HAL
open science

Maquette numérique : intégration de la démarche BIM dans la mission de maitrise d'œuvre et plus particulièrement dans le domaine technique du bureau d'étude

Jonathan Benoit

To cite this version:

Jonathan Benoit. Maquette numérique : intégration de la démarche BIM dans la mission de maitrise d'œuvre et plus particulièrement dans le domaine technique du bureau d'étude. Autre. 2018. dumas-02893683

HAL Id: dumas-02893683

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02893683

Submitted on 8 Jul 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

CENTRE REGIONAL GRAND EST

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : Energétique

OPTION : Machines et moteurs

par

Jonathan BENOIT

Maquette numérique

Intégration de la démarche BIM dans la mission de maitrise d'œuvre et plus particulièrement dans le domaine technique du bureau d'étude

Soutenu le 27 juin 2018

JURY

PRESIDENTE : **Docteur HRD Christelle PERILHON**

MEMBRES : **Docteur Amélie DANLOS**
Docteur Eric CONTE - Tuteur enseignant
Monsieur Eric FIRER - Tuteur SERUE Ingénierie
Monsieur Jean-Pierre ZIELINSKI
Monsieur Patrice BETTANNIER
Monsieur Didier BEUTLER

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier le bureau d'étude SERUE Ingénierie et en particulier mon responsable Éric FIRER, pour son accompagnement dans la rédaction de ce mémoire, mais également depuis le début de mon cursus.

Mes remerciements vont également à mon tuteur, le Docteur Éric CONTE, pour ses conseils, sa disponibilité et son implication dans cette démarche.

Je tiens à remercier la société Progman, éditrice de la solution MagiCad pour REVIT, pour la qualité de nos échanges.

Enfin, un grand merci à ma famille et plus particulièrement à mon épouse pour sa patience et son soutien permanent.

Liste des abréviations

Symbole	Unité	Définition
T	°C	Température
θ		
R	m².k/W	Résistance thermique
U	W/(m².K)	Coefficient de transmission thermique : - U pour une paroi - Uw pour une fenêtre (window)
qv	m^3/h	Débit volumique
	l/s	
Q_4	$m^3/(h.m^2)$	Perméabilité à l'air, du bâtiment soumis à une pression de 4 pascals
n50	h^{-1}	Taux horaire de renouvellement d'air, résultant d'une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment
P	W	Puissance
Φ	W	Déperditions
S	m²	Surface
ψ	W/ (m.K)	Coefficient de transmission linéique
l	m	Longueur
D	m	Diamètre
ρ	kg/m^3	Masse volumique
cp	J/kg/K	Capacité calorifique massique de l'air à pression constante
ε	Sans unité	Efficacité
V	m^3	Volume
v	m/s	Vitesse
w		
SFPv	$kW/m^3/s$	Specific Fan Power. Puissance électrique spécifique des ventilateurs, ramenée à l'unité de débit volumique, calculée dans les conditions de la norme EN 13779
λ	Sans unité	Coefficient de perte de charge
Re	Sans unité	Nombre de Reynolds
ε	mm	Rugosité
P	Pa	Pression
	mmCe	

Glossaire

BIM	Sigle anglais pour Building Information Modeling, signifiant en français : Modélisation des Informations (ou données) du Bâtiment.
MOA	Abréviation française pour Maitre d'Ouvrage ou maitrise d'ouvrage, personne physique ou morale pour laquelle un projet est mis en œuvre ou réalisé. Il en est le commanditaire.
MOE	Abréviation française pour Maitre d'Œuvre ou maitrise d'œuvre, personne physique ou morale retenue par le maître d'ouvrage en charge de traduire en termes techniques les besoins de ce dernier et de réaliser le projet de travaux dans le respect des conditions fixées et établies dans un contrat.
AMO	Abréviation française pour assistance à la maitrise d'ouvrage
IFC	Sigle anglais pour Industry Foundation Classes. Il s'agit d'un langage orienté objet utilisé par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels. Ce format de fichier est ouvert. Depuis mars 2013, les IFC sont labellisés ISO 16 739. Les IFC ont pour but d'assurer l'interopérabilité des logiciels métiers BIM.
VDC	Sigle anglais pour Virtual Design and Construction, désignant la maquette numérique en phase de construction
LOD	Sigle anglais pour Level of Detail, désignant le niveau de détail des objet BIM.
DAO	Abréviation française pour dessin assisté par ordinateur
CAO	Abréviation française pour conception assistée par ordinateur
CVC	Abréviation française pour Chauffage, Ventilation, Climatisation
HVAC	Sigle anglais pour Heating, Ventilation and Air-Conditioning, soit CVC en français
CTA	Abréviation française pour centrale de traitement d'air
PCI	Abréviation française pour pouvoir calorifique inférieur
SFPv	Sigle anglais pour Specific Fan Power, puissance spécifique des ventilateurs calculée dans les conditions de validation, de la norme EN 13779
MOP	Abréviation française pour Maîtrise d'ouvrage publique, notion issue du droit des marchés publics en France dont découle la loi MOP
APS	Abréviation française pour avant-projet sommaire.
APD	Abréviation française pour avant-projet définitif.
PRO	Abréviation française pour projet (études de projet)
DCE	Abréviation française pour dossier de consultation des entreprises
EXE	Abréviation française pour exécution (études d'exécution)
DOE	Abréviation française pour dossier des ouvrages exécutés

