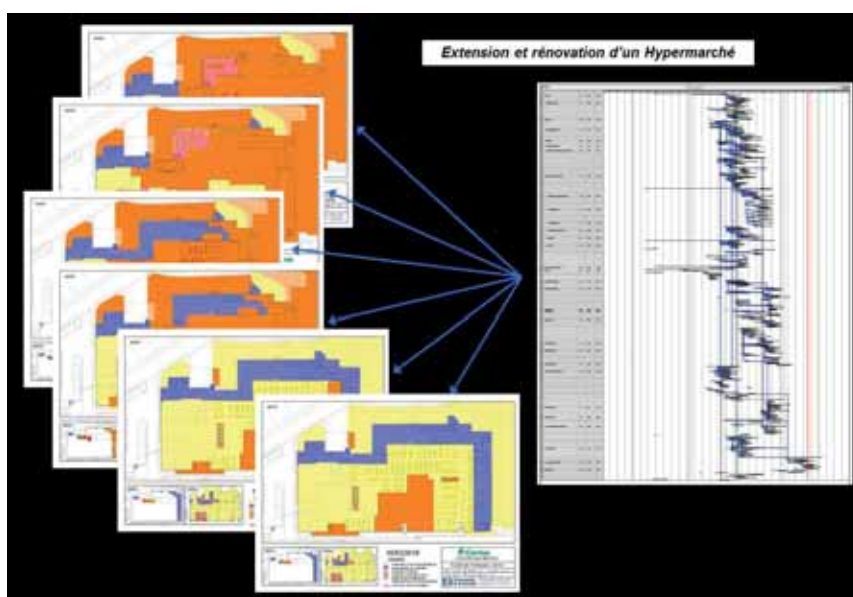


Figure 1: Simulation sur base de vues en plan.

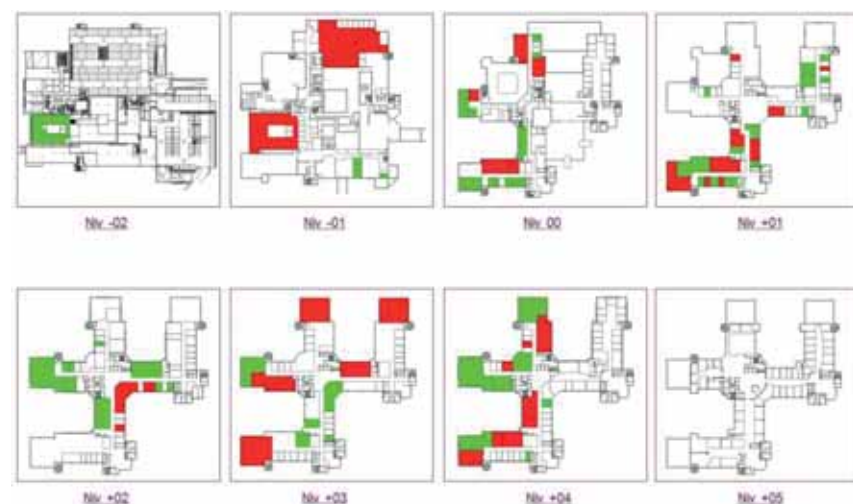


Figure 2: Extrait d'une simulation d'un projet de déménagement dans un immeuble bureautique de 8 étages.

## Utilisation

Le terme «4D» est utilisé ci-après pour l'ensemble des simulations mettant en évidence des déroulements de chantier, liant soit des simples vues en plan (voir figure 1) soit des maquettes numériques en 3D (voir figure 3) à un planning de construction. De cette façon, sont établis des plans de phasage très parlants, représentant de formidables compléments aux plannings «traditionnels».

Le choix du type de la maquette de base («vue en plan» ou «3D») ainsi que son niveau de détail doivent être appropriés au résultat recherché. Ces caractéristiques peuvent bien évidemment évoluer avec les stades de la planification d'un projet (étude de faisabilité, avant-projets ou projet d'exécution, etc.).

## Simulation 4D dans le plan

Dans le bâtiment, les simulations 4D dans le plan se prêtent parfaitement à la mise en évidence des séquences de travail tant en phase de parachèvement qu'en phase de montage du génie technique. Un autre exemple illustrant pleinement la plus-value d'une simulation 4D dans le plan ressort de la gestion de déménagements de grande envergure, fréquemment indispensable pour de grands immeubles à caractère bureautique ou pour le secteur de l'Horeca. L'intérêt d'une simulation 4D augmente encore avec le nombre des zones d'intervention, surtout lorsque celles-ci sont réparties sur différents étages. Il est alors très facile de comparer les répercussions engendrées par une activité sur l'ensemble des zones ou niveaux et d'y déceler puis de résoudre d'éventuels conflits de planification (voir figure 2).

## Simulation 4D sur base de maquettes numériques 3D

La simulation 4D fondée sur des maquettes numériques 3D a fait ses preuves au sein de la société Schroeder & Associés s.a. dans les domaines de la planification de projets de gros œuvre, allant du stade de l'étude de faisabilité au stade de l'exécution du projet.



Bien qu'un niveau de détail poussé permette d'obtenir de remarquables simulations, il y a lieu de le limiter afin de ne pas surcharger la maquette numérique. En effet, il devient de plus en plus simple d'importer des éléments de bibliothèques existantes et de programmes auxiliaires, mais ceci peut alors augmenter de façon exponentielle le volume des fichiers informatiques et alourdir ainsi le processus de travail.

Outre les limites informatiques, les modifications récurrentes de la maquette numérique imposent une gestion précautionneuse des détails et du modèle en lui-même. Des standards communs BIM (Building Information Modeling) permettant d'organiser les interactions entre usagers (architectes, ingénieurs, exécutants, etc.) ainsi que le niveau de détail s'avèrent ainsi indispensables.

#### Exemples particuliers

La 4D permet d'analyser les projets sous l'angle de leur faisabilité technique en harmonie avec les attentes des différents acteurs. Elle favorise ainsi une communication simple, visuelle et donc très efficace entre maîtres d'ouvrage, bureaux d'études et entreprises, ce qui constitue un intéressant outil de travail pour faciliter des décisions délicates. Ci-dessous deux exemples concrets (voir figure 4 et figure 5).

#### Outils informatiques utilisés

Le bureau d'études Schroeder&Associés s.a. utilise les logiciels informatiques suivants: «xD Virtual Builder®» pour générer des liens dynamiques entre des objets de dessin (AutoCAD ou Sketchup) et des plannings (MS-Project). Les rapports sont établis en format «Powerpoint» et «\*.pdf».

#### Conclusions

La simulation 4D s'est révélée être un outil de travail très performant au sein de la société Schroeder & Associés s.a. dans le service Project Management et a permis au bureau d'études de consolider sa place de précurseur en la matière au Grand-Duché de Luxembourg.

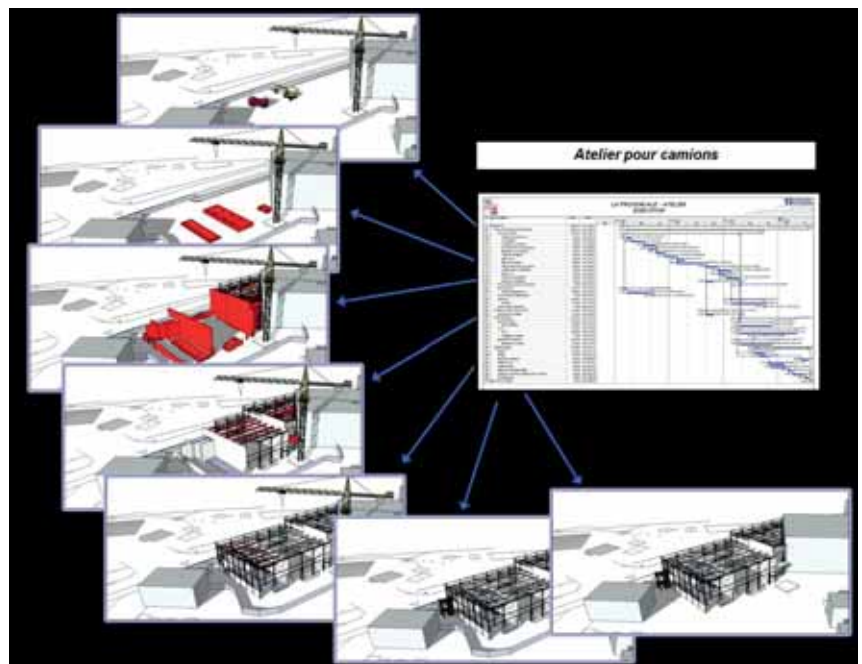


Figure 3: Simulation sur base d'une maquette 3D.

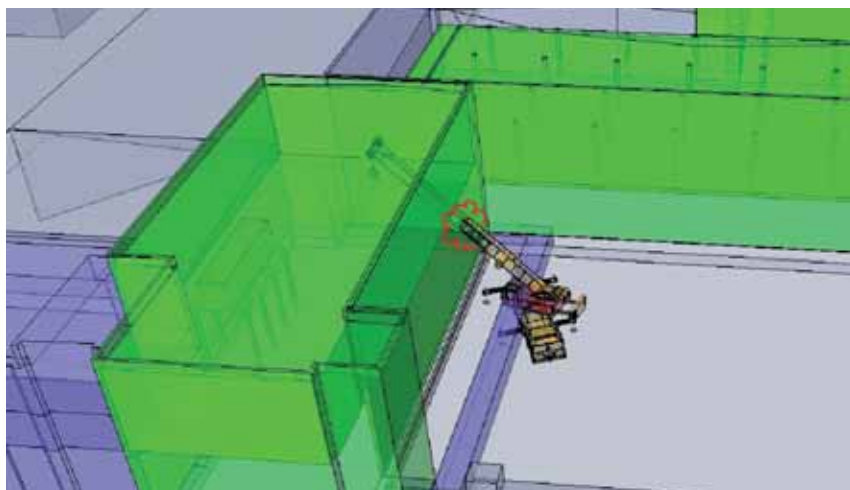


Figure 4: Exemple 1 : L'utilisation de la 4D pour mettre en évidence et résoudre des conflits entre des travaux de gros œuvre et des travaux de démontage.

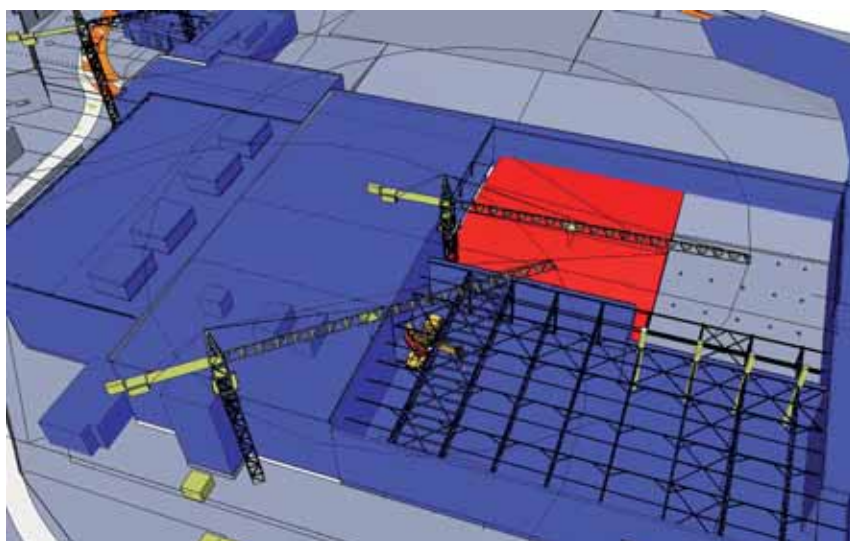
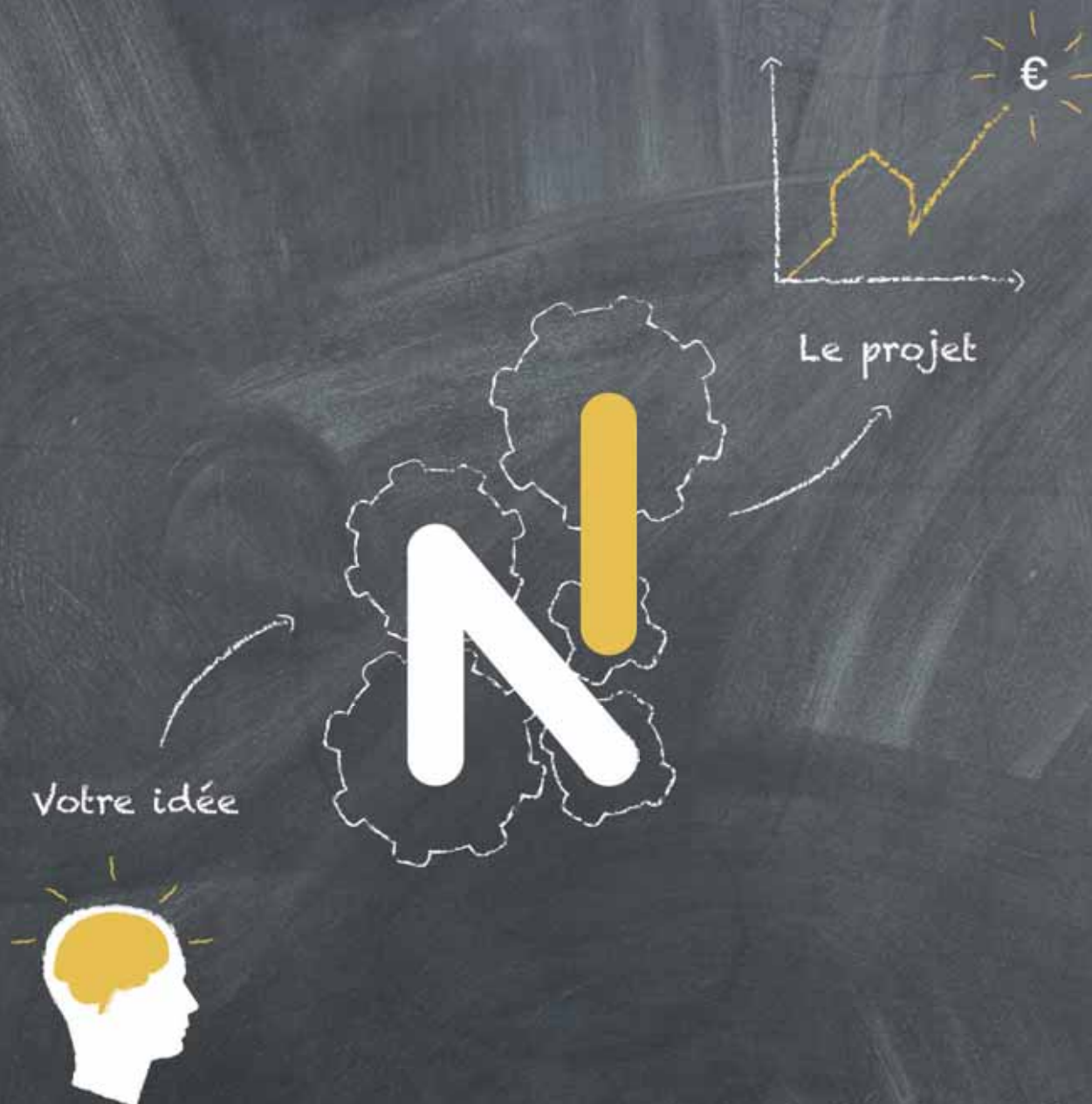


Figure 5: Exemple 2: L'utilisation de la 4D pour vérifier la méthode de démontage d'une grue à tour enfermée dans un chantier en cul-de-sac.

L'efficacité des simulations 4D dépend fortement du choix du type de la maquette numérique de base («vue en plan» ou «3D») ainsi que du niveau de détail attribué. Des standards communs BIM (Building Information Modeling) permettant d'organiser les interactions entre usagers (architectes, ingénieurs, exécutants, etc.) s'avèrent indispensables pour gérer les modifications récurrentes de la maquette.

Une vérification de la faisabilité technique d'un projet à l'aide de la 4D permet de mettre en évidence, de comparer et puis de résoudre d'éventuels conflits de planification.

La 4D favorise ainsi une communication simple, visuelle et donc très efficace lors de la naissance d'un projet et de son évolution.