Table des matières

Remerciements 2
Liste des abréviations 3
Glossaire 4
Introduction 8
1. Le BIM, état de l'art 9
1.1. DEFINITION 9
1.2. NOTIONS IMPORTANTES 10
1.2.1. LES NIVEAUX DU BIM 10
1.2.2. LES DIMENSIONS DU BIM 11
1.2.3. LE NIVEAU DE DETAIL DE LA MAQUETTE NUMERIQUE 12
1.2.4. LES OBJETS BIM 13
1.2.5. LA CHARTE BIM 13
1.2.6. LE CAHIER DES CHARGES BIM 13
1.2.7. LA CONVENTION BIM 14
1.3. LES ACTEURS DU BIM 15
1.3.1. MAITRE D'ŒUVRE, LA CONCEPTION 15
1.3.2. ENTREPRISES D'EXECUTION, LE CHANTIER 15
1.3.3. MAITRES D'OUVRAGE, LA GESTION DU PATRIMOINE 17
1.4. LE TRAVAIL COLLABORATIF 18
1.4.1. INTEROPERABILITE 18
1.4.1.1. OPEN BIM / CLOSED BIM 18
1.4.1.2. LES FORMATS D'ECHANGE 18
1.4.2. L'EQUIPE BIM 20
1.4.2.1. LE BIM MANAGER 20
1.4.2.2. LE COORDINATEUR BIM 20
1.4.2.3. LE MODELEUR BIM 20
1.4.3. LES OUTILS BIM 21
1.5. NORMES BIM 22
2. Mise en application du BIM au sein du bureau d'étude SERUE Ingénierie 24
2.1. PRESENTATION DE SERUE INGENIERIE 24
2.1.1. ORGANISATION DE SERUE INGENIERIE 24
2.1.3. LA DEMARCHE QUALITE DE SERUE INGENIERIE 26
2.1.3.1. SYSTEME DE MANAGEMENT DE LA QUALITE 26
2.1.3.2. AMELIORATION CONTINUE 28
2.1.3.3. APPLIQUE AU BIM 29
2.2. CREATION D'UN MODELE DE CONVENTION BIM 29
2.2.1. PRESENTATION GENERALE 29
2.2.2. LES OBJECTIFS DU PROJET 30
2.2.3. LES USAGES BIM 30
2.2.4. L'EQUIPE BIM 32
2.2.5. STANDARDISATION DE LA MODELISATION 33
2.2.6. PROCESSUS BIM 33

2.3. OUTIL DE MODELISATION 35
2.3.1. PRESENTATION DU LOGICIEL REVIT 35
2.3.2. LA CLASSIFICATION DES ELEMENTS 35
2.3.3. STANDARDISATION DU GABARIT REVIT 36
2.3.3.1. PREAMBULE 36
2.3.3.2. ETAPES PREPARATOIRES 36
2.3.3.2.1. CREATION DE SOUS PROJETS 36
2.3.3.2.2. GESTION DE L'ARBORESCENCE DU PROJET 37
2.3.3.3. ELEMENTS DE RENDU 38
2.3.3.3.1. CARTOUCHE DE PLAN 38
2.3.3.3.2. LEGENDE DE PLAN 38
2.3.3.3.3. VISIBILITE DES VUES 38
2.3.3.4. ELEMENTS TECHNIQUES 39
2.3.3.4.1. EQUIPEMENTS 39
2.3.3.4.2. DISTRIBUTIONS DES FLUIDES 40
2.3.3.4.3. FAMILLES SYSTEME 40
2.3.3.4.4. ETIQUETTES D'ANNOTATIONS 41
2.3.3.5. NOMENCLATURES 42
2.4. FICHES DE PROCEDURES. 42
2.5. CONSEQUENCES DE LA DEMARCHE BIM 43
2.5.1. POUR LE MAITRE D'OUVRAGE 43
2.5.2. POUR LE MAITRE D'ŒUVRE 45
2.5.2.1. COUT DES MODIFICATIONS 45
2.5.2.2. MODELISATION 45
2.5.2.2.1. HYPOTHESES POUR L'ESTIMATION DE LA DUREE DE MODELISATION 45
2.5.2.2.2. ESTIMATION DE LA DUREE DE MODELISATION 48
2.5.2.2.3. MODELISATION CLASSIQUE / MODELISATION BIM 49
2.5.3. CONCEPTION 50
3. Exemple de projet traité en BIM, Périscolaire de Elsenheim 52
3.1. CONTEXTE DU PROJET 52
3.2. PRESENTATION ARCHITECTURALE 52
3.3. CALCUL REGLEMENTAIRE RT2012 54
3.3.1. PREAMBULE 54
3.3.2. OUTIL DE SAISIE 54
3.3.3. SAISIE DU BATIMENT 55
3.3.3.1. ETAPES PREPARATOIRES 55
3.3.3.2. ENVELOPPE DU BATIMENT 55
3.3.3.3. PONTS THERMIQUES 56
3.3.3.4. MENUISERIES EXTERIEURES 56
3.3.4. SAISIE DES SYSTEMES 57
3.3.5. RESULTATS 58
3.3.6. RETOUR D'EXPERIENCE 59
3.4. BILAN THERMIQUE ET DEBITS DE VENTILATION 60
3.4.1. METHODE DE CALCUL 60
3.4.2. CONDITIONS D'AMBIANCE A OBTENIR DANS LES LOCAUX 60
3.4.3. HYPOTHESES PRISES EN COMPTE POUR LA COMPOSITION DU BATI 61

3.4.4. DETERMINATION DES DEBITS HYGIENIQUES 61
3.4.4.1. SALLES D'ACTIVITE ET BUREAUX 61
3.4.4.2. GROUPES SANITAIRES 62
3.4.4.3. OFFICE 62
3.4.4.4. AUTRES LOCAUX 62
3.4.5. CALCUL DES DEPERDITIONS : 63
3.4.5.1. DEPERDITIONS PAR TRANSMISSION 63
3.4.5.2. DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR 63
3.4.5.3. DEPERDITIONS PAR INFILTRATIONS 64
3.4.5.4. SURPUISSANCE 65
3.4.6. TABLEAU RECAPITULATIF 66
3.5. PRODUCTION DE CHALEUR 68
3.6. CHAUFFAGE DES LOCAUX 71
3.6.1. CHAUFFAGE PAR RADIATEUR 71
3.6.2. CHAUFFAGE PAR PLANCHER CHAUFFANT 73
3.7. VENTILATION DES LOCAUX 74
3.7.1. VENTILATION DOUBLE FLUX GENERALE 74
3.7.2. VENTILATION DE L'OFFICE 75
3.7.3. TERMINAUX DE VENTILATION 76
3.8. DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX 78
3.8.1. DIMENSIONNEMENT DES CIRCUITS HYDRAULIQUES 78
3.8.2. DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX AERAULIQUES 79
3.8.3. DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX SANITAIRE 80
3.8.3.1. DISTRIBUTIONS D'EAU FROIDE ET D'EAU CHAUDE SANITAIRE 80
3.8.3.2. BOUCLAGE ECS 84
3.9. CALCUL DES PERTES DE CHARGE 85
3.9.1. CALCUL DES PERTES DE CHARGE DES RESEAUX HYDRAULIQUES 86
3.9.2. CALCUL DES PERTES DE CHARGE DES RESEAUX AERAULIQUES 87
3.10. MAQUETTAGE ET COLLABORATION 88
3.10.1. SYNTHESE TECHNIQUE 88
3.10.2. LOCAUX TECHNIQUES 89
3.10.3. RESERVATIONS 90
3.10.4. DETECTION DE CONFLITS 91
3.10.5. ECHANGES BCF 92
3.11. RETOUR D'EXPERIENCE 93
3.11.1. CONCEPTION CVC 93
3.11.2. CONCEPTION SANITAIRE 93
Conclusion 95
Bibliographie 96
Table des annexes 99
Liste des figures 123
Liste des tableaux 125

Introduction

Aujourd'hui le secteur de la construction souffre d'une piètre réputation : dépassement de budget, sous-productivité comparée aux autres industries, relations tendues entre les différents acteurs, mauvaise qualité, désorganisation, gaspillage.
Désormais, les progrès informatiques engendrent l'émergence d'outils d'aide à la conception, à la réalisation et à l'exploitation dans le domaine du bâtiment, en adéquation avec la recherche de fiabilité et d'optimisation des méthodes de travail.

Le BIM en est un ensemble de processus de travail, associé à une maquette numérique contenant l'ensemble des données du bâtiment.

La démarche BIM a pour vocation d'améliorer la qualité des prestations du secteur du bâtiment, dans la conception, la communication entre les acteurs et l'exploitation du bâtiment après livraison.

Cependant l'adoption de cette conduite entraine un bouleversement important des méthodes de travail, et des habitudes de conception de l'équipe de maitrise d'œuvre, et notamment du bureau d'étude.

A ce titre, ce mémoire a pour objectif de présenter l'intégration du processus BIM, dans la mission de maitrise d'œuvre du bureau d'étude technique SERUE Ingénierie.

La première partie de ce mémoire, aborde les notions que l'on distingue dans l'usage du BIM, les possibilités, les fonctionnalités, les acteurs concernés par le processus et également les travaux de normalisation réalisés jusqu'à présent.

La seconde partie présente la manière dont est intégré le BIM dans les méthodes de travail du bureau d'étude SERUE Ingénierie. L'élaboration de standards, en accords avec la volonté d'amélioration continue de la société, ainsi que l'analyse des conséquences de l'adoption d'une telle démarche, notamment dans la modélisation de la maquette numérique, l'exploitation de celle-ci et le temps investi dans la conception.

Dans la dernière partie, est décrit un exemple de projet traité en BIM, pour la conception des lots Chauffage-Ventilation et Plomberie-Sanitaire. L'utilisation de la maquette comme support pour l'organisation spatiale des installations techniques et l'exploitation des outils d'aide à la conception HVAC.

1. LE BIM, ETAT DE L'ART

1.1. Définition

BIM est l'abréviation Anglosaxonne pour Building Information Modeling, se traduisant en français par Modélisation des Informations (ou données) du Bâtiment. (Le terme bâtiment est générique et englobe également les infrastructures).
Le BIM est un ensemble de méthodes de travail illustrées par une maquette numérique paramétrique en 3 dimensions, qui contient l'intégralité des données du projet.
L'intérêt de cette démarche est la gestion organisée de ces données de manière structurée, permettant leur accès et leur exploitation en temps réel, par tous les acteurs du projet.
Le BIM est le partage d'informations fiables de la phase de conception jusqu'à la démolition. La maquette numérique quant à elle est une représentation digitale des caractéristiques physiques et fonctionnelles de ces ouvrages **([1] Riedo, 2012)**
La notion de BIM est souvent réduite à un logiciel ou à une technologie. Dans la pratique c'est une suite de processus et méthodes de travail utilisées pour la conception, la réalisation et l'exploitation d'un ouvrage.
Un ou plusieurs modèles virtuels sont utilisés et permettent d'effectuer la modélisation (architecturale, structurel, installations techniques, etc.) des analyses et simulations (énergétiques, calcul structurelle, détections des conflits, etc.), des contrôles (respect des normes, du budget, etc.) et des visualisations.
La maquette numérique permet d'optimiser la collaboration entre les différents intervenants, soit par des échanges de données, soit en créant des interactions avec un modèle commun.
Grâce au BIM, les opérations de contrôles sont simplifiées par la maquette numérique et effectués très en amont dans l'étude d'un projet. C'est une réelle plus-value en termes de qualité de conception permettant ainsi une anticipation des problèmes avant la mise en chantier.