**La construction durable a besoin de vos idées.  
Soumettez-les sur [neobuild.lu](http://neobuild.lu) et ensemble, développons-les.**



**neobuild**

**Neobuild, le pôle d'innovation technologique de la  
construction durable au Luxembourg.**

Accompagnement de projet d'innovation / Recherche de partenaires  
Diffusion de l'information scientifique et technique / Plateforme d'échange de connaissance

Neobuild S.A. 5A, ZAE Krakelshaff L-3290 Bettembourg  
Tél.: 26 59 56 700 • [info@neobuild.lu](mailto:info@neobuild.lu) • [www.neobuild.lu](http://www.neobuild.lu)





# LA SIMULATION 3D AU SERVICE DU BÂTIMENT\_

Cécile Goffaux et Ariane Frère (Cenaero), Sébastien Wauquier (Cover Group), Stéphane Mouton (CETIC)

La conception et la gestion des bâtiments s'effectuent de plus en plus grâce à des processus d'aide à la décision basés notamment sur des outils numériques 3D de type BIM. Les solutions 3D se développent et s'étoffent par des indicateurs économiques, énergétiques, réglementaires, facilitant ainsi l'aide à la décision en matière de développement durable.

En parallèle, des centres de recherche tels que Cenaero reçoivent de plus en plus de demandes émanant des bureaux d'études, d'architectes, d'urbanistes, de fabricants, d'équipementiers pour réaliser des simulations pointues en 3D relatives aux problématiques énergétiques, d'impact environnemental, de sécurité...

C'est ainsi que Cenaero, initialement dédié au support de l'industrie aérospatiale, traditionnellement à la pointe en termes de modélisation 3D, a transféré ses compétences vers le secteur de l'Energie et du Bâtiment. C'est donc naturellement, avec le recours accru à la représentation 3D et la simulation 3D, que ces deux mondes se rencontrent aujourd'hui. L'article présente une preuve de concept de cette rencontre, associée au développement d'une chaîne automatisée de calcul de vent sur des structures légères communiquant par un mode de type «Saas».

## Etude CFD des efforts du vent sur les structures

Pour évaluer les charges exercées par le vent sur une structure, les bureaux d'études ont accès à différents types d'outils, allant des normes aux essais en soufflerie. A l'heure actuelle, pour les structures de grande ampleur (stades, gratte-ciels...), la valeur ajoutée des essais en soufflerie est acceptée et des méthodes de simulation CFD de haute-fidélité (Large-Eddy Simulations, Tamura et al. (2006)) sont de plus en plus utilisées. Néanmoins, ces méthodes étant chères et chronophages, elles ne sont utilisées que dans les cas critiques et en fin de conception, comme vérification et non comme outil de dimensionnement. Pour le dimensionnement, la pratique courante reste donc basée sur les modèles simplifiés.

Ces méthodes simplifiées ont néanmoins des domaines

d'application très limités, ne pouvant représenter que des bâtiments de formes simples. Les méthodes de simulation CFD dites RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes), moins coûteuses que les méthodes LES mais capables de donner une bonne approximation de l'écoulement autour de bâtiments de toutes formes sont donc très intéressantes en phase de dimensionnement. L'utilisation de techniques CFD RANS est illustrée ici pour l'évaluation des contraintes aérodynamiques sur des structures légères, à savoir des vérandas.

## Application: évaluation des contraintes sur des vérandas

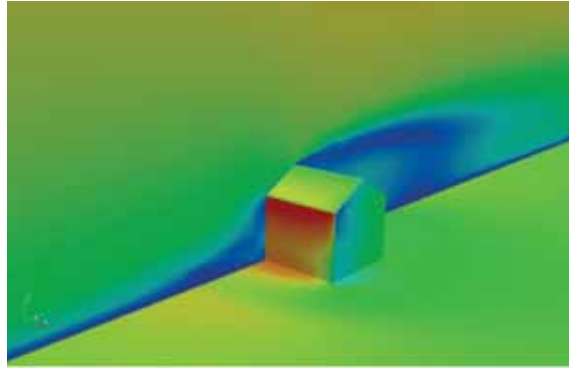
La société Cover Group édite un logiciel permettant la conception informatique 3D de châssis et vérandas. Depuis quelques années, la société offre également la possibilité de réaliser des études de stabilité ainsi que le bilan thermique 2D de châssis sur base d'un calcul «éléments finis».

Parmi les nouveaux développements qu'elle souhaiterait mener, la société Cover Group désire augmenter la précision de l'estimation des coefficients de pression sur les structures soumises au vent. Les normes et les calculs analytiques étant insuffisants pour la grande majorité des géométries traitées, Cover Group avait donc besoin de méthodes plus flexibles.

## Vérification de la valeur ajoutée des simulations CFD de type RANS

Pour répondre à ce besoin, Cenaero a proposé de comparer différents outils de détermination des coefficients de pression: normes, soufflerie, RANS. Deux cas, pour lesquels il existe des mesures expérimentales ont été étudiés: l'expérience Silsoe (Richards and Hoxey (2006)) sur un cube de 6m de côtés et l'expérience du CSTC sur une maison «classique» (Van Beeck et al (2002)), Figure 1.

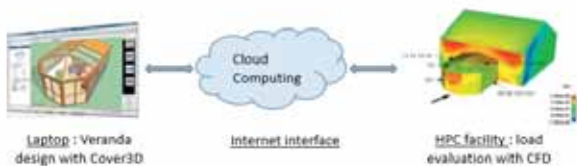
Ces cas tests, comparés du point de vue de la rapidité et de la précision des calculs, ont permis de mettre en évidence l'intérêt de l'outil RANS pour la prédiction des coefficients de pression.



1\_ Cas test CSTC: dispositif expérimental et résultats RANS (champs de pression sur les parois et champ de vitesse dans le plan de symétrie)

### Optimisation et automatisation des calculs CFD

Le but final étant l'intégration des calculs RANS dans le logiciel de Cover Group, l'étude s'est concentrée sur la réduction maximale du temps de calcul et l'automatisation des étapes de la CFD. Une manière d'accélérer la résolution est d'effectuer les simulations en parallèle, sur de multiples processeurs. Or la société Cover Group souhaite que la simulation puisse être déclenchée et visualisée directement par les utilisateurs de ses logiciels, n'ayant pas accès à d'importantes puissances de calcul. Il était donc intéressant de se tourner vers les méthodes dites de «cloud computing», Figure 2.



### 2\_ Principe du «cloud computing»

Pour intégrer la simulation 3D au logiciel de Cover Group et concevoir la mise à disposition de la simulation à distance, le CETIC a été sollicité. Ce dernier a mis en place une plateforme permettant aux utilisateurs d'envoyer par Internet les données de la simulation puis de recevoir et d'afficher les résultats. Pour ce faire le CETIC a développé une interface de programmation (API) adaptée aux données de simulation, API communicant avec un «scheduler» de tâches de calcul scientifiques (PBS). La simulation est alors fournie comme un service appelé (Software as a Service, SaaS) et bénéficie d'une puissance de calcul qui n'est pas disponible sur les ordinateurs des clients de la société.

### Conclusion et perspectives

L'exemple présenté ci-dessus illustre la manière dont les outils de simulations 3D peuvent apporter une aide au dimensionnement des structures architecturales. L'ensemble de la chaîne présentée permet en effet aux utilisateurs du logiciel de Cover Group, en environ 10 minutes, de faire

appel à un logiciel CFD et d'obtenir les efforts du vent sur leur véranda, et ce sans nécessiter de «spécialistes CFD» ni d'une puissance de calcul importante.

Comme perspectives, outre une utilisation plus accrue de la simulation 3D dans le dimensionnement des bâtiments, Cenaero voit l'exploitation de la simulation 3D à plus grande échelle, pour le développement urbanistique des villes. Dans ce cadre, Cenaero travaille actuellement dans l'intégration des outils 3D aux Systèmes d'Information Géographique (SIG).

### Bibliographie

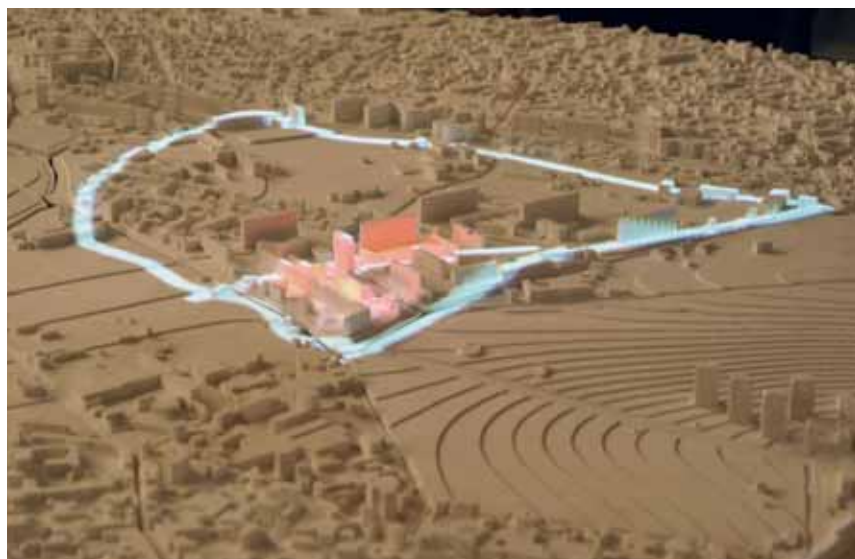
- Richards, P.J., Hoxey, R.P. (2006). Flow reattachment on the roof of a 6m cube. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94 77-99.
- Tamura, T., Nozawa, K. and Kondo, K. (2006). AIJ guide for numerical prediction of wind loads on buildings. *Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2006)*, Yokohama.
- Van Beeck, J., Corieri, P., Parmentier, B. and Dezso, G. (2002). Full scale and wind tunnel tests of unsteady pressure fields on rooftiles of low rise buildings. *COST C14, Workshop Nantes, CSTB*.

La Fabrique<sup>1</sup> souhaitait une maquette volumétrique de son territoire opérationnel de projet. Le Collectif Quatorze a fait évoluer cette commande car ce territoire sera prochainement sujet à de profondes transformations: conversion d'une autoroute en tramway urbain, construction d'une Zone d'Aménagement Concertée. Il semblait utile de proposer une représentation dynamique, ici une maquette écran, physique et tangible, augmentée d'un jeu de projections cartographiques au service d'une conception participative. Cet article appliqué vise à donner un retour sur la réalisation de ce dispositif exécuté via une fraiseuse à commande numérique. Ceci inscrit cette démarche dans le fil de volontés politiques françaises actuelles promouvant le développement de Fablabs. Face aux éloges du Do It Yourself tenus dans les récents appels à propositions et à l'injonction de participation du public, comment se structurent les modes de travail des Makers<sup>2</sup>, ces concepteurs-constructeurs imprégnés de culture numérique? Un regard sur les phases de travail interrogera la notion de compétence qui est le fil rouge de cet article.



## NUMÉRIQUE ET TERRITOIRE EN TRANSFORMATION

Collectif Quatorze: Joachim Bolanos, Grégoire Durrens, Sylvain Gauffillier, Romain Minod, Nancy Ottaviano, Rubèn Salvador-Torrès



### Fabriquer

Le processus se divise en grandes phases déduites des outils mobilisés. De l'écran à l'atelier, quelques pistes d'artisanat technologique.

### Machine de la culture wiki

En quatre mois courant 2012, un membre du collectif<sup>3</sup> a récolté les informations, plans, documents qui lui ont permis de construire une fraiseuse CNC grand format. Son amplitude est de 260cm en axe X, 140cm en axe Y et 03cm en axe Z. Usuellement mobilisée pour découper, elle sert ici à la réalisation de bas-reliefs. La contrainte d'amplitude en axe Z, qui apparente l'ensemble à de la 2D et demi, a orienté le choix du 1/2000e comme échelle de représentation du territoire. La culture de la contribution et de la mise à disposition de fichiers en ligne a permis à notre équipe, à coût très modéré, de s'équiper de cet outil: une machine numérique de construction artisanale issue de la culture Wiki.

### Cuisines de fichiers

Les documents de travail initiaux ont été mis à disposition par les communes<sup>4</sup>. La base de données topographiques

construite par L'Institut Géographique National (IGN) et disponible en fichiers Shapes (.SHP), a permis de recoller ensemble les différents plans de villes via Q-Gis, logiciel libre pour les Systèmes d'Information Géographique. Après avoir analysé en couches les hauteurs présentes sur le site, les informations ont été compilées en couches de calques dans le logiciel Rhino grâce à des fichiers d'échanges vectoriels Autocad (.DXF) et Illustrator (.AI). Rhino est relativement permissif quant aux imperfections géométriques dues aux aléas d'interopérabilité des formats. Ceci provoquait des résistances face à certaines opérations booléennes: inclusion de géométries étranges, non-traitement de certains volumes... Les masses 3D ont été modélisées, positionnées, fusionnées, etc. manuellement ou par scripts.

### Fraiser, prototyper, fabriquer

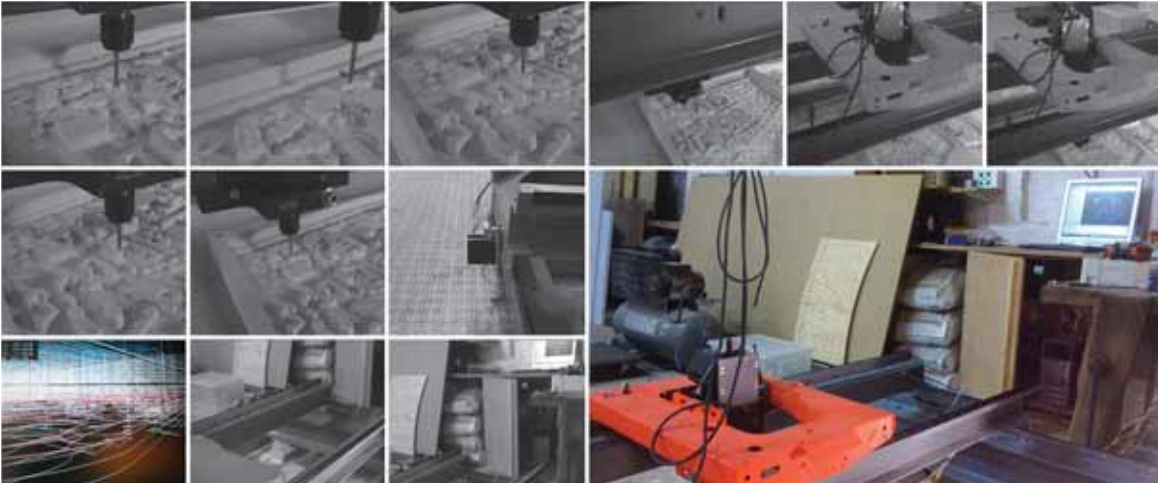
Après la phase de modélisation 3D les dessins vectoriels sont traduits en fichiers de stéréolithographie (.STL) adaptés au logiciel de génération des chemins de fraise. Il permet de définir les séquences de mouvements que fera la machine. Succinctement, le fichier G-Code (.NGC) généré par le logiciel de calcul de chemins est celui qui active la machine. Il indique une suite de coordonnées X, Y et Z, vitesses, accélérations et indications de positionnement dans la matière ou hors la matière. Sur la CNC dont nous disposons, la fraise est une Kress<sup>5</sup>.

Suite à la phase de prototypage, le contreplaqué bois sur lequel la vitesse de fraisage provoquait l'arrachement des fibres a été remplacé par du Forex<sup>6</sup> dont les copeaux se détachent plus facilement aux différents passages de la fraise. La matière est travaillée en 4 chemins: dégrossi en 6mm, affinage des volumes en 3mm, dessin des rues en 3mm, détournage de la pièce en 10mm.

### Impliquer le public

Comment concilier des savoirs informatiques clairement spécialisés et l'injonction à l'implication du public que la Ville suggérerait?





### Cadrer le territoire

La phase de fabrication fait suite à une série de 5 ateliers publics tenus à La Fabrique fin 2012. Ces premières interventions<sup>7</sup> proposaient de s'initier à la construction de petites maquettes architecturales individuelles ainsi qu'une représentation collective d'un tronçon de rue. Durant ces temps, nous interrogeons les habitants sur le quartier et les limites de l'expérience urbaine quotidienne. Ces discussions ont permis le choix du cadrage de la maquette: au delà des frontières opérationnelles du projet urbain des Hauts-Montreuil et des circonscriptions administratives ce qui donne une portée métropolitaine au dispositif.