La figure 1 représente les différents secteurs concernés par la démarche BIM dans le cycle de vie d'un bâtiment, de la programmation jusqu'à la démolition.

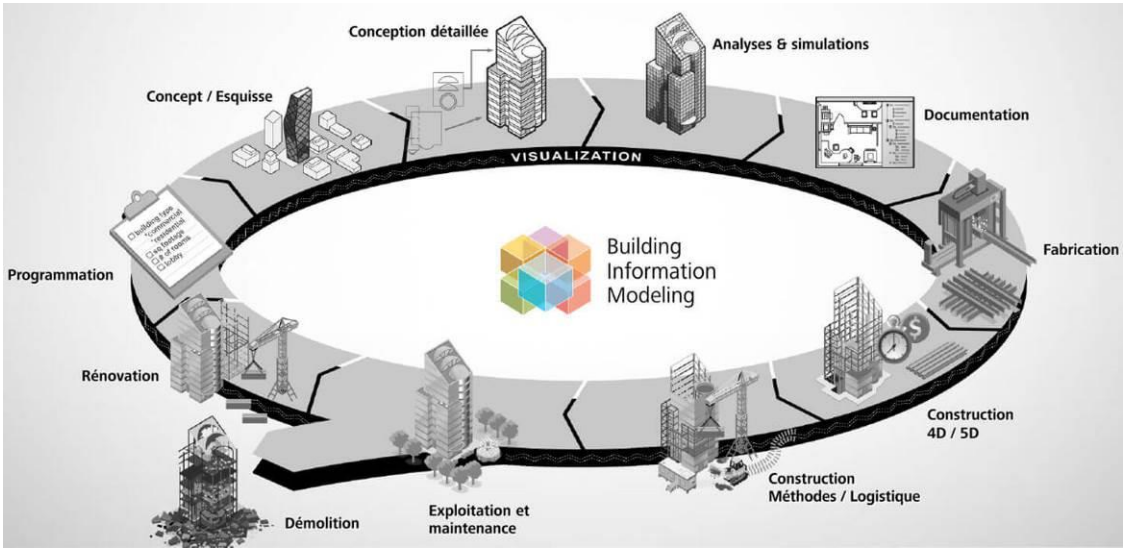


Figure 1 : Le BIM pour quoi ? **([2] Dispenza, 2010)**

1.2. Notions importantes

Le BIM est un sujet vaste et regroupe plusieurs concepts. Dans ce chapitre sont présentées les notions les plus importantes et systématiques à chaque projet BIM.

1.2.1. Les niveaux du BIM

Le BIM comporte actuellement 3 niveaux, que l'on appelle niveaux de maturité. Ces niveaux correspondent aux étapes vers le BIM collaboratif. Usuellement, on distingue également un niveau 0 correspondant à un échelon inférieur au niveau BIM **([3] De Maestri, 2017 chap.1)**.
Les descriptions ci-dessous correspondent aux niveaux définis pour le Royaume-Uni, elles sont également parfaitement intégrées à l'usage français.

- **BIM Niveau 0 :** Les outils de travail sont de type 2D, papier ou numérique. Ce niveau correspond à une méthode de travail qui n'intègre pas le BIM.

- **BIM Niveau 1 :** Correspond à un BIM isolé. Les données à ce niveau de maturité sont déjà structurées, numérotation des plans, géolocalisation, présentation, système d'approbation et de diffusion des plans, etc. Cependant les échanges sont limités, les maquettes sont partagées partiellement et sans procédure réglementée, de suivi, vérification et approbation. Chaque intervenant travaille en BIM mais individuellement, sans interactions directes et avec les autres partenaires autour de la maquette numérique

- **BIM Niveau 2 :** C'est le départ de la collaboration. Chacun produit une maquette numérique 3D (architecte, ingénieurs, MEP, etc.) individuellement. Cependant les modèles sont échangés, ils évoluent conjointement.
  Cet échange permettra de combiner les modèles en un modèle unique. C'est avec ce modèle unique que seront effectuées les détections de conflits par exemple. En Angleterre, le BIM Niveau 2 est obligatoire pour les projets publics depuis 2016 **([4] Valente, 2017)**.

Le BIM niveau 2 contient les éléments suivants **([1] Riedo, 2012)** :
- Un modèle graphique ou maquette numérique 3D créé avec un logiciel BIM
- Des données non-graphiques incluant des informations importantes pour l'utilisation et la maintenance de l'ouvrage.
- De la documentation comme des rapports ou des dessins 2D.

En plus des éléments ci-dessus, le niveau 2 impose les exigences suivantes :
- Structure des données (standards)
- Définition des processus
- Définition et contrôle des échanges de données
- Un environnement de données commun

- **BIM Niveau 3 :** Egalement appelé iBIM, ce niveau de maturité est considéré par beaucoup comme le seul BIM **([3] De Maestri, 2017 chap.1)**. Le modèle unique de la maquette est stocké sur un serveur accessible par tous les intervenants et durant toute la durée de vie de l'ouvrage.
  Avec cette collaboration totale se pose des problèmes de propriété intellectuelle, de responsabilité et de réglementation de l'accès modification/enregistrement.
  Le BIM Niveau 3 est actuellement testé sur de grands projets par une minorité de firmes. La technologie actuelle ne permet pas encore l'accessibilité du Niveau 3 à tous.

La figure 2 illustre les différents niveaux de maturation que l'on retrouve dans le BIM

Niveau 0 dessin 2 D		Niveau 1 : 2D, 2,5D voir 3D		Niveau 2 : Maquette numérique (MN)		Niveau 3 : Maquette numérique (MN)	
0a	0b	1a	1b	2a	2b	3a	3b
Plans papier	Plans DAO	Plans DAO 2D Plans 2,5D	3D isolé (souvent archi uniquement)	Echange de MN dans une seule direction	Echange bidirectionnel non intégré	Partage de MN sur serveur local ou distant Ingénierie intégrée	Plateforme CLOUD = Product Lifecycle Management
Travail isolé				Travail collaboratif			

Figure 2 : Niveaux de BIM **([5] Bleyenheuft, 2015)**

1.2.2. Les dimensions du BIM

La notion de dimension intervient souvent dans la littérature consacrée au BIM. Si les termes 2D et 3D sont intégrés dans le langage courant, les dimensions supérieures correspondent également à un usage spécifique. Ci-dessous les définitions des différentes dimensions.

- Le **BIM 2D** fait référence aux plans papier. Sur le chantier, les entreprises continueront à travailler avec des plans imprimés, même partiellement. De plus, les détails de mise en œuvre nécessiteront un visuel en 2D.
- Le **BIM 3D** concerne les trois dimensions géométriques X-Y-Z omniprésentes dans la démarche BIM. Elles permettent les visualisations, les détections d'interférence, la préfabrication, les relevés de l'existant, le calcul des quantités, la mise à jour automatique des coupes et détails, etc.
- Le **BIM 4D** ajoute une notion de temps à la maquette numérique. Les éléments géométriques sont liés à l'évolution temporelle du projet, permettant d'établir un planning de travaux
- Le **BIM 5D** ajoute la notion de coût aux 4 dimensions précédentes. Les éléments géométriques et temporels sont quantifiés, afin d'estimer les coûts de construction ou d'obtenir un aperçu de la situation financière à un instant donné.
- Le **BIM 6D** concerne la notion de développement durable d'un bâtiment, on y retrouve par exemple les analyses énergétiques.
- Le **BIM 7D** est un modèle contenant toutes les informations nécessaires au propriétaire pour l'exploitation et la maintenance du bâtiment. Une dimension concernant la durée de vie du bâtiment est introduite.
- Le **BIM XD**, le X représente dans la littérature dédiée au BIM, toutes les données additionnelles qui pourraient encore enrichir la maquette et s'ajouter aux autres dimensions.

La figure 3 représente schématiquement les dimensions représentatives du BIM (3D à 7D)

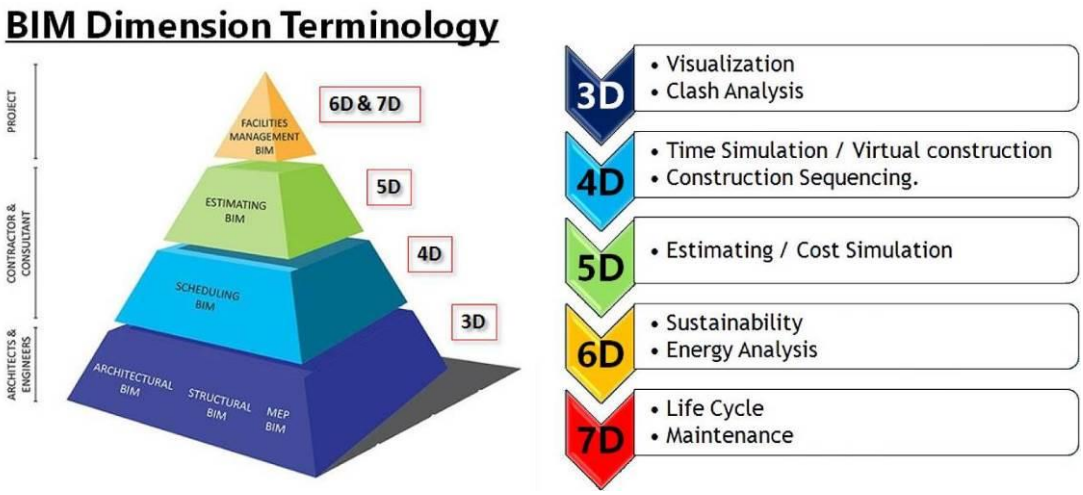


Figure 3 : Dimensions du BIM **([6] Sarathi Chowdhury, 2016)**

1.2.3. Le Niveau de détail de la Maquette Numérique

Le Niveau de détail ou de développement (appelés LOD pour l'anglais Level of Detail ou level of développement) permet de déterminer la quantité d'informations intégrée dans un modèle. Cela inclut le graphisme des dessins, mais également toutes les données paramétriques. Plus le niveau LOD est élevé, plus le niveau de détail est important.