### Construire des récits collectifs

Les 5 premiers ateliers ont aussi été l'occasion de définir 7 thématiques pour raconter la perception de la transformation urbaine par les habitants: repères, ailleurs, déserts, convivialité, incertain, frontières, transformations. Ainsi des entretiens cartographiques ont été menés<sup>8</sup> et invitaient à localiser chaque thème sur un fond de plan. Selon la méthode «Tranche de Ville», mise au point par le LAA<sup>9</sup> et l'APUR en 2005, les récits individuels ont ensuite été compilés, pour révéler, par thèmes, les espaces les plus cités. En «projetant l'humain sur le spatial»<sup>10</sup> on voit alors les points

de convergences entre représentations institutionnelles du projet et perception des habitants. Un regard croisé avec d'autres types de données projetées sur le support physique de la maquette est envisagé.

### Ouvrir l'atelier

Du 23 au 26 octobre 2013 l'atelier a été ouvert au public pour permettre de prendre connaissance du mode de réalisation de la maquette. Le temps de fabrication a donc été rendu transparent et, à défaut d'être pleinement participatif ceci a été l'occasion de discuter à la fois du numérique et du territoire, de s'orienter dans ces espaces en devenir.

### Conclusion

Pour l'heure la maquette est augmentée de ses projections et ses potentialités d'interactions sont multiples: connexion de palettes graphiques, stylets et light painting, pointeurs lasers et autres animations sont à l'étude. Enfin, si pour certains auteurs ces pratiques de prototypage rapide d'objets fabriqués via des outils à commande numérique amorceraient une troisième révolution industrielle - une redistribution en chaînes courtes et un faire accessible au plus grand nombre - la spécialisation des savoirs et les compétences requises pour la fabrication de cette maquette le montrent: la route vers la démocratisation de l'usage de ces outils de fabrication via le numérique est encore longue.

- 1\_ Plateforme citoyenne des Hauts-Montreuil mise en place à l'initiative de la ville et animée par l'association Arpenteurs.
- 2\_ Anderson, C. (2012), *Makers, La nouvelle révolution industrielle*, Clermont-Ferrand: Pearson France
- 3\_ L'équipe complète sur ce projet était: Joachim Bolanos, Antoine Demarest, Grégoire Durrens, Sylvain Gauffillier, Nancy Ottaviano, Ruben Salvador-Torres.
- 4\_ Montreuil, Rosny-sous-Bois, Bagnolet, Fontenay-sous-Bois
- 5\_ Nous n'avons donc pas la possibilité de donner des instructions sur la vitesse de rotation de la fraise.
- 6\_ Matériau blanc, compact et homogène en PVC expansé.
- 7\_ Les ateliers avaient lieu les mercredis après-midi et étaient dédiés majoritairement à un public agé de 5 à 12 ans.
- 8\_ En particulier lors d'une semaine d'enquête courant octobre 2013.
- 9\_ Laboratoire Architecture Anthropologie (LAA-LAVUE UMR 7218 CNRS) et l'Atelier Parisien d'Urbanisme. La recherche proposant la méthode est «Tranches de villes, ou comment se construit la qualité de vie en ville?»
- 10\_ Expression d'un interlocuteur à qui était présenté le dispositif.

Les usages du BIM en phase de construction du projet sont multiples. Dans l'ouvrage de référence sur le sujet, (Eastman et al. 2011) évoquent bien sûr les gains qualitatifs pour l'entrepreneur lorsque celui reçoit une maquette BIM «d'exécution», exempte d'erreurs, d'oublis, et d'incohérences entre plans 2D, coupes 2D et détails constructifs.



# MODÉLISATION 4D/5D: QUAND LE BIM INTÈGRE LE TEMPS ET LES COÛTS\_

Sylvain Kubicki, Centre de Recherche Public Henri Tudor, Luxembourg, Koenraad Nys. D-Studio, Belgique

## BIM en phase chantier : la simulation de la construction

Mieux, les outils de détection de collisions («clash detection») garantissent une revue automatisée des incohérences du modèle qui peuvent se produire lorsque plusieurs concepteurs contribuent à un même modèle BIM. Les éditeurs ne cessent d'ajouter de «l'intelligence constructive» dans leurs outils, à l'image de la fonctionnalité «Priority Based Connections» d'Archicad qui se veut garante d'une documentation structurellement et constructivement cohérente lors de la production de plans d'exécution à partir d'un modèle géré dans l'outil. La justesse des métrés quantitatifs, et de l'évaluation (semi) automatique des coûts de construction qu'ils permettent, produits à partir d'un BIM est également un argument essentiel.

Cet article traite de l'apport de paramètres en lien avec la gestion de projet aux représentations spatiales du BIM. Les paramètres constructifs et la planification des tâches d'exécution (simulation 4D), ainsi que le suivi des coûts (simulation 5D) sont ainsi abordés.

## 2D, 3D, 4D, 5D

Le dessin 2D est de loin la technique la plus utilisée dans le secteur de la construction pour représenter l'ouvrage à construire. Mais cette forme de représentation en deux dimensions n'est pas sans limites. D'abord, on sait que les multiples représentations 2D d'un ouvrage en trois dimensions sont à l'origine de nombreuses erreurs de dessin ou d'incohérences de données. De plus, chaque acteur doit se faire une représentation mentale tridimensionnelle de l'ouvrage par interprétation du dessin. Il arrive très fréquemment que les intervenants aient différentes interprétations de la même représentation.

Il est dès lors nécessaire d'avoir recours à de l'information en trois dimensions pour compléter la perception de l'objet représenté sur des plans 2D et assurer la cohérence des représentations. Selon Collier et Fischer (Collier & Fischer 1995), ceci est principalement dû au fait que l'environnement même de la construction est fait d'objets tridimensionnels et, de ce fait, la 3D semble être naturellement la meilleure

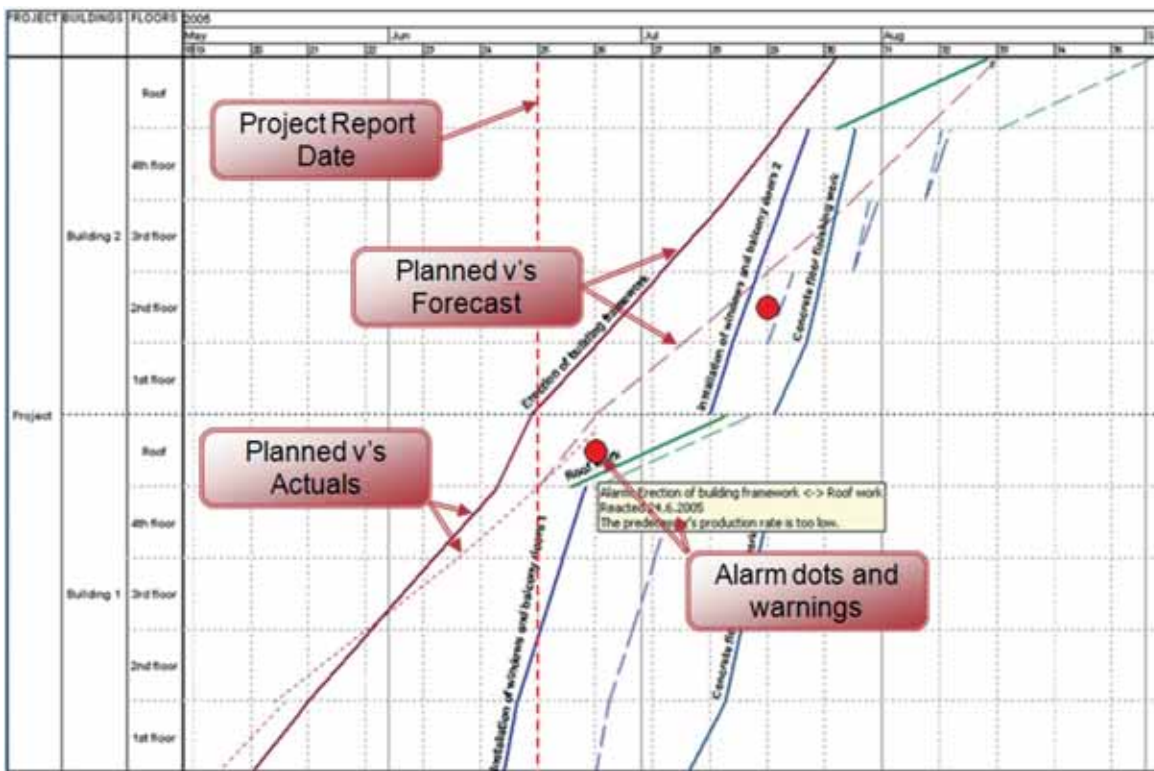
manière de les représenter. Les architectes y sont d'ailleurs familiers puisqu'ils conçoivent des espaces qui sont par nature tridimensionnels.

Les récents développements du BIM, illustrés dans cet ouvrage, montrent que de nombreux paramètres complètent la 3D afin de permettre un vrai usage collectif d'une maquette numérique. Dans la phase de mise en œuvre des ouvrages (le chantier), la 3D ne semble pas non plus suffisante pour refléter, comprendre et analyser le processus. Toujours selon Collier et Fischer, si l'environnement de la construction est composé d'objets tridimensionnels, la construction elle-même introduit une quatrième dimension (4D). Une opération de construction se compose en effet d'un ensemble de séquences d'activités réalisées par différents acteurs et à l'issue desquelles l'ouvrage «progresses» d'un état à un autre. Ainsi donc, un modèle 3D aussi élaboré soit-il, ne saurait vraiment communiquer une telle évolution de l'ouvrage, s'il est statique. D'où la nécessité d'intégrer une quatrième dimension (temporelle) qu'on retrouve dans l'ordonnancement des travaux. Il devient ainsi possible de simuler le processus de construction en fonction du temps. Toutefois, les premiers travaux datant du milieu des années 90, on parle de 4D sans forcément s'adosser aux approches de maquettes numériques BIM, interopérables ou partagées. Certains modèles 4D ne sont en réalité que des modèles «2D + Temps» et de nombreux logiciels permettent de créer un modèle 4D à partir de fichiers 3D propriétaires et souvent dépourvus de sémantique.

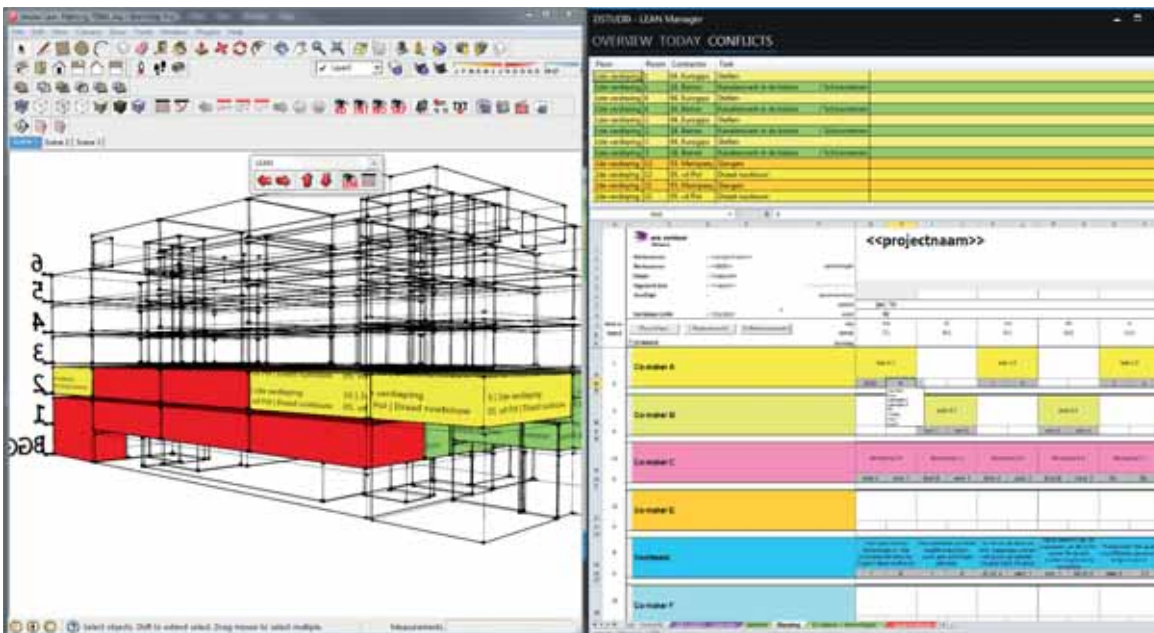
## La planification

L'introduction de cette quatrième dimension n'est pas idée fondamentalement nouvelle. Ses paramètres «temporels» sont ceux des méthodes de planification, eux-mêmes largement partagés avec d'autres domaines industriels.

La planification Gantt, la plus répandue dans notre secteur, manipule des tâches, des dates, des durées et leurs séquencements qui sont liés à la représentation tridimensionnelle du BIM. C'est d'ailleurs cette notion de séquencement, voire de chemin critique, que la simulation



1\_ Vue d'un planning "chemin de fer" montrant le planning initial (ligne rouge continue), le réalisé et les prévisions (pointillés rouges) et des alarmes (points rouges). Chaque type de tâche possède sa propre ligne. Si deux lignes passent dans la même case, on détecte immédiatement une co-localisation de travaux. Tiré de (Seppänen et al. 2010).



2\_ Un modèle 4D utilisé avec la méthode Last Planner System dans l'outil xD Virtual Builder. La coloration rouge des zones montre une co-activité (même lieu, même moment). Le coordinateur peut détecter plus rapidement des risques potentiels.

4D illustrera le mieux lorsqu'elle est coordonnée à une vue «Gantt».

Il en va de même avec la méthode chemin de fer (ou flow line), déjà souvent utilisée dans la planification de bâtiments répétitifs (ex. gratte-ciels et leurs étages presque identiques) ou de travaux linéaires (ex. déblais/remblais pour le tracé d'une infrastructure routière). En effet, cette méthode très puissante qui tient compte de la localisation des travaux offre une lisibilité accrue lorsqu'un modèle 4D l'associe à la représentation des ouvrages 3D. Les prévisions de cadence de travaux (c.-à-d. l'inclinaison du tracé dans un diagramme «flow line») et les potentiels conflits (c.-à-d. deux tracés, soit deux tâches, qui se rencontrent) sont en effet visionnés dans leur contexte spatial (Figure 1).

Des méthodes plus collaboratives, comme le Last Planner System s'appuient également sur la localisation des travaux pour détecter des risques et gérer le projet. Cette méthode est basée sur des prévisions de durées réalistes, fournies par les exécutants eux-mêmes durant des séances de revue collectives. Certains outils proposent ainsi de calculer et visualiser ces zones sur un modèle 4D (Figure 2).

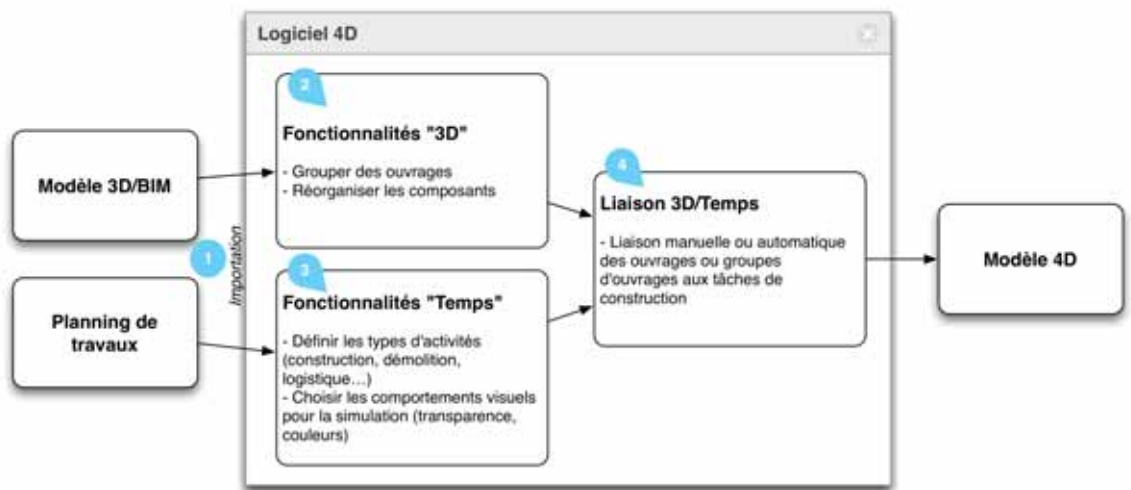
#### Modéliser 4D

Un modèle 4D s'obtient en reliant des tâches de construction à une géométrie 3D: les ouvrages à construire.