Internationalement les différents niveaux de détails suivants ont été adoptés **([1] Riedo, 2012)** :

- **LOD 100 :** Les éléments du modèle sont représentés de manière générique ou par des symboles.
- **LOD 200 :** Les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière générique en tant qu'objet ou assemblage. Les dimensions, quantités, formes, positions et orientations des éléments peuvent être approximatives.
- **LOD 300 :** Les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière spécifique en tant qu'objet ou assemblage. Les dimensions, quantités, formes, positions et orientations sont spécifiques aux éléments.
- **LOD 350 :** Les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière spécifique en tant qu'objet ou assemblage. Les dimensions, quantités, formes, positions et orientations sont spécifiques aux éléments. Les éléments interagissent avec les autres éléments du projet.
- **LOD 400 :** idem au niveau LOD 350 avec ajout des informations sur le détail, la fabrication, l'assemblage et l'installation, intégré dans les éléments.
- **LOD 500 :** idem LOD 400 mais tel que construit et vérifié sur place.

A noter que les éléments peuvent être enrichis par des informations non graphiques à tous les niveaux de détail.

La figure 4 illustre la représentation graphique d'un poteau métallique, à différents niveaux de détail. On retrouve au plus bas niveau un parallélépipède pour le LOD 100 jusqu'au LOD 400 avec le détail complet, incluant notamment les écrous.

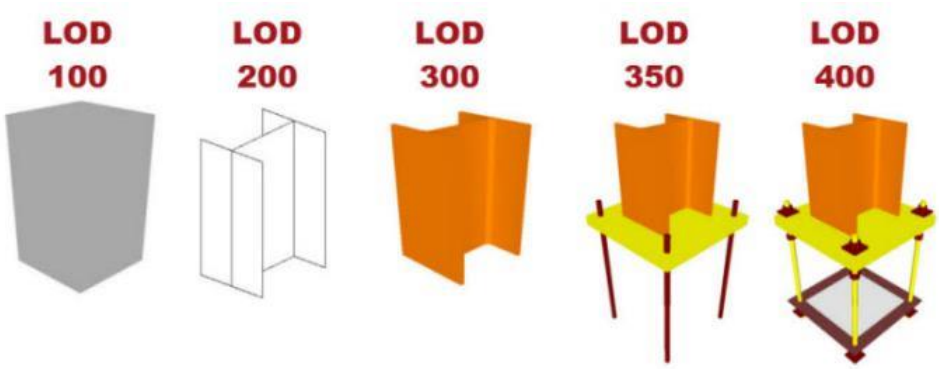


Figure 4 : Les différents niveaux LOD **([7] Fleischmann, 2016)**

1.2.4. Les objets BIM

Un objet BIM est une représentation digitale d'un produit ou d'un matériau auquel on intègre des données. L'objet BIM est composé d'une géométrie 3D et de données ou propriétés qui décrivent par exemple le type d'objet, son matériau, sa classification, ses performances, sa durée de vie...

On retrouve deux types d'objets BIM **([1] Riedo, 2012)** :

- Les objets spécifiques, ils sont élaborés sous l'initiative des fabricants et par conséquent fidèles à la réalité par leurs caractéristiques ou propriétés. Par exemple une chaudière qui sera renseignée en dimension, en puissance, en diamètre de raccordement…
- Les objets génériques, ils sont généralement issus des bibliothèques ouvertes ou directement créés par le spécialistes métier, et sont utilisés lorsque le choix du matériel définitif n'a pas encore été arrêté. Dans ce cas la chaudière pourra être modélisée par un simple parallélogramme auquel on ajoutera les données nécessaires.

A noter qu'un objet générique peut parfaitement convenir et être utilisé tout au long du cycle de vie de la maquette numérique, si la charte BIM le permet.

Les objets BIM sont indispensables au développement du BIM. Ces objets doivent être disponibles, soit sous forme générique au stade conceptuel, soit sous forme spécifique pour la conception ou la construction.

1.2.5. La charte BIM

La charte BIM est un document produit par la maîtrise d'ouvrage, afin d'exprimer ses besoins en termes d'objectifs de qualité et de performances de la maquette numérique. Elle établit les exigences nécessaires à l'utilisation de la maquette pour l'exploitation de son patrimoine **([8] TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016 annexe 1)**

1.2.6. Le cahier des charges BIM

Les possibilités de méthodologies dans le processus de travail sont extrêmement variées. Le développement de la démarche doit donc être établi sur des bases solides. Ainsi les attentes du maitre d'ouvrage formulées par la charte BIM, devront être clairement exprimées dès la rédaction du programme technique du projet et confortés dans un cahier des charges BIM intégré aux documents contractuels.

L'organisation de ce document se fera autour d'au moins trois thèmes fondamentaux **([3] De Maestri, 2017 chap.5)** :

- Les objectifs, comment le livrable sera exploité par la maîtrise d'ouvrage (gestion technique des installations, gestion de la maintenance, gestion du patrimoine…)
- Les formats d'import/export, afin de garantir que le livrable sera exploitable par la maîtrise d'ouvrage
- Les rôles et responsabilités en BIM (relation prestataire-commanditaire), avec l'organisation de la maquette attendue pour le livrable

1.2.7. La convention BIM

La convention BIM est établie en adéquation avec le cahier des charges du client, en développant toutes les particularités du processus tant pour la conception que pour les spécificités contractuelles.
Dans la convention est définit le rôle de chaque intervenant, c'est un document légal qui doit être attaché aux contrats des entreprises, des concepteurs et de tous les professionnels impliqués dans le projet **([3] De Maestri, 2017 chapitre 6)**.

Ce document détermine :

- L'objectif du rendu BIM
- L'organigramme des maquettes produites dans le cadre du projet
- Les caractéristiques des maquettes produites par les membres de l'équipe projet (architecturale, métier)
- Le planning de production
- Les obligations spécifiques, les engagements ainsi que les limitations associées à l'utilisation des maquettes métier ou de la maquette globale.

La convention BIM permet d'imposer le suivi de normes et de moyens de travail communs, elle clarifie les droits d'utilisation de chaque partie ayant accès à la maquette numérique.

1.3. Les acteurs du BIM

Le BIM profite à tous les acteurs du projet pendant toute la durée de vie du bâtiment jusqu'à son éventuelle destruction.
Tout le monde est concerné et chacun pourra en tirer profit en s'évitant des saisies inutilement répétées, sources d'erreur et de perte de temps.

1.3.1. Maitre d'œuvre, la conception

L'équipe de maitrise d'œuvre est au cœur du processus BIM. En effet c'est elle qui interviendra en premier lieu dans la maturation du projet, avec les premières esquisses de maquette.
Le BIM sera non seulement un outil de conception à part entière, mais également un instrument fiable permettant de vérifier la cohérence de la saisie avec les objectifs du projet.

On retrouvera ci-dessous un aperçu des possibilités qu'offre la démarche BIM en phase de conception **([9] Celnik & Lebègue, 2014, chapitre 9)** :
- La programmation spatiale, permet d'associer aux espaces les caractéristiques attendues. Cette phase permettra de mettre en avant les exigences des différents éléments du programme
- C'est un support de dialogue et de concertation entre partenaires. A tous les stades du projet, la maquette 3D permet de visualiser le bâtiment sous tous ses angles, offrant un support visuel de communication accessible à tous
- Dès l'esquisse, le BIM permet de vérifier automatiquement le respect des règles d'urbanisme et le respect des contraintes (paramétrées par le concepteur) vis à vis de l'environnement
- Dès l'avant-projet, la démarche BIM offre la possibilité d'analyser le projet sur une approche globale : performance bioclimatique, comparaison de modes constructifs, coût global sur l'enveloppe, empreinte environnementale…
- La démarche induit une conception sur la base d'un travail collaboratif, porteur de qualité et de gain de temps
- Un accès simplifié aux banques de données des industriels, permettant une fiabilité dans le matériel prescrit

C'est également un outil précieux pour la constitution des dossiers de consultation des entreprises :
- Réalisation des métrés
- Production de plans

Pour la gestion de chantier jusqu'à la réception :
- Préparation de chantier, simulation de l'avancement (pose des échafaudages, calepinage, par exemple…)
- Contrôle de l'avancement
- Aide à la mise en œuvre
- Respect des prescriptions
- Respect des conformités

1.3.2. Entreprises d'exécution, le chantier

Si le BIM semblait réservé au départ aux architectes et ingénieurs, les entrepreneurs du bâtiment et du génie civil sont maintenant eux aussi impliqués dans la démarche.
Cependant cela concerne surtout les grandes entreprises. Pour les petites structures il est difficile de s'impliquer en raison du cout d'investissement important que représente l'équipement matériel.

La maquette numérique permet aux entreprises de visionner le bâtiment en amont de la construction et ainsi de pouvoir détecter les aspects critiques avant le premier coup de pioche.
Cette maquette pourra être utilisée pour planifier le chantier (4D) et contrôler les coûts de construction en temps réel (5D). La sécurité sur le chantier est également vérifiée grâce à la maquette numérique qui permet de visualiser les zones dangereuses avant la construction et ainsi de mettre en place les mesures préventives nécessaires.
De plus, le BIM et sa maquette numérique favorisent la préfabrication hors site, réduisant ainsi les temps de construction.

La maquette numérique en phase de construction est souvent appelée VDC, de l'anglais Virtual Design and Construction.

On retrouvera ci-dessous les principaux avantages à l'utilisation du BIM lors de la construction pour les entrepreneurs et sous-traitants **([1] Riedo, 2012)** :
- Le modèle 3D rassemble tous les corps d'état, permettant une synthèse efficace et cohérente
- Les erreurs et omissions peuvent être détectées avant le début des travaux
- Les conflits et autres problèmes de construction sont visualisés au stade des études et non sur le chantier
- Les modifications sont reportées en temps réel et leurs conséquences visualisables par le caractère paramétrique des constituants de la maquette numérique
- La conception et la construction peuvent être synchronisées grâce au 4D, qui ajoute la dimension temps au modèle virtuel
- Les matériaux et ressources nécessaires peuvent être extraits à chaque étape du projet permettant d'anticiper les livraisons des matériaux et des équipements.
- La maquette numérique 3D permet une plus grande précision de fabrication.

La figure 5 représente un visuel en trois dimensions pour un projet de construction, des installations de chantier et du phasage de travaux.

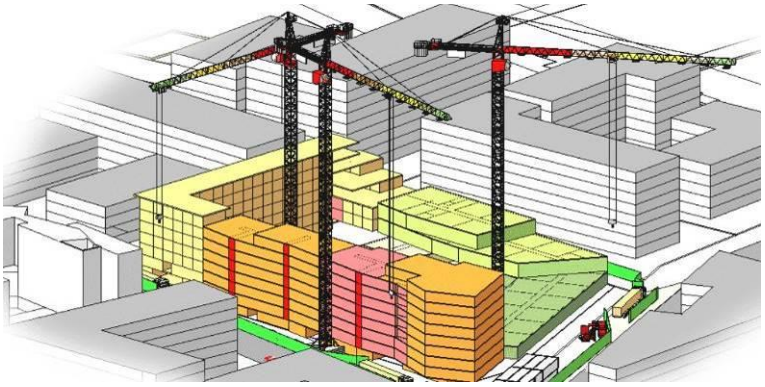


Figure 5 : Installation de chantier et phasage **([10] Methodes btp, 2015)**

1.3.3. Maitres d'ouvrage, la gestion du patrimoine

Si les outils BIM seront largement exploités en phase de conception, la maquette numérique n'en reste pas moins un livrable destiné à un client final, lui apportant un outil performant pour la gestion de son bâtiment. Le BIM par son contenu synthétique et évolutif, est un instrument incontournable permettant un accès à la connaissance technique du patrimoine géré et à anticiper les actions nécessaires à son exploitation et son entretien.