#### BIM et non BIM...

Depuis de nombreuses années, les coordinateurs/planificateurs réalisent des plannings 4D en utilisant





3\_ Processus typique de modélisation 4D. Adapté de (Eastman et al. 2011)

simplement les couleurs, types de traits ou jeux de calques des logiciels de CAO classiques. Les « animations 4D » résultantes sont bien sûr pertinentes, mais difficilement pérennes et modifiables.

Des logiciels de CAO/BIM, comme ArchiCAD ou Revit, ont alors intégré des fonctionnalités de base (ou proposé des « add-ons »), permettant d'associer les ouvrages modélisés à des « phases » de la construction, surtout pour permettre aux architectes de « filtrer » les objets représentés (par exemple afficher/masquer des ouvrages « existants »).

Finalement, le marché actuel se compose majoritairement de logiciels spécifiques, avec leurs fonctionnalités dédiées à la modélisation « 4D » et à la gestion de projet, et coordonnés aux modèles BIM et aux plannings de chantier. Notons encore que la multiplicité des formats BIM propres aux éditeurs de logiciels de CAO/BIM rend complexe leur prise en charge par ces logiciels 4D. Les produits se divisent donc entre les solutions permettant de gérer une variété de formats 3D/BIM (fonctionnalités très utiles mais complexes à maintenir dans le temps, proposés surtout par les grands éditeurs) et ceux proposant aux utilisateurs de transiter par un format intermédiaire pour la prise en charge des ouvrages 3D :

— Le format IFC est une solution. Ce standard permet en effet depuis sa version 2.0 d'associer les paramètres temporels aux ouvrages du bâtiment, notamment via les classes IfcWorkPlan IfcWorkSchedule et IfcTask.

— SketchUp, logiciel capable d'importer de multiples formats 3D/BIM, est aussi largement utilisé par ces éditeurs qui développent des plug-ins proposant les fonctionnalités 4D. Ce logiciel classiquement qualifié de « non-BIM » trouve ainsi parfaitement sa place dans un workflow « BIM » !

Une question essentielle dans le cas de l'utilisation de formats intermédiaires (fichiers ou base de données) est la persistance de la relation entre objets 4D et objets d'origine. Elle garantit en effet qu'une simulation 4D reste maintenable dans la durée du projet en intégrant (semi)

automatiquement les modifications effectuées sur la géométrie 3D ou sur le planning de tâches dans les logiciels d'origine.

#### Processus de modélisation 4D

La Figure 3 présente le processus de modélisation 4D généralement proposé par les logiciels actuels. Ils se basent tous sur l'import d'un modèle 3D/BIM et d'un planning des travaux (Figure 3, point 1).

Ces données sont ensuite traitées dans le logiciel (Figure 3, point 2) de façon à organiser les ouvrages suivant la réalité constructive (par type, lot...) et la granularité attendue dans la planification (ex. murs individuels, étages entiers...). En parallèle le planning sera enrichi (Figure 3, point 3) de façon à renseigner le type d'activité concerné, comme la construction d'ouvrages, la démolition, les tâches de logistique etc. Ces paramètres des tâches sont rarement renseignés dans les logiciels de planification. Des tâches particulières peuvent également être ajoutées ici, indépendamment du planning d'origine. Ces informations impacteront la visualisation du modèle 4D lors de la simulation. Les paramètres de visualisation sont de plus réglés ici, de façon à adapter le choix des couleurs, ou l'utilisation de la transparence, aux caractéristiques du projet en cours de modélisation.

Le logiciel 4D propose alors sa fonctionnalité centrale, permettant de lier l'information 3D au temps (Figure 3, point 4). Cette liaison est souvent manuelle, basée sur le travail d'organisation des données précédent. Cependant, des fonctionnalités innovantes apparaissent dans les outils, et permettent de générer automatiquement ces liens. L'information sémantique du BIM permet en effet de créer des règles de mise en œuvre « semi-automatiques ». Des recherches plus poussées sont actuellement en cours dans la communauté scientifique pour prendre en compte d'autres paramètres afin de générer la liaison 4D ou de proposer au coordinateur du projet des variantes de planification qu'il peut alors analyser et choisir.



## Usages

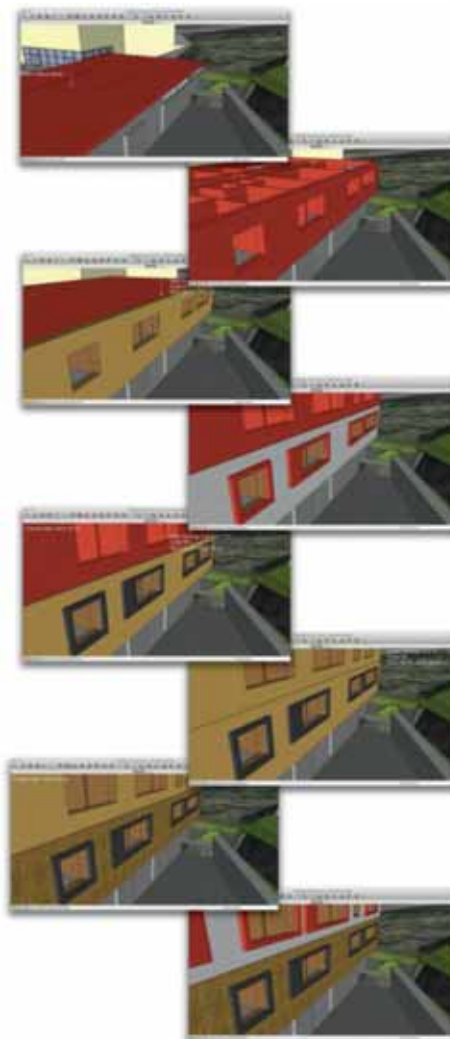
Dans ses usages premiers, la 4D permet l'analyse de la constructibilité d'un projet en phase de pré construction et est aussi utilisée pour le suivi de l'avancement des travaux. En résumé, la simulation 4D permet de vérifier que les ouvrages soient bien constructibles/assemblables suivant les contraintes spatiales et temporelles du chantier. Concrètement, on vérifie les encombrements, la logique de construction des éléments ou encore le risque d'interfaces entre les corps de métiers exécutants (ex. travaux au même endroit et au même moment!).

(Eastman et al. 2011) exposent les bénéfices de simulations 4D pour les coordinateurs de chantier et entreprises de construction:

- \_Elles permettent une communication visuelle du séquençement du chantier de manière efficace et non ambiguë.
- \_Utilisées de manière collective, elles permettent à de multiples acteurs d'un projet de transmettre leurs points de vue.
- \_Au-delà du bâtiment à construire, les simulations 4D peuvent intégrer et optimiser divers éléments de logistique, démolition ou travaux annexes, généralement pas représentés sur un planning classique.
- \_La coordination séquentielle des équipes intervenant dans des espaces exigus est facilitée.
- \_Enfin, la plupart des outils offrent des fonctions de comparaison de variantes de planification (et de leurs effets) ou tout simplement de visualisation de l'écart entre «avancement planifié» et «avancement réalisé».

Au-delà de ces arguments largement répandus, de nombreux professionnels et chercheurs s'intéressent également aux vertus du modèle 4D dans les phases amont de la conception du projet (Kubicki 2013). Par exemple, les étapes durant lesquelles les concepteurs travaillent ensemble à la résolution de détails de conception sont généralement dédiées à l'expression de leurs points de vue experts. Dans ce jeu d'essais/erreurs, plus ou moins guidé par l'architecte suivant ses compétences et la technicité

des questions, la mise en œuvre ne doit pas être oubliée. Comme le révèlent certaines expérimentations récentes, l'utilisation d'un modèle 4D, aussi grossier et imprécis soit-il, ne peut qu'améliorer la compréhension commune du détail en cours de conception.



4\_ Séquence 4D de construction d'une façade en ossature bois

La Figure 3 montre une représentation 4D des séquences de d'assemblage d'une façade dans la conception d'un bâtiment en ossature bois. Dans cet exemple, plusieurs réunions ont été nécessaires avant d'aboutir à une vision commune entre architecte, ingénieur structure et ingénieur thermique! Ce genre de séquences, rapidement obtenu à partir d'un modèle BIM associé à un planning (même grossier), permet de lever rapidement des ambiguïtés de perception.

Au-delà de ces applications liées aux questions de planification en conception/construction, d'autres usages apparaissent comme la possibilité de consulter les entreprises plus rapidement, la réalisation de maquettes 4D dans la planification urbaine pour visualiser les étapes de développement d'un projet ou encore l'information des citoyens lors de la planification de travaux publics.

### **Gestion financière avec le BIM**

Les évolutions technologiques et projets récents démontrent une évolution vers des systèmes toujours plus intégrés. Au-delà de la dimension temps (4D), d'autres types d'informations liées à la gestion de projet comme par exemple le composant financier (5D) et/ou la gestion du programme de construction peuvent s'ajouter. L'optimisation des coûts de construction semble gagner du terrain en répondant aux demandes et exigences du marché, notamment celles des maîtres d'ouvrage qui souhaitent mieux anticiper et suivre les dépenses et projections financières liées au développement des phases de la construction. Cette modélisation «5D» n'est pas nouvelle. Déjà dans les premiers systèmes de simulation 3D apparus dans les années 1980, des modules similaires permettaient de déduire les coûts de construction sur base de la notion d'objets intégrés dans le modèle 3D. Des systèmes comme Star Archi, Speedikon et un peu plus tard Archicad offraient ces possibilités. Cependant, les interfaces utilisateur peu avenantes, la complexité des fonctionnalités associées à un manque de connaissance et de maturité des

modèles «orientés objets» a résulté à cette époque en une acceptation limitée de ces systèmes par les professionnels. L'estimation des coûts d'une construction est pratiquée par de nombreux acteurs, notamment l'économiste de la construction. Elle se base traditionnellement sur un fastidieux travail de description des ouvrages, en établissant des métrés et en définissant des quantités. Le BIM simplifie énormément cette tâche, en permettant de générer ces informations de manière précise et à tout moment du projet. L'automatisation complète reste impossible, mais l'opportunité est de renverser la répartition de l'effort de travail en consacrant plus de temps à l'analyse des données extraites du BIM plutôt qu'à consolider ces données elles-mêmes.

Déduire des coûts d'un modèle 3D orienté «objets de construction» semble évident mais reste une opération complexe. Bien sûr, déduire des quantités (le «quantitatif») en soi n'est pas problématique. La définition même des propriétés tridimensionnelles d'un poteau en béton permet par exemple directement d'en déduire le volume, la surface et d'autres caractéristiques quantitatives. Mais l'interprétation de ces quantités dans le cadre d'un système de calcul de coûts propre à l'utilisateur et/ou normalisé, demande souvent un effort considérable. Pendant des dizaines d'années, les experts financiers se sont habitués à interpréter des plans 2D sur base de règles de calcul, par manque d'autres possibilités. La déduction des quantités «réelles» sur base d'un modèle 3D ne s'intègre aujourd'hui pas facilement dans ces règles et normes, faites d'approximations et de marges de tolérance. Il faut donc souvent des systèmes d'interprétation intermédiaires et de redirection de ces quantités. Par exemple, interpréter si la tête du poteau fait partie du poteau ou de la poutre au dessus n'est aujourd'hui pas défini normativement. Mais il est évident que dans les prochaines années la normalisation s'adaptera à ces nouvelles techniques.

La mise au point d'un système 5D n'est donc pas toujours directement liée à la complexité et les possibilités du système de modélisation. Au contraire il s'agit d'abord

de bien organiser le flux d'informations (workflow) et les méthodes au niveau du développement du projet plutôt que d'ajouter de la complexité par des fonctionnalités avancées qui seront sous-utilisées. On peut distinguer différentes approches qui dépendent du moment de l'estimation dans le processus de conception et construction et du niveau de détail souhaité. Ainsi, dans les premières phases d'un projet, on peut estimer les coûts sur base de quantités type par surfaces ou volumes, ce qui résulte en une estimation ultra-rapide et relativement correcte. Ces modules 5D se présentent comme des systèmes d'aide à la décision en phase de conception. D'autres systèmes calculent les coûts sur base des quantités type pour chaque type d'élément (ces méthodes s'appuient sur des classifications des ouvrages du bâtiment, par exemple en Grande-Bretagne la méthode de classification SfB). Des objets comme des murs, des toitures, etc. sont interprétés dans leur unicité et puis divisé et estimé dans leurs composants. Ce système est sans doute le plus appliqué. La comparaison des résultats des deux systèmes décrits ci-dessus permet de plus un contrôle.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. et Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2nd edition, John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey.

Kubicki, S. (2013). Simulation 4D : une assistance pour la collaboration dans la conception de projets d'architecture. Article en ligne. <http://www.tudor.lu/fr/actualite/simulation-4d-une-assistance-pour-la-collaboration-dans-la-conception-de-projets> (accédé le 30/09/2013).

Seppänen, O., Ballard, G. et Pesonen, S. (2010). The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. Lean Construction Journal. pp. 43-54.

[www.leanconstructionjournal.org](http://www.leanconstructionjournal.org)



## EVA

ENVIRONNEMENT ET  
AGRO-BIOTECHNOLOGIES



## ISC

INFORMATIQUE, SYSTEMES  
ET COLLABORATION



## SAM

SCIENCE ET ANALYSE  
DES MATERIAUX



# CRP - GABRIEL LIPPMANN

## TROIS DÉPARTEMENTS AU SERVICE DE VOTRE INNOVATION

Acteur majeur de la recherche scientifique et du transfert de technologie au Luxembourg, le CRP-Gabriel Lippmann met à votre service ses compétences de haut niveau et ses technologies de pointe.





# C'est quoi le BIM ?

Le BIM (Building Information Modeling ou Modélisation des Données du Bâtiment) est un processus de création et de gestion des données du bâtiment. Il permet de **centraliser** toutes les données du bâtiment dans un modèle numérique, unique et calculable.

Ce processus intégré permet aux professionnels de la construction de **collaborer** à un projet par l'apport et l'utilisation d'informations numériques fiables et **coordonnées** qui s'adaptent et se précisent tout au long du projet.

Un avantage parmi tant d'autres est l'identification, la gestion et la **résolution de conflits** avant la construction.



Les **Building Design Suites** d'Autodesk basées sur **Revit** et **Navisworks**, et complétées par **Magicad**, forment un ensemble unique de logiciels de conception, de dessin et de coordination, **facilitant la collaboration** entre maîtres d'ouvrage, architectes, bureaux d'étude et entreprises.

Vous utilisez AutoCAD LT? Il existe aussi une version LT de Revit, à un prix démocratique.

Pour votre formation, adressez-vous à un **professionnel**. Tase Solutions est un centre de formation **certifié Autodesk** qui vous propose des conseils venant de professionnels du secteur de la construction.



> Pour plus d'information, contactez

- Tase Belgique  
[bim@tase.be](mailto:bim@tase.be) | +32 2 247 92 05
- Tase Luxembourg  
[info@tase.lu](mailto:info@tase.lu) | +352 250 750 360

# CBC Informatique, Seul distributeur ArchiCAD agréé au Luxembourg depuis 25 ans !

Avec ArchiCAD, bénéficiez de ...

## Tarifs préférentiels

Formations personnalisées  
Accompagnement  
Architecte spécialisé ArchiCAD  
Formations gratuites  
Support

CBC Informatique, c'est aussi...

**Maintenance informatique**  
Services Web Solutions hardware  
Réparateur agréé toutes marques  
Réseautique Solutions software  
Développement d'applications

## ABANDONNEZ VOS VIEILLES SOLUTIONS 2D ET PROFITEZ D'OFFRES ATTRACTIVES TOUTE L'ANNÉE !

Vous avez une solution mais  
souhaitez évoluer vers ArchiCAD

CBC Informatique

**VOUS OFFRE 20%**

soit

4600€<sup>HT</sup>  
**3680€<sup>HT</sup> \***

Vous n'avez pas encore de solution  
et êtes intéressé par ArchiCAD

**PRIX PROMO**

4600€<sup>HT</sup>  
**3900€<sup>HT</sup> \*\***

\* Sur prix de vente hors contrat d'une première licence ArchiCAD, sur preuve d'achat d'une autre solution. Offre valable jusqu'au 31/12/2014.

\*\* Sur prix de vente hors contrat d'une première licence ArchiCAD. Offre valable jusqu'au 31/12/2014.





## ENTREPRISE GÉNÉRALE DE CONSTRUCTION

- ▶ Génie civil
- ▶ Gros-œuvre
- ▶ Ouvrages d'art
- ▶ Résidences et maisons de haut standing
- ▶ Bâtiments administratifs
- ▶ Constructions clé sur porte



**SOLUDEC**

TEL.: 26 59 91



[info@soludec.lu](mailto:info@soludec.lu)

An der Universität Luxembourg arbeitet die Forschungsgruppe «Computer-based assessment», die sich vorwiegend mit der Erforschung komplexer Problemlösefertigkeiten befasst. Ihr Leiter, ATTRACT fellow, Dr. Samuel Greiff berichtet hier über diese Fertigkeit. Besonders in den letzten Jahrzehnten, innerhalb derer eine rasante technologische Entwicklung stattfand, gewinnt die Fertigkeit, neuartige Probleme zu erforschen und das erworbene Wissen in neuen Situationen anzuwenden zunehmend an Bedeutung. Aus diesem Grund wurde die komplexe Problemlösefertigkeit von Schülern im Rahmen der größten internationalen Vergleichsstudie im Bildungswesen, PISA, erhoben. In diesem Artikel, werden die Ergebnisse dieser Studie und ihre Implikationen erläutert.



## DIE ROLLE VON KOMPLEXEM PROBLEMLÖSEN IM UMGANG MIT NEUEN TECHNOLOGIEN\_

Dr. phil. Samuel Greiff, Dipl.-Psych. ATTRACT fellow



In den letzten Jahrzehnten verläuft die Entwicklung neuer Technologien und ihr Einfluss auf unser alltägliches Leben zunehmend rasanter: Vom individuellen Alltagsleben bis hin zu komplexen Prozessen in der Industrie werden unzählige Vorgänge vereinfacht oder automatisiert. Ein Beispiel dafür sind Smartphones, die mittlerweile die selbstverständlichen Begleiter vieler Menschen sind. Diese können uns in der Nähe eines Geschäfts erinnern noch einen Wein zu kaufen oder uns vor einem Stau auf der üblichen Route nach Hause warnen. Auf einem abstrakteren Niveau, zum Beispiel in der Industrie, werden durch solche neuen Technologien viele Produktionsprozesse automatisiert – beispielsweise durch Maschinen die auf Robotertechnik beruhen. Auch wenn solche Technologien dazu gedacht sind dem Menschen den Alltag zu erleichtern, werden die Nutzer dadurch immer wieder mit neuen Anforderungen konfrontiert. Einerseits ist es notwendig in der Lage zu sein, solche neuen Technologien zu bedienen um ihre Vorteile zu nutzen. Auf der anderen Seite werden, durch die wachsende Bedeutung automatisierter Prozesse, auf dem Arbeitsmarkt neue Fertigkeiten, die nicht mehr auf erlernten Routineprozessen basieren, erwünscht oder sogar

verlangt. Diese Fertigkeiten, wie beispielsweise Kreativität, Kollaboration oder komplexes Problemlösen, werden in der Forschung als “21st century skills” bezeichnet und in den letzten Jahren von Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen intensiv beforscht.

Eine dieser Fertigkeiten des 21ten Jahrhunderts, das komplexe Problemlösen, ist die Fertigkeit komplexe, neue Probleme, deren Lösungsweg völlig unbekannt ist, zu lösen. Dadurch, dass Menschen heutzutage immer mehr mit den neuen Technologien und der Beherrschung ihrer Bedienung konfrontiert sind, wird komplexes Problemlösen in vielen alltäglichen Situationen benötigt. Aus diesem Grund erhält diese Fertigkeit besonders große öffentliche Aufmerksamkeit und steht im Zentrum des Interesses vieler Forscher. Innerhalb dieses Artikels wird zunächst kurz erläutert was unter komplexer Problemlösefertigkeit verstanden wird und wie sie gemessen werden kann. Im Anschluss werden aktuelle Ergebnisse bezüglich der Problemlösefertigkeiten von Schülern sowie deren Implikationen diskutiert.

Sei es also beim Bedienen eines neuen Tablets oder beim Kaufen eines Fahrscheins an einem neuen Automaten, stets ist es notwendig zuerst das Gerät bzw. das Problem zu erforschen, indem unterschiedliche Funktionen oder Vorgehensweisen systematisch ausprobiert werden. Als Ergebnis dieses Erforschens entsteht ein gedankliches Modell bzw. eine gedankliche Vorstellung des erworbenen Wissens. Dieses Wissen kann anschließend genutzt werden um konkrete Ziele zu erreichen, wie zum Beispiel einen 24-Stunden Fahrschein für die erste Zone für Studenten zu kaufen. Der Prozess des Erforschens und die Entstehung des gedanklichen Modells ist dabei die erste Dimension des komplexen Problemlösens, die in der Forschung „Wissenserwerb“ genannt wird. Von einem wissenschaftlichen Gesichtspunkt aus wird hier der Fokus besonders auf die Frage nach der individuellen Vorgehensweise gelegt – welche Strategien wendet eine Person an, um das Problem zu erkunden? Wie systematisch



und konsequent geht sie dabei vor? Es wäre beispielsweise denkbar, dass eine Person plangemäß vorgeht und alle Funktionen der Reihe nach und dann auch jeweils in Kombination mit einander ausprobiert und so auf effiziente Weise das Gerät erforscht.

Andererseits ist es genauso denkbar, dass eine Person planlos vorgeht, nicht zielführende Schritte wiederholt und so nicht alle Funktionen des Geräts entdeckt. Nachdem die Funktionen und die möglichen Vorgangsweisen erkundet und ein gedankliches Modell des erworbenen Wissens entstanden ist, folgt der nächste Prozess im komplexen Problemlösen. Dieser Prozess spiegelt sich in einer zweiten Dimension des komplexen Problemlösens wider, die „Wissensanwendung“ genannt wird. Diese stellt das Erreichen eines bestimmten Ziels aufgrund erworbenen Wissens dar. Im engeren Sinne ist das die Fertigkeit einer Person das Wissen über das Problem, welches in der ersten Phase erworben wurde, in konkrete Handlungen umzusetzen um ein bestimmtes Ziel, wie im oben genannten Beispiel das Kaufen des 24-Stunden Fahrscheins für Studenten, zu erreichen.

Nachdem komplexes Problemlösen, besonders durch die rasante technologische Entwicklung, inzwischen in zahlreichen Alltagssituationen und beinahe allen Lebensbereichen benötigt wird, besteht auch ein starkes öffentliches Interesse daran, diese Fertigkeit zu erfassen und zu fördern. In diesem Sinne wurde im Rahmen der PISA (Programme for International Student Assessment) Studie, die auf einem internationalen Niveau unterschiedliche Schulfertigkeiten von 15-jährigen Schülern erfasst und international vergleicht, auch die Erfassung von komplexem Problemlösen eingeführt. Im Jahr 2012 wurde komplexes Problemlösen zum ersten Mal computer-basiert und länderübergreifend im Rahmen von PISA erfasst. Die computer-basierte Vorgabe des Tests ermöglichte es dabei, dynamische und interaktive Probleme zu realisieren, die die Realität des schulischen Alltags gut abbilden konnten. Beispielsweise, wird der Schüler mit

der Aufgabe konfrontiert, die beste Route von einem zu anderem Standort innerhalb einer Stadt zu finden, indem er verschiedene Routen ausprobiert und die benötigte Reisezeit herausfindet.

Das übergeordnete Ziel von PISA sowie anderen, vergleichbaren internationalen Studien ist es, zu verstehen, warum manche Schüler bessere Problemlöser sind als andere, beziehungsweise welche Charakteristika der bestimmten Ländern oder Schulsystemen die Schüler zu besonders guten Problemlöser machen. Die Ergebnisse der PISA Studie zeigen, dass Schüler aus Singapur, Korea und Japan im Vergleich zu Schülern aus allen anderen teilnehmenden Ländern besonders gute Problemlöser sind. Die Leistung im Problemlösen entspricht dabei in einem Großteil der teilnehmenden Ländern dem Leistungsniveau in den Bereichen Lesen, Mathematik und Naturwissenschaften. Noch interessanter sind allerdings Befunde, die zeigen, dass es unter den teilnehmenden Ländern auch solche gibt, bei denen die Leistung in schulischen Bereichen nicht mit denen im Problemlösen übereinstimmen. Länder in denen ein solches Missverhältnis beobachtet wurde sind beispielsweise Australien, Serbien, Macao-China und die Vereinigten Staaten. In den genannten Ländern sind die Schüler im Vergleich zu ihrem Leistungsniveau in schulischen Fächern besonders gute Problemlöser.

Nachdem komplexes Problemlösen eine Fertigkeit ist, die wenig in spezifischen Schulfächern erlerntes Wissen benötigt, könnte man sich vorstellen, dass komplexes Problemlösen in diesen Ländern indirekt durch das Schulsystem gefördert wird. Andererseits, zeigt sich, dass in manchen Ländern, die Fertigkeit der Schüler komplexe Probleme zu lösen viel niedriger ist als ihre Schulfertigkeiten. Auch hier kann man die Gründe im Schulsystem suchen. Um diese Ergebnisse noch detaillierter erklären zu können, wurde zusätzlich untersucht wie sehr die Zugehörigkeit eines Schülers zu einer bestimmten Schule oder einer bestimmten Gemeinde für die Leistung im komplexen Problemlösen verantwortlich ist. So zeigt die PISA Studie 2012, dass auch

die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Schule wichtig für die Leistung im Problemlösen sein kann. Die Erklärung hierfür könnte in unterschiedlichen schulpolitischen Entscheidungen, der Qualifikation der Lehrkräfte oder auch der Größe der Schule liegen. Genauso ist es auf einem abstrakteren internationalen Vergleich denkbar, dass in den Ländern in denen die Problemlösefertigkeit bei Schülern besonders stark ausgeprägt ist, wie beispielsweise Singapur, Korea und Japan, das Schulsystem diese Fertigkeit außerordentlich gut fördert. Möglicherweise findet in den Schulsystemen dieser Länder weniger Lehre in Form von Vorlesungen von Seiten der Lehrer und mehr eigenständiges Erlernen und Erforschen von neuen Situationen durch die Schüler statt. So werden die Schüler in Singapur, Korea und Japan von ihren Lehrern besonders stark gefördert beispielsweise in Fächern wie Physik, eigene Lösungswege für Probleme durch Ausprobieren und Experimentieren zu erkunden um auf diese Art und Weise physikalische Gesetzmäßigkeiten zu entdecken, zu verstehen, und auf weitere Lebensbereiche zu übertragen.

Luxembourg nahm im Jahr 2012 an der Testung der Problemlösefertigkeit nicht teil. Das lässt den Raum für die Diskussionen offen, ob die luxemburgischen Schüler gute Problemlöser sind oder eben vielleicht auch nicht. In Anbetracht dessen, dass die luxemburgischen Schüler in den schulischen Fächern Mathematik, Lesen und Naturwissenschaften in der PISA Studie niedrigere Ergebnisse erzielen als zum Beispiel die Nachbarländer Belgien, Deutschland und Frankreich, könnte man vergleichbare Ergebnisse auch im komplexen Problemlösen erwarten. In den genannten Nachbarländern zeigten die Schüler eine leicht überdurchschnittliche Leistung im komplexen Problemlösen und überdurchschnittliche bis durchschnittliche Leistung in schulischen Kompetenzen. Für die Schüler in Luxemburg wäre demnach zu erwarten, dass sie etwas unter dem Durchschnitt abschneiden würden.

Aus Analysen der komplexen Problemlösefertigkeiten der Schüler west-europäischer Länder kann man also

Schlussfolgern, dass diese auf einem relativ guten Weg zu sein scheinen, die Problemlösefertigkeit der Schüler zu fördern. Allerdings besteht im Vergleich zu asiatischen Ländern wie Singapur, Japan oder Korea noch Verbesserungsbedarf. In Konsequenz ist es daher sinnvoll weiter zu untersuchen inwieweit sich das Schulsystem Singapurs, Koreas und Japans von Schulsystemen der restlichen teilnehmenden Länder unterscheidet. Das würde die Möglichkeit eröffnen, das Schulsystem in Ländern in denen Schüler sehr schlechte Problemlösefertigkeit aufweisen in der Art zu reformieren, dass eine bessere Förderung von Problemlösefertigkeiten erfolgt.

[www.uni.lu](http://www.uni.lu)



## Prima Aussichten!

**Du interessierst Dich für Technik?  
Du willst wissen, wie die Dinge  
wirklich laufen? Dann solltest Du  
Ingenieurwissenschaften studieren.**

**Ob Hochhaus oder Handy, ob Windkraft  
oder Windkanal:  
Hinter jeder Innovation stehen  
Ingenieure - und wir bilden sie aus.**

### Wir bieten:

- zwei Bachelor-Studiengänge
- vier anschließende Master-Studiengänge
- ein flexibles Studienprogramm
- eine internationale Ausbildung
- individuelle Betreuung
- Industriekontakte
- ein Umfeld mit exzellenten Jobaussichten

Interessiert? Mehr Infos per Mail an  
[ingenieur@uni.lu](mailto:ingenieur@uni.lu)

**Universität Luxemburg - my University!**

[www.uni.lu](http://www.uni.lu)

Tel. +352 46 66 44 - 6617/6222



## Université du Luxembourg 2003 – 2013

Publié dans le cadre des manifestations du 10ème anniversaire de l'Université du Luxembourg, l'ouvrage «Université du Luxembourg 2003 – 2013» réunit sur 272 pages des contributions de personnages issus du monde académique et politique, d'acteurs du monde professionnel, d'étudiants et de diplômés s'interrogeant sur le passé, le présent et l'avenir de cette jeune institution.

Le livre «Université du Luxembourg 2003 – 2013» se veut à la fois multiperspectif, profond et utile. Utile, parce qu'il aide à comprendre le sens à donner aujourd'hui à l'institution universitaire, les objectifs que l'Université s'est fixée, ainsi que son évolution. Profond, car il lie l'analyse historique aux réalisations et à une mise en perspective. Et enfin multiperspectif, car il jette sur l'Université des regards multiples, internes avec ceux des responsables, des professeurs et des étudiants, mais aussi de personnes externes.

Ces réflexions ont également déterminé la structure du livre qui se présente en huit parties:

Un premier chapitre présente le paysage universitaire actuel. Plusieurs concepts se dessinent dans l'évolution récente de la gouvernance universitaire, de la «multiversity» à l'«entrepreneurial university» en passant par la «global university». Des auteurs experts dans l'analyse de l'enseignement supérieur situent le cadre international dans lequel la jeune Université du Luxembourg évolue et mesurent les défis qui lui sont posés pour être compétitive.

Les deux chapitres suivants sont destinés à éclairer le moment fondateur de l'Université du Luxembourg, en retraçant le contexte académique antérieur, les établissements supérieurs d'antan, les débats de société qui prévalent au vote de la loi de 2003, et la philosophie qui a déterminé celle-ci.

Le chapitre «Réalizations» jette ensuite un regard critique sur les dix premières années, au niveau universitaire global, mais aussi dans la perspective des trois facultés et des deux centres interdisciplinaires. Par ailleurs, les douze unités de recherche de l'Université ont été invitées à présenter chacune un de leurs grands projets, afin d'illustrer de manière concrète le programme de recherche universitaire.

Cette présentation par unités sera complétée par des thématiques transversales: le multilinguisme, l'espace universitaire, la politique en faveur de l'égalité des chances, le regard de la presse. Des témoignages du monde étudiant et du monde professionnel complètent cette analyse. Le volume se termine par une mise en perspective du projet «Université», avec un second moment fondateur, le moment «Belval».

L'ouvrage «L'Université du Luxembourg 2003-2013» est édité sous la direction du professeur Michel Margue (Université du Luxembourg) en collaboration avec Manon Jungen.

ISBN 978-99959-680-6-9; 45 €

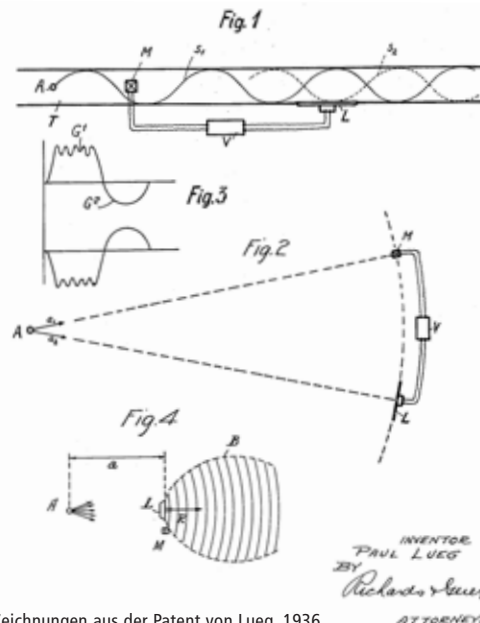
# ACTIVE NOISE CONTROL UND TIEFFREQUENTE LÄRMPROBLEME

Prof. Dr.-Ing. Detlef Krahé, Dipl.-Ing. Christian Kleinhenrich M.Sc. Bergische Universität Wuppertal

Dipl.-Ing. Arndt Niepenberg, WaveScape Technologies GmbH

## Wirkungsweise von ANC

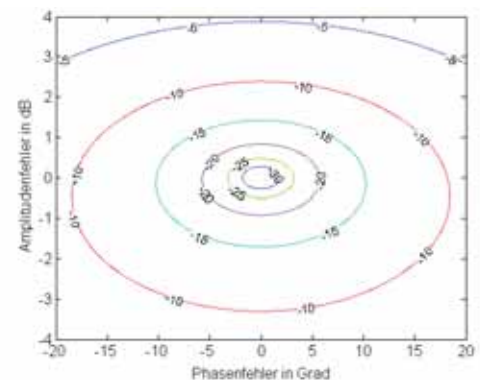
Die Idee des Gegenschalls ist schon alt und erste Patente dazu gab es bereits in den 1930'er Jahren (Abb.1). Diese waren auf Beobachtungen zurückzuführen, die unter anderen schon Helmholtz gemacht hatte, nämlich dass die Schalldruckwellen von leicht gegeneinander verstimmten Stimmgabeln sich bei der Überlagerung in der Summe abwechselnd verstärken und schwächen. Die sich ergebende periodische Änderung der Lautstärke nennt der Physiker Schwebung. Zur Schwächung kommt es, wenn die sich überlagernden Schalldruckwellen genau die dieselbe Amplitude und genau entgegengesetzte Phasen haben. Dies nennt der Physiker destruktive Interferenz.



1\_ Zeichnungen aus der Patent von Lueg, 1936

Da lag die Idee nahe, auf diese Weise unerwünschten Schall (Lärm) mit zusätzlich erzeugtem Schall so zu überlagern, dass der Effekte der destruktiven Interferenz eintritt. Die Zeichnungen aus der Patentanmeldung von Lueg verdeutlichen das Prinzip. So einfach die Idee, so schwierig ihre Umsetzung, denn die gewünschte Wirkung

tritt erst dann merklich ein, wenn die Bedingungen für die Amplitude und die Phase ziemlich genau erfüllt werden. Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang: Um z.B. eine Dämpfung von mindestens 15 dB zu erreichen, muss die Kombination aus Amplituden- und Phasenfehler innerhalb des Bereiches der mit 15 dB parametrisierten Kurve liegen.



2\_ Einfluss des Amplituden- und Phasenfehlers des Gegenschallfeldes auf die erreichbare Dämpfung in dB (Kurvenparameter)

Die Einhaltung dieser Anforderungen war die technische Hürde, die auch Jahrzehnte nach der ersten Patenanmeldung Schwierigkeiten bereitete. Die Verbesserungen kamen wellenförmig jeweils mit der Einführung neuer Technologie: Nach der Röhre kam der Transistor, nach dem Transistor die integrierte analoge Schaltung. Jedes Mal wurde ein etwas besseres Ergebnis erreicht. Einen wesentlichen Schub erhielt die ANC-Technik dann mit dem Einsatz der digitalen Technik. Mit der Einführung der CD Anfang der 80'er Jahre nahm die digitale Signalverarbeitung - sowohl was die Hardware wie auch die Software betrifft - eine bis heute andauernde steile Entwicklung. Ergibt sich in der Analogtechnik die Funktion aus der Hardware, so ist die Funktion bei der digitalen Signalverarbeitung weitgehend von der Hardware gelöst und durch die Software bestimmt. Dadurch können die Signale mit sehr wirkungsvollen Algorithmen verarbeitet werden.

Mit der progressiven Entwicklung für Konsumeranwendungen wurde auch eine weitere Hürde immer niedriger - die



wirtschaftliche, die finanzielle Hürde. Wurde in früheren Jahren immer entgegenhalten, die Technik sei viel zu komplex und deshalb zu teuer in Abwägung zu dem, was mit ihr erreicht werden kann, so gilt dies heute so nicht mehr.

Mit der angesprochen wellenförmigen Entwicklung nahm auch wellenförmig das Interesse an dieser Technik zu und wieder ab. Ab, weil man mit jedem neuen technischen Schub erhoffte, jetzt alle Lärmprobleme mit ANC lösen zu können. Das ist nicht der Fall. ANC ist eine Technik, mit Stärken und Schwächen, und man setzt sie sinnvoller Weise dort ein, wo ihre Stärken liegen.

In der Balance zwischen Wirkung und Aufwand spielt die Genauigkeit eine Rolle, mit der das Gegenschallfeld dem vorgegebenen Schallfeld so überlagert werden kann, dass es zu einer ausgeprägten destruktiven Interferenz kommt. Hier gibt es eine Grundregel: Das Schallfeld kann in einem räumlich begrenzten Bereich umso effizienter durch Interferenz kontrolliert werden, je größer die kleinste zu berücksichtigende Wellenlänge gegenüber den Abmessungen dieses Bereiches ist.

Zur Erinnerung: Die Wellenlänge ergibt sich bei der Division der Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s) durch die Frequenz. Eine Wellen mit der Frequenz von 100 Hz hat demnach eine Wellenlänge von ca. 3,40 m, eine 50 Hz-Welle schon eine Wellenlänge von 6,80 m. ANC wirkt also besonders gut im Bereich tiefer Frequenzen und damit in einem Bereich, wo die üblichen passiven Maßnahmen – geprägt durch Masse und Volumen – ihrerseits ihre Grenzen finden. Nicht umsonst macht z.B. die Bauakustik einen weiten Bogen um den Frequenzbereich unterhalb von 100 Hz. Und wahrscheinlich haben die technisch-physikalischen Herausforderungen beim Schallschutz im Bereich tiefer Frequenzen auch zur allgemeinen Akzeptanz der A-Bewertung beigetragen, durch die Frequenzanteile unterhalb von 100 Hz stark gedämpft in ein Messergebnis eingehen.

### **Wirkung von tieffrequentem Schall**

Die A-Bewertung ist psychoakustisch begründet: Zu tiefen Frequenzen hin muss der Pegel eines Tones tatsächlich

deutlich gegenüber dem eines 1 kHz-Tones angehoben werden, damit dieser genauso laut wahrgenommen wird, wie der 1 kHz-Ton. Doch ist damit die Wahrnehmung des Menschen genügend abgebildet?

In den letzten Jahren wird vermehrt von Betroffenen berichtet, die gerade erhebliche Probleme mit tieffrequentem Lärm haben. Dazu mögen folgende zwei Umstände beitragen:

„Die Anzahl der Quellen, die merklich tieffrequente Geräusche oder Geräuschanteile abstrahlen, nimmt stetig zu. Zu nennen sind hier prominent Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien.“

„Der verstärkte Einsatz von z.B. Schallschutzfenstern (gekoppelt mit Wärmeschutz) im Wohnungsbau hat zwar zu einer deutlichen Reduzierung der Schallpegel (A-bewertet) innerhalb der Wohnung geführt, die sich allerdings fast ausschließlich auf mittlere und noch mehr auf höhere Frequenzen beschränkt. Daraus resultiert bei den Geräuschen innerhalb der Wohnung eine Konzentration auf tieffrequente Geräuschanteile. Gerade diese Konzentration scheint aber bei den Betroffenen für die sehr belastende Empfindung (mit)verantwortlich zu sein. Nicht selten wird versucht, die Beeinträchtigung durch Öffnen der Fenster oder durch Einschalten z.B. eines Radios zu mindern.“

Die Beeinträchtigung, die sich in Symptomen wie: Frustration, Einschlafschwierigkeiten, Furcht, Niedergeschlagenheit, Druck im Kopf, Kopfschmerzen, Nervosität, Konzentrationsmangel äußern<sup>1</sup>, werden bei vielen Betroffenen bereits bei Pegeln nahe der Hörschwellen ausgelöst. Welche physiologischen Prozesse dahinter stehen und welchen psychologischen Einfluss Charakteristika der Betroffenen dabei haben kann, ist noch weitgehend unbekannt<sup>2,3</sup>. Möglicherweise können bei der Lösung des Problems von dieser Seite her in der Zukunft weiterentwickelte (medizinische) Untersuchungsmethoden helfen. Weitaus realistischer ist allerdings der Ansatz, dass speziell das tieffrequente Lärmproblem mittels ANC-Technik gemildert wird.

### Erfolgversprechende Anwendungsfälle

Nachfolgend soll anhand einiger praktischer Anwendungsfälle das Potenzial von ANC aufgezeigt werden. Von der Anwendung her können prinzipiell zwei Situationen unterschieden werden:

Beim Einsatz am Emissionsort wird mittels ANC bereits die Abstrahlung von tieffrequentem Schall gehemmt, indem nahe der Quelle die Gegenquelle positioniert wird. Dadurch wird für die Quelle die Strahlungsimpedanz so verändert, dass die Quelle keine bzw. kaum akustische Leistung an das umgebende Medium abgeben kann. Bildhaft könnte es so ausgelegt werden: Die Gegenquelle nimmt der Quelle die Luft zum Atmen.

Ist die Quelle nicht erreichbar und der tieffrequente Schall breitet sich aus, so verbleibt als Lösung der Einsatz am Immissionsort. Nicht nur theoretisch ausgelegt, sondern bereits in Versuchen erprobt, ist die Anwendung in Form einer virtuellen Schallschutzwand. Der notwendige Aufwand steht allerdings einer breiten Anwendung noch im Wege. Anders sieht dies bei der Raummodendämpfung aus. Dieser Anwendungsfall soll zunächst behandelt werden.

### Dämpfung am Immissionsort Raummodendämpfung

Niederfrequenter Schall bringt eine besonders negative Eigenschaft mit sich: Die Ausbildung stehender Wellen, sogenannter Raummoden oder (Eigen-)Resonanzen. Dieses Phänomen hängt direkt mit der Geometrie eines Raumes zusammen und ist besonders ausgeprägt für Räume mit rechteckigem Grundriss und parallelen Wänden und Decken. Diese Eigenschaften treffen jedoch auf den größten Teil der Innenräume zu. Neben der Geometrie wird die Bildung von Raummoden auch durch wenig absorbierende Raumumfassungsflächen (Wände, Decken, Boden) und durch eine wenig absorbierende, also eher karge Wohnungseinrichtung gefördert.

### Grundlagen zu Raummoden

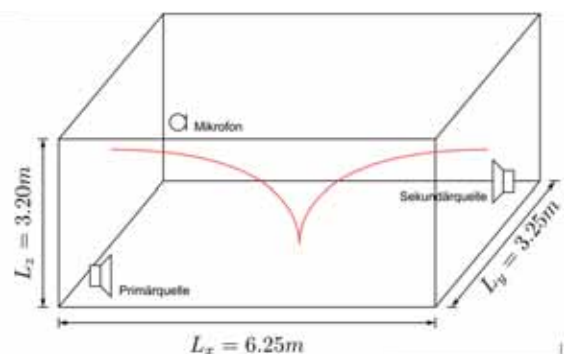
Ob Raummoden in einem Raum angeregt werden, hängt von der Wellenlänge des anregenden Schalls ab. Liegt

diese im Bereich der Raummaße oder einem Vielfachen davon, können sich stehende Wellen bilden. Diese haben die Eigenschaft, dass sie an Wänden und in Ecken hohe Schalldrücke erzeugen, in der Mitte eines Raumes oftmals aber gar nicht hörbar sind. Dieser Zusammenhang ist besonders ungünstig, wenn z.B. das Kopfende eines Bettes an einer Wand liegt.

Über folgende Gleichung kann ausgerechnet werden, welche Eigenfrequenzen ein rechteckiger Raum, wie in Abbildung 3 dargestellt, besitzt<sup>4</sup>:

$$f_{lmn} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{l}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2} \quad (1)$$

In Gleichung (1) bezeichnen  $c$  die Schallgeschwindigkeit,  $L_x$ ,  $L_y$  und  $L_z$  die Kantenlängen des Raumes und  $f_{lmn}$  die Frequenz der Mode der Ordnungen  $l$ ,  $m$  und  $n$ .

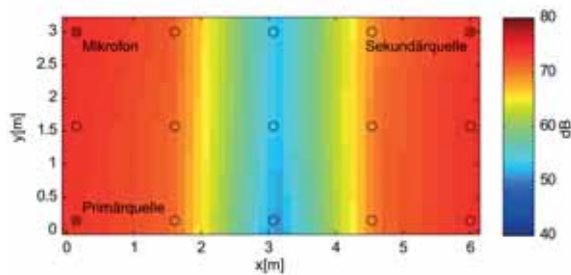


3. Geometrie des Versuchsaumes an der Bergischen Universität Wuppertal und die Platzierung der einzelnen Komponenten des Active Noise Control Systems. Die rote Linie kennzeichnet den Schalldruckverlauf der 1,0,0-Mode

So würde es bei der Mode der Ordnung 1,0,0 bedeuten, dass sich eine Stehende Welle ausschließlich entlang der x-Richtung bildet, also längs im Raum, wie ebenfalls in Abb.3 durch die rote Linie dargestellt. Für den abgebildeten Raum ergäbe dies die Frequenz.

$$f_{100} = \frac{344 \text{ m/s}}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{6,25 \text{ m}}\right)^2 + \left(\frac{0}{3,25 \text{ m}}\right)^2 + \left(\frac{0}{3,20 \text{ m}}\right)^2} \approx 27,5 \text{ Hz} \quad (2)$$

Dieser Brummtton würde an den Stirnwänden (in der Abbildung jeweils vor der rechten und linken Wand) sehr stark wahrgenommen, jedoch in der Mitte des Raumes kaum hörbar sein.



4\_ Positionierung des ANC-Systems (X) und Schalldruckpegelverteilung im Testraum für die 1,0,0-Mode bei 27,5 Hz ohne Gegenmaßnahmen. An den Stirnwänden herrschen hohe Pegel, während in der Mitte des Raumes geringer, kaum hörbarer Schalldruck vorhanden ist. Interpoliert aus 15 Messpositionen (°) in einer Höhe von 1,20 m.

#### Gegenmaßnahmen mit Active Noise Control

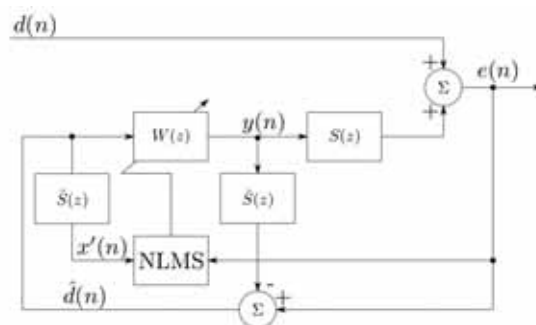
Active Noise Control kann zur Bekämpfung von stehenden Wellen in geschlossenen Räumen eingesetzt werden. Für Moden niedriger Ordnung ist in der Regel sogar nur ein Gegenlautsprecher (Sekundärschallquelle) ausreichend. Dies hängt von der Positionierung der Sekundärquelle und des Fehlermikrofons ab. Mittels des Fehlermikrofons (Fehler gleich Abweichung vom Soll) wird die Wirkung des Systems kontrolliert. Die Ecken eines Raumes sind oft die beste Wahl für die Aufstellung von Mikrofon und Sekundärquelle.

Die Raummoden bildenden Schallwellen tendieren zu einer ausgeprägten periodischen Struktur im Zeitverlauf. Für derartige Signale eignen sich sogenannte Feedback-Systeme. (Andere Lösungen wie Feedforward-Systeme oder Hybrid Feedforward-Feedback-Systeme sind auch denkbar.) Dabei wird ein elektronisches Übertragungssystem solange optimiert, bis der Schalldruck an einem oder mehreren Fehlersensoren (Mikrofone) möglichst gering, im Idealfall zu Null wird. Den nötigen Gegenschall erzeugen eine oder mehrere Sekundärquellen (Lautsprecher).

Am Labor für Elektroakustik der Bergischen Universität

Wuppertal wurden Versuche mit einem 1x1-System durchgeführt, das eine Sekundärquelle und einen Fehlersensor implementiert. Die Anordnung des ANC-Systems im Versuchsraum ist in den Abb. 3 und 4 dargestellt. Zum Anregen der Raummoden wurde ein Lautsprecher in eine andere Ecke des Raums platziert.

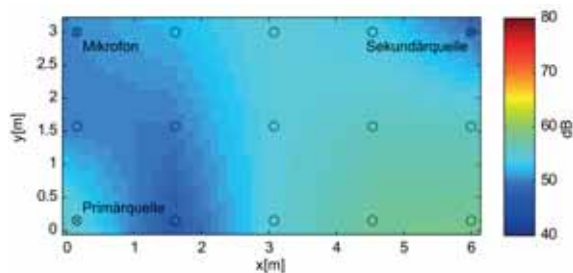
Abb. 5 zeigt den Signalfussplan des gesamten Feedback-Übertragungssystems. Das Signal  $d(n)$  ist das „desired signal“ und stellt die auszulöschende Raummode dar. Das vom Sekundärlautsprecher erzeugte Gegensignal wird mit  $y(n)$  bezeichnet und breitet sich über den Sekundärpfad  $S(z)$  bis zum Fehlermikrofon aus. Dort wird es der Raummode  $d(n)$  überlagert und die Differenz der Überlagerung ist das Fehlersignal  $e(n)$ . Dieses Fehlersignal dient zum einen direkt als Gütemaß/Kontrollgröße des Normalized Least Mean Squares Algorithmus (N-LMS). Zum anderen wird aus  $e(n)$  eine Abschätzung  $\hat{d}(n)$  des Desired Signals  $d(n)$  gebildet, des zu eliminierenden Lärms (Primärschall).  $\hat{d}(n)$  wird im nächsten Schritt mit einer Abschätzung  $\hat{S}(z)$  des Sekundärpfades  $S(z)$  gefiltert (Filtered-X) und das Ergebnis als Eingangssignal des N-LMS verwendet. Der N-LMS-Algorithmus optimiert nun das digitale Filter  $W(z)$  solange, bis das Fehlersignal  $e(n)$  minimal wird<sup>5</sup>.



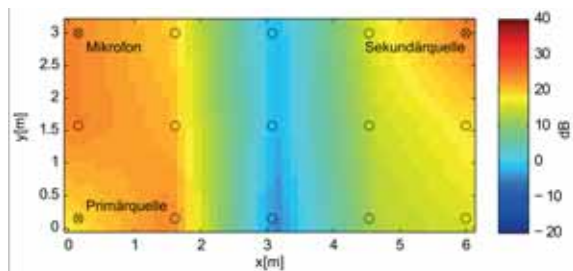
5\_ Signalfussplan des Feedback ANC-Systems (1x1 Normalized FxLMS)

#### Versuchsergebnisse

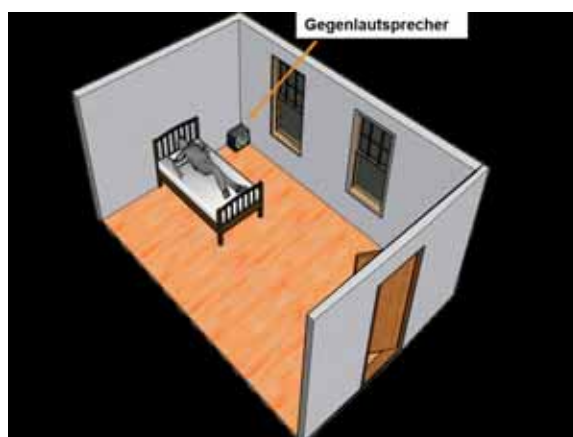
Mit recht überschaubarem Aufwand ist also eine tieffrequente Raummode zu dämpfen. Nicht nur, dass



6\_ Schalldruckverteilung im Versuchsraum für die 1,0,0-Mode mit aktiviertem Active Noise Control. Die Raummode wurde durch die aktive Gegenmaßnahme so stark gedämpft, dass diese an den Stirnwänden nicht mehr hörbar war.



7\_ Dämpfungsverteilung bei der 100-Mode mit Active Noise Control im Testraum



8\_ Schlafraum mit einem Gegenlautsprecher zur Minderung der Modenbildung, die gerade in der Nähe der Wand (hier des Kopfes) zu einer Pegelanhebung führt

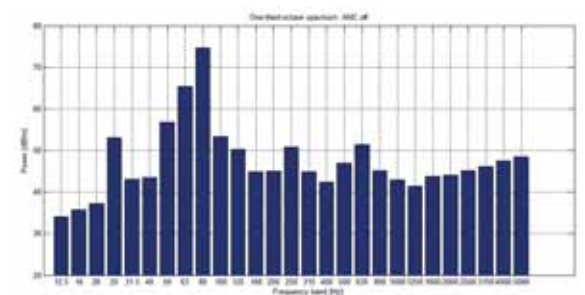
bereits ein einzelner Lautsprecher genügt, um die Pegelanhebung durch die Modenbildung in der Nähe der Wand zu vermeiden, dieser Lautsprecher muss auch nicht besonders leistungsstark sein, da die zu kontrollierenden Pegel relativ gering sind. Abb. 8 zeigt ein Szenario, wie in einem Schlafraum eine Gegenquelle zur Verminderung der tieffrequenten Modenbildung platziert sein könnte.

### Dämpfung am Emissionsort

Zu dieser Varianten werden zwei Anwendungen vorgestellt, die sich bereits praktisch bewährt haben: die Verminderung der Abstrahlung bei einem Kompressor und die bei einer Trafostation.

### Anwendung bei Kompressor

Kompressoren werden nicht nur für den Betrieb von Werkzeugen etc. gebraucht, sie sind auch Bestandteil von Luftwärmepumpen, die vermehrt als Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie in der Nähe von Häusern aufgestellt werden. Zwar sind die Wärmepumpen so akustisch zu konstruieren, dass ihr Emissionspegel einen bestimmten Wert nicht überschreitet, doch dieser Pegel wird A-bewertet gemessen. Die Frequenzkomponenten unterhalb von 100 Hz werden bei der Messung praktisch nicht berücksichtigt, doch es sind diese Komponenten, die sich fast ungehindert ausbreiten und in das Haus des Nachbarn, vielleicht auch in das eigene eindringen.



9\_ Typisches ungewichtetes Spektrum des Betriebsgeräusches eines Kompressors

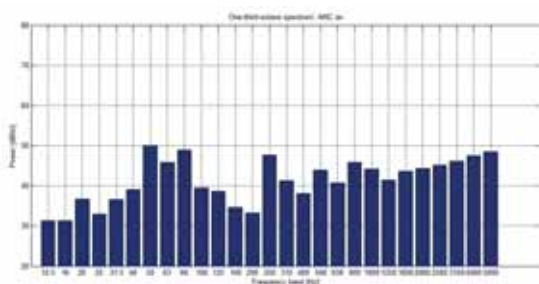


Abb. 9 zeigt das Spektrum des typischen Betriebsgeräusches eines Kompressors mit einer markanten Komponente bei 80 Hz. Die wird allerdings bei der A-bewerteten Messung um mehr als 20 dB gedämpft.

Zur Minderung der Abstrahlung dieser exponierten Komponenten wurde eine Gegenquelle nahe der Stelle beim Kompressor platziert, der als Hauptemissionspunkt ausgemacht wurde. Abb. 10 zeigt die Montage. Das dazugehörige System wurde von der Fa. WaveScape entwickelt, einer Ausgründung aus der Bergischen Universität Wuppertal.



10\_ Montage einer Gegenquelle bei einem Kompressor



11\_ Ungewichtetes Spektrum des Betriebsgeräusches eines Kompressors bei eingeschaltetem ANC-System

Mit Einschalten des ANC-Systems können die tieffrequenten Komponenten um 80 Hz herum mehr als 20 dB gedämpft werden. Anders als bei der A-Bewertung werden diese Komponenten wirklich physikalisch und nicht nur rechnerisch um diesen Wert gedämpft. Bequemerweise macht das für manche keinen Unterschied. Wie es dem Wirkungsprinzip entspricht, werden die höheren Frequenzkomponenten kaum oder nicht gedämpft.

### Anwendung bei Trafostation

Das folgende Projekt wurde ebenfalls von der Fa. WaveScape durchgeführt.

Die Aufgabe bestand darin, die ersten beiden Harmonischen des Betriebsgeräusches eines Transformators (100Hz und 200Hz) an einem Immissionsort in unmittelbarer Nähe ausreichend zu dämpfen, sodass die geforderten Immissionsrichtwerte eingehalten werden. Das Haus, in dem der Transformator steht, ist etwa würfelförmig mit einer Kantenlänge von 6m. Zur Kühlung und Belüftung des Transformators sind an verschiedenen Seiten Wetterschutzgitter installiert, die eine ausreichende Dämpfung der höheren Frequenzen durch Absorption erzielen, aber nicht eine solche bei den genannten Frequenzen.

Die installierte ANC-Komponenten besteht aus 24 Einzelsystemen, die unabhängig voneinander in einem kurzen Kanalabschnitt von 500mm Länge eine Dämpfung der Transmission in jedem einzelnen Kanalabschnitt bewirken. Von innen hinter die Wetterschutzgitter installiert sorgen die Systeme für die geforderte zusätzliche Dämpfung der tiefen Frequenzanteile. Die größte Abmessung jedes einzelnen Kanalstücks darf eine halbe Wellenlänge nicht überschreiten, damit eine Dämpfung der durchtretenden Welle möglich ist. In dieser Anwendung wurden rechteckige Kanäle mit einem Querschnitt von 800mm x 600mm installiert. Damit wird eine Dämpfung der Schallleistung vor den

Gittern von 13 dB bei 100Hz und 9 dB bei 200Hz erreicht. Durch Reduzierung der Kanalabmessungen und unter Verwendung einer größeren Anzahl von Gegenschallsystemen kann die Dämpfungswirkung gesteigert werden. Abb. 12 zeigt einen Teil der installierten Einheiten.



12\_ Segmentierte Kontrolle der Abstrahlung eines Transformators (100 Hz / 200 Hz) mittels ANC-Einheiten vor dem Lüftungsgitter

Als Führungssignal wird die Netzspannung über eine Optokoppler-Schaltung abgegriffen. Dadurch ist die benötigte Phasensynchronität zur Schallquelle gewährleistet. Phase und Amplitude der Gegenschallquellen werden adaptiv eingestellt und stets optimiert, indem der an

einem Mikrofon auf der Innenseite der Wetterschutzgitter herrschende Schalldruckpegel auf einem Minimum gehalten wird.

Falls eine Gegenschallquelle aus einem einzelnen Lautsprecher besteht, breitet sich der Gegenschall bei den verhältnismäßig tiefen Frequenzen nahezu kugelförmig in alle Richtungen aus. In einem Kanalstück platziert erzeugt eine derartige Schallquelle also eine Schallwelle, die nach Außen läuft und sich mit der Lärmschallwelle überlagert sowie auch eine Schallwelle, die wieder in den Innenraum des Transformator-Hauses läuft. Auf diese Weise entsteht an der inneren Kanalöffnung ein schallweicher, nahezu verlustloser Abschluss<sup>6</sup>, der zu einem permanenten Ansteigen des Schalldrucks innerhalb des Hauses führen kann. Da die Gegenschallsysteme in den anderen Kanalabschnitten auf den steigenden Schalldruck wiederum mit steigendem Schalldruck des Gegenschalls reagieren, kann eine akustische Mitkopplung zwischen den einzelnen, unabhängigen Gegenschallsystemen entstehen, falls sich eine Schleifenverstärkung von größer oder gleich eins ergibt (Stabilitätskriterium). Um die Stabilität zu sichern, werden in der Anwendung deshalb gerichtete Schallquellen als Gegenschallquellen eingesetzt.

### Fazit

Hatte bisweilen ANC den Nimbus, eine komplexe, nicht allzu effektive Technik zur Lösung von Lärmproblemen zu sein, so konnte gezeigt werden, dass im tieffrequenten Bereich ANC seine besonderen Stärken zur Geltung bringen kann und damit passiven Maßnahmen nicht nur in der Effektivität, sondern auch unter wirtschaftlichen Aspekten vielfach überlegen ist. Mit der weiteren Entwicklung von elektroakustischen Elementen und Signalprozessoren mag sich dieser Vorteil in Zukunft noch zu höheren Frequenzen auszuweiten. Selbst in der sehr kostenkritischen Sparte der Automobilproduktion ist ANC eine Technik mit wachsender Bedeutung.

[www.dasp.uni-wuppertal.de](http://www.dasp.uni-wuppertal.de)  
[www.wavescape-technologies.com](http://www.wavescape-technologies.com)

### Literaturhinweise

- \_1 Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance  
University of Salford, 2005 (no NANR45)
- \_2 Krahé, D.: Warum kann tieffrequenter Lärm außergewöhnlich unangenehm sein?, Lärmbekämpfung, 2/2008, Seite 71- 71
- \_3 Krahé, D., Schreckenberg, D., Ebner, F., Eulitz, C. Möhler, U.: Machbarkeitsstudie zur Wirkung von Infraschall, Umweltbundesamt 2014, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>
- \_4 Kuttruf, H.: Akustik, S. Hirzel Verlag, 2004
- \_5 Kuo, S.M., Morgan, D.R.: Active Noise Control Systems, John Wiley & Sons, 1996
- \_6 Nelson, P.A., Elliott, S.J.: Active Control of Sound, Academic Press, 1992

# RETHINK INNOVATION THINK TUDOR

As a leader in applied research in Luxembourg, Tudor responds to your needs by mobilising its scientific and technological competences in nine innovation programmes, each targeting specific challenges.



**MANUFACTURING INDUSTRY**

**MOBILITY**

**PUBLIC SERVICES**

**CONSTRUCTION**

**TRANSPORT & LOGISTICS**

**INNOFINANCE**

**ECOTECHNOLOGY**

**HEALTH**

**HUMAN CAPITAL**

For further information: [www.tudor.lu/innovation-programmes](http://www.tudor.lu/innovation-programmes)

# RETHINK YOUR PROFESSIONAL SKILLS THINK TUDOR

Acteur de référence de la recherche appliquée au Luxembourg, le CRP Henri Tudor organise également de nombreuses formations et conférences. Il contribue ainsi au transfert des connaissances et des compétences du monde de la recherche vers les entreprises et les organisations publiques dans les domaines suivants : RH, services IT, management de l'innovation, organisation, transport & logistique, construction.



## INSCRIVEZ-VOUS À NOS PROCHAINS ÉVÉNEMENTS !

	CODE*
<b>09/07</b> Les fondamentaux de l'évaluation énergétique dans ArchiCAD	BIM2014
<b>23/09</b> Les fondamentaux de la modélisation et du dessin dans ArchiCAD	BIM2014
<b>07/10</b> Sélectionnez votre logiciel : une méthode outillée de gestion des appels d'offres	IT2014
<b>16/10</b> la croisée de l'archivage électronique et de la sécurité de l'information	IT2014
<b>18/11</b> Modélisation 3D d'un bâtiment en quelques clics : Trimble Sketchup, un outil gratuit	BIM2014

\*Tapez ce code dans le champ "Recherche" du site [www.tudor.lu/knowledgetransfer](http://www.tudor.lu/knowledgetransfer)

Descriptif complet sur [www.tudor.lu/knowledgetransfer](http://www.tudor.lu/knowledgetransfer)





# WISSENSCHAFTSKULTUR FÖRDERN\_

Jean-Paul Bertemes vom FNR, Coordinateur de projet science.lu



**Welchen Stellenwert hat Wissenschaft in Luxemburg? Zahlreiche Akteure treiben hierzulande die Förderung und Vermittlung der Wissenschaft und Forschung voran. Mit welchem Ziel? Und wie kann dies gelingen?**

Der Wissenschaftler mit weißem Bart und zerzaustem Haar, der wirr im weißen Kittel durch sein Labor hüpfte, voll mit Gefäßen die blubbern und zischen. Hoch oben in seinem Elfenbeinturm grübelt er über Dinge, die keiner versteht und die auch keiner braucht – die jedoch das Potential haben, die ganze Erde in Gefahr zu bringen.

Dieses Bild ist tief verwurzelt in unseren Köpfen, wenn wir an einen Wissenschaftler oder Forscher denken. Obwohl wir natürlich wissen, dass es wenig mit der Realität zu tun hat und dass Forscher genau so normale Menschen sind wie du und ich.

**Ist das Bild vom etwas asozial wirkenden Wissenschaftler gerechtfertigt?**

Wissenschaftler haben eine lange akademische Karriere hinter sich und haben sich oftmals in einem bestimmten

Gebiet stark spezialisiert. Die wissenschaftlichen Phänomene mit denen sie sich beschäftigen sind oftmals komplex und dem Laien schwer zu vermitteln. Es ist dann nicht so einfach nachzuvollziehen, weshalb die Wissenschaftler sich bestimmte Fragen stellen – und dafür auch noch Geld erhalten. Daher wohl das Bild vom Elfenbeinturm und dem sich von der Gesellschaft fern haltenden Wissenschaftler.

Dazu kommt, dass die Menschen sich der Gefahren bewusst sind, die einige wissenschaftliche Entwicklungen mit sich bringen. Gentechnik oder Nanotechnik etwa können im Sinne einer Gesellschaft eingesetzt werden, sie können aber auch gefährlich werden. Und die Wissenschaftler, die die Hand darüber halten, sind schwer zu kontrollieren – weil kaum jemand im Detail nachvollziehen kann, was sie tun. Das macht mitunter Angst. Daher vielleicht das Bild des leicht Verrückten – einerseits eine Verniedlichung, andererseits eine Dämonisierung, wie der Böse in einem Horror-Film.

Doch es gibt etliche Beispiele die zeigen: Wissenschaft kann durchaus an den Bedürfnissen der Gesellschaft und dem wirtschaftlichen Interesse des Landes ausgerichtet werden. Vielleicht ist die Wissenschaft also doch nicht so weit von uns weg, wie das Bild vom verrückten Professor dies suggeriert?

**Forschung mit gesellschaftlichem und wirtschaftlichem Impact**

In Luxemburg gibt es zahlreiche Forscher, die in Bereichen mit direkter Relevanz für die luxemburgische Gesellschaft arbeiten. So forschen z.B. an der Universität Luxemburg Wissenschaftler an der Entwicklung des Gehirns von mehrsprachigen Kindern, begleiten das Bildungsministerium im Rahmen der Schulreform oder helfen bei der Ausarbeitung der PISA-Studien. Forscher vom CRP Gabriel Lippmann kooperieren mit dem luxemburgischen Wasserwirtschaftsamt und forschen im Bereich der nachhaltigen Ressourcennutzung. Das LCSB und der CRP Santé erforschen Krankheiten wie Krebs,



**Welchen Stellenwert hat Wissenschaft in Luxemburg? Zahlreiche Akteure treiben hierzulande die Förderung und Vermittlung der Wissenschaft und Forschung voran. Mit welchem Ziel? Und wie kann dies gelingen?**

Der Wissenschaftler mit weißem Bart und zerzaustem Haar, der wirr im weißen Kittel durch sein Labor hüpfet, voll mit Gefäßen die blubbern und zischen. Hoch oben in seinem Elfenbeinturm grübelt er über Dinge, die keiner versteht und die auch keiner braucht – die jedoch das Potential haben, die ganze Erde in Gefahr zu bringen.

Dieses Bild ist tief verwurzelt in unseren Köpfen, wenn wir an einen Wissenschaftler oder Forscher denken. Obwohl wir natürlich wissen, dass es wenig mit der Realität zu tun hat und dass Forscher genau so normale Menschen sind wie du und ich.

**Ist das Bild vom etwas asozial wirkenden Wissenschaftler gerechtfertigt?**

Wissenschaftler haben eine lange akademische Karriere hinter sich und haben sich oftmals in einem bestimmten Gebiet stark spezialisiert. Die wissenschaftlichen Phänomene mit denen sie sich beschäftigen sind oftmals komplex und dem Laien schwer zu vermitteln. Es ist dann nicht so einfach nachzuvollziehen, weshalb die Wissenschaftler sich bestimmte Fragen stellen – und dafür auch noch Geld erhalten. Daher wohl das Bild vom Elfenbeinturm und dem sich von der Gesellschaft fern haltenden Wissenschaftler.

Dazu kommt, dass die Menschen sich der Gefahren bewusst sind, die einige wissenschaftliche Entwicklungen mit sich bringen. Gentechnik oder Nanotechnik etwa können im Sinne einer Gesellschaft eingesetzt werden, sie können aber auch gefährlich werden. Und die Wissenschaftler, die die Hand darüber halten, sind schwer zu kontrollieren – weil kaum jemand im Detail nachvollziehen kann, was sie tun. Das macht mitunter Angst. Daher vielleicht das Bild des leicht Verrückten – einerseits eine Verniedlichung, andererseits eine Dämonisierung, wie der Böse in einem Horror-Film.



Doch es gibt etliche Beispiele die zeigen: Wissenschaft kann durchaus an den Bedürfnissen der Gesellschaft und dem wirtschaftlichen Interesse des Landes ausgerichtet werden. Vielleicht ist die Wissenschaft also doch nicht so weit von uns weg, wie das Bild vom verrückten Professor dies suggeriert?

**Forschung mit gesellschaftlichem und wirtschaftlichem Impact**

In Luxemburg gibt es zahlreiche Forscher, die in Bereichen mit direkter Relevanz für die luxemburgische Gesellschaft arbeiten. So forschen z.B. an der Universität Luxemburg Wissenschaftler an der Entwicklung des Gehirns von mehrsprachigen Kindern, begleiten das Bildungsministerium im Rahmen der Schulreform oder helfen bei der Ausarbeitung der PISA-Studien. Forscher vom CRP Gabriel Lippmann kooperieren mit dem luxemburgischen Wasserwirtschaftsamt und forschen im Bereich der nachhaltigen Ressourcennutzung. Das LCSB und der CRP Santé erforschen Krankheiten wie Krebs, Parkinson oder Alzheimer. Und Forscher vom CEPS/Instead



forschen z.B. über den Arbeitsmarkt in der Großregion.

Auch auf wirtschaftlicher Ebene bewegen sich Forschung und Privatakteure immer mehr aufeinander zu. Vor allem das SnT der Universität Luxemburg sticht hervor und kann zahlreiche Kooperationen mit in Luxemburg ansässigen Firmen aufzeigen – wie beispielsweise mit SES, Enovos, der Post oder mit Banken. Dass die Bereiche Finanzen und Recht zu den Forschungsprioritäten in Luxemburg zählen, kommt auch nicht von ungefähr. Genau so wie die CRPs Henri Tudor und Gabriel Lippmann im Bereich Materialwissenschaft stark aufgestellt sind, um der seit Jahrzehnten hier ansässigen Materialindustrie wie z.B. Arcelor Mittal oder Goodyear zur Seite zu stehen.

Die Beispiele zeigen: Wissenschaft und Forschung sind in vielen Fällen weniger weit von der Gesellschaft entfernt als es oftmals empfunden wird. Und diese Nähe zwischen gesellschaftlichen sowie privaten Akteuren und der Wissenschaft ist auch unabdingbar, damit von gelebter Wissenschaftskultur die Rede sein kann. Wenn sich diese

Tendenz der Kooperation fortsetzt: Ist es dann nicht an der Zeit, das Bild des Wissenschaftlers in ein anderes Licht zu rücken – den Stellenwert der Wissenschaft und Forschung aufzuwerten? Und wenn ja, wie?

#### **Forschungsergebnisse und -ziele kommunizieren**

Vorerst sollte es zur selbstverständlichen Aufgabe eines Forschers und seiner Institution gehören, seine Ziele und seine Resultate zu kommunizieren. Die Gesellschaft gesteht der Forschung Gelder und eine gewisse Forscherfreiheit zu. Somit ist es ihr Recht zu erfahren, was mit diesen Geldern passiert.

Nun ist es aber nicht immer so einfach, Forschung zu kommunizieren. Zur Natur der Forschung gehört, dass der Wissenschaftler sucht und forscht – und also nicht immer genau weiß, wohin die Forschung führt. Die Bedeutung einiger Forschungsergebnisse ist außerdem für den Laien nicht immer einfach verständlich – und zeigt sich manchmal auch erst Jahre später. Allgemein gibt es Bereiche, die schwerer zu kommunizieren sind als andere. Und schließlich: Den Forschern fehlt es oftmals an der nötigen Zeit, sich der Kommunikation in vollem Maße zu widmen. Sie werden kaum daran gemessen, wie gut sie ihre Resultate Laien vermitteln, sondern wie viele Publikationen sie in renommierten Fachzeitschriften veröffentlichen, und wie viele Gelder sie in kompetitiven Förderprojekten einwerben.

Um die Wissenschaft der Gesellschaft näher zu bringen, ist es also wichtig, die Forscher dabei zu unterstützen, nach außen zu kommunizieren – und den Impact ihrer Forschung aufzuzeigen. Der FNR Award des Fonds National de la Recherche z.B. zeichnet Forscher aus, die sich in sogenannten „Public outreach activities“ hervortun. Es bleibt aber noch einiges zu tun, damit sich auch systemimmanent Kommunikation für Forscher lohnt.

#### **Wissenschaft und Technik als Thema in den Medien und der Gesellschaft**

Die bisherigen Kommunikationsbemühungen gegenüber der Bevölkerung scheinen erste Früchte zu tragen. In einer

Telefonumfrage vom FNR im Jahre 2007 hatten sich 30% der Bevölkerung gut oder ganz gut informiert gefühlt. 2011 waren es 34% und 2013 36%. Die Akzeptanz der Forschung in der Bevölkerung ist zudem groß. So waren 2013 66% der Menschen in Luxemburg der Meinung, dass verstärkt in Forschung investiert werden soll. Und dies in Zeiten der Krise und Budget-Engpässen.

Mit daran beteiligt sind sicherlich auch die Medien. Es fällt auf, dass Wissenschaft hier immer mehr zum Thema wird. Mister Science tritt beispielsweise regelmäßig im Fernsehen in der Wissenschaftssendung PISA auf. Zudem haben die Forschungsakteure mit [www.science.lu](http://www.science.lu) eine Internet-Plattform geschaffen, auf der die Öffentlichkeit über Wissenschaft und Forschung in Luxemburg informiert wird. Aber auch andere Medien greifen immer öfter Wissenschaftsthemen auf.

Ein Grund hierfür: Die Qualität und Quantität der Forschung steigt. Es werden immer mehr Resultate erzielt, die sich auch kommunizieren lassen. Interessant werden Resultate vor allem dann, wenn die Forschung sich an den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedürfnissen des Landes orientiert. Wissenschaft wird auch stärker wahrgenommen, wenn die Forscher dabei helfen, gesellschaftliche Diskussionen zu versachlichen. Oder wenn sie Politikern zur Seite stehen, um politische Entscheidungen mit zu begleiten. Indem sie Fakten schaffen, auf die die Politiker sich bei ihrer Entscheidungsfindung basieren können. Für diese Aufgaben brauchen Forscher aber auch Unterstützung, u.a. von Kommunikationsspezialisten und Science Writers.

So gibt es ja auch einige Akteure, wie den FNR oder das Naturhistorische Museum, deren Mission u.a. die Förderung der Wissenschaftskultur ist. Was bedeutet dies? Kultur wird oftmals eher mit Kunst oder Musik verbunden, nicht so mit Wissenschaft. Das Interessante am Begriff Wissenschaftskultur: Er bringt zwei Dinge zusammen, die oftmals getrennt voneinander gedacht werden. Wenn man Kultur jedoch als alles das auffasst, was der Mensch gestaltend oder geistig schafft, als

Ausdruck einer Höherentwicklung, gehört Wissenschaft ganz wohl dazu. Weshalb es dann noch extra betonen? So oder so: Bei der Förderung der Wissenschaftskultur geht es wohl darum, dass Wissenschaft als integraler Bestandteil unserer Kultur aufgefasst und verstanden wird. Ob dies bereits der Fall ist?

### **Wissenschaft erlebbar gestalten**

Gelebte Wissenschaftskultur spielt auf mehreren Ebenen: Neben Kommunikation und Kooperationen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft noch durch direkten Kontakt der Bevölkerung mit Wissenschaften – wie z.B. im Naturhistorischen Museum oder auf Events wie dem Science Festival oder den Researchers Days. Hier wird gestaunt und angefasst, die natürliche Faszination für wissenschaftliche Phänomene angeregt. Oder anders ausgedrückt: Hier wird Wissenschaft erlebbar – für jedermann!

In der selben Optik gibt es auch zahlreiche Organisationen, die Wissenschafts-Aktivitäten oder –Workshops anbieten, wie z.B. die a.s.b.l. Déi kléng Fuerscher, die Fondation Jonk Fuerscher, die Naturwissenschaftsolympiade, der Concours Génial, und viele mehr. Immer mit dem Ziel, Interesse zu wecken und Berührungängste abzubauen.

### **Viele Initiativen setzen bei den Kindern und Jugendlichen an. Weshalb?**

Zum Einen aus einem ganz pragmatischen Grund: Forschungsminister Claude Meisch betont, dass immer weniger Studenten sich für naturwissenschaftliche oder Ingenieursstudien interessieren. Doch hier werden Arbeitskräfte gebraucht. Die Investitionen in Innovation und Forschung werden steigen in den nächsten Jahren. Nicht nur in Luxemburg, sondern in ganz Europa – so lautet zumindest das Ziel von Europe 2020. Es gilt also, junge Menschen für das Ingenieurwesen, Technik und Naturwissenschaften zu interessieren.

Hinzu kommt, dass vor allem Kinder eine Phase durchleben, in der sie sich ganz natürlich Fragen über die Funktionsweise

der Welt stellen. Es erscheint sinnvoll, sie in dieser Phase zu begleiten, in ihrer Neugierde zu bestärken – und ihnen dabei zu helfen, richtige Antworten zu finden. Wenn sie sich in dieser Phase die Fragen falsch beantworten, ist es später umso schwieriger, falsche Konzepte wieder aus den Köpfen zu kriegen. Festzustellen ist auch, dass das Interesse der Kinder an diesen Themen mit dem Älterwerden oftmals abnimmt. Erwachsene fangen dann plötzlich wieder an, sich für Wissenschaften zu begeistern. Oftmals wegen ihrer Kinder.

Der Schule kommt bei der Vermittlung der Wissenschaften natürlich eine sehr bedeutende Rolle zu. In keinem anderen Rahmen kann Wissenschaft so tiefgründig behandelt werden. Doch es stellen sich einige Fragen. In den letzten Jahren ist in Luxemburg viel in Forschung investiert worden, der Stellenwert von Wissenschaft und Forschung steigt. Spiegelt sich dieser Stellenwert der Wissenschaften auch in der Schule wieder? Fehlt es den Naturwissenschaften/Ingenieuren etwa an einer Lobby?

### **Weshalb ist die Förderung der Wissenschaftskultur überhaupt wichtig?**

So oder so: Um die Vermittlung und Förderung der Wissenschaft voran zu treiben, liegt der Ball zu einem großen Teil bei den Wissenschaftsakteuren selbst. Wenn sie interessante Resultate produzieren und diese angemessen kommunizieren, dann gibt es auch genügend Leute, die daran interessiert sind. Genau so wichtig sind aber auch alle weiteren Initiativen, um die Wissenschaft der Gesellschaft näher zu bringen.

Um Berührungsängste abzubauen und Neugierde zu wecken. Damit die Menschen gut informiert sind darüber, was in Luxemburg im Bereich Forschung läuft und wo ihr Geld investiert wird. Damit sie an den Errungenschaften von Wissenschaft und Forschung teilhaben können. Darüber hinaus aber auch um dazu beizutragen, junge Generationen für Wissenschaften und Technik zu interessieren. Ebenso um ihnen die Möglichkeit zu geben sich als mündige

Bürger in einer Welt zurechtzufinden, die immer mehr geprägt ist durch Wissenschaft und Technik – zu verstehen und mitreden zu können, wenn es um die zukünftige Ausrichtung der Forschung in Luxemburg geht. Und wer weiß: Vielleicht ist das Bild des verrückten Professors, mit den zerzausten Haaren, der weit ab der Gesellschaft in seinem Elfenbeinturm an irrelevanten Dingen arbeitet, dann bald passé.

[www.fnr.lu](http://www.fnr.lu)

[www.science.lu](http://www.science.lu)





Pflanzen:  
Chemiefabriken der Natur



Moustique  
si méi  
geféierlech  
wéi Haien.