On retrouvera également ci-dessous les principaux objectifs de la gestion de patrimoine **([9] Celnik & Lebègue, 2014, chapitre 8)** :

- L'identification et le regroupement des informations caractérisant le bâti au moment de sa réception puis évoluant au cours de son cycle de vie : réfection, réhabilitation, destruction…
- La gestion des surfaces : affectation des locaux, location des surfaces, recouvrement des loyers, répartition des charges…
- Le respect et le suivi des aspects réglementaires d'exploitation : sécurité des biens et des personnes, hygiène, sécurité d'exploitation, sécurité d'intervention…
- L'identification des actions effectuées en interne et celles sous-traitées : suivi des contrats sur les actions externalisées ou nécessitant une compétence technique métier (extincteurs, ascenseurs, systèmes de sécurité incendie…).
- L'identification et le suivi des actions de conduites d'exploitation du bâtiment (chauffage, climatisation, réseaux de distribution de fluides…)
- L'identification des actions de maintenance nécessaires au maintien en l'état du patrimoine à court, moyen et long terme.
- L'assistance et les services dédiés aux utilisateurs et occupants du bâtiment (déménagement, courrier interne, réservation de locaux et de matériels…).

Egalement ci-dessous des exemples d'attentes de gestionnaires quant à la connaissance technique du bâti **([9] Celnik & Lebègue, 2014, chapitre 8)** :

- Trouver instantanément une information technique ou contractuelle concernant un bien immobilier et ses composants.
- Être relancé sur les visites et les contrôles relatifs aux obligations réglementaires.
- Disposer de plans et de données graphiques et alphanumériques à jour, le tout avec des moyens de gestion limités en interne en cas de mise à jour.
- Disposer des éléments permettant à tout moment de formaliser le carnet de santé du patrimoine.
- Suivre les actions de maintenance et de conduite d'exploitation.
- Piloter au mieux la consommation énergétique, compte tenu de l'activité interne dans le bâtiment, de ses dispositions constructives, etc.
- Disposer de tableaux de bord et d'outils d'analyse pour suivre l'optimisation des moyens dédiés à la gestion technique de patrimoine…

1.4. Le travail collaboratif

La notion indissociable de la démarche BIM est la notion de travail collaboratif.
L'échange d'informations au cours d'un projet requiert la mise en place de processus de collaboration entre les différents participants. Actuellement ces méthodes sont limitées, notamment par les technologies utilisées, l'incompatibilité des outils informatiques…

Le BIM et la maquette virtuelle permettent de valoriser la collaboration entre les différents intervenants du projet. Les nouveaux moyens techniques permettent désormais d'établir cette collaboration à distance. Le manque de proximité des équipes n'est plus un frein aux échanges. La maquette numérique permettra notamment :

- Un enregistrement complet des informations et la disponibilité d'une version fiable, de la maquette
- Un suivi et une historisation des modifications apportées
- La disponibilité d'informations utiles et exploitables lors de la phase d'exploitation de l'ouvrage

Réunir dès le début du projet maître d'ouvrage, architecte, ingénieurs, permet de définir très tôt les axes de décision permettant d'optimiser l'efficacité de la conception.

1.4.1. Interopérabilité

L'interaction de plusieurs métiers nécessite une possibilité de communication entre plusieurs logiciels informatiques sans perte de données, on parle alors d'interopérabilité. « *L'objectif est de permettre à chaque intervenant de pouvoir travailler à partir des logiciels les plus adaptés à sa profession, sans devoir se résoudre à un choix* » **([3] De Maestri, 2017 chapitre 2)**.

1.4.1.1. Open BIM / Closed BIM

L'open BIM représente le concept de marché ouvert. De nombreux logiciels différents sont mis à disposition par plusieurs éditeurs et communiquent entre eux grâce à un format commun d'échange de fichiers, c'est l'interopérabilité **([3] De Maestri, 2017 chapitre 2)**.

Le closed BIM représente quant à lui, toujours un concept avec plusieurs logiciels, mais qui utilisent cette fois-ci un format de fichier commun. Chaque logiciel pourra exploiter ce format particulier. Dans ce second cas on se situera plus dans un concept de compatibilité entre logiciel plutôt que d'interopérabilité. On retrouve ces cas de compatibilité, avec les logiciels distribués sous forme de suite par un même éditeur **([3] De Maestri, 2017 chapitre 2)**.

1.4.1.2. Les formats d'échange

Afin de permettre l'interopérabilité entre logiciel, des formats d'échanges ont été développés. L'un des formats d'échanges le plus utilisé est le format IFC (Industry Foundation Classes).

L'IFC est un standard créé à la demande de l'IAI 1(International Alliance for Interoperability) afin d'améliorer l'interopérabilité des applications utilisées
C'est un format conçu pour tous les types de données. L'étendue et la complexité des données IFC augmentent à chaque nouvelle version.
Les IFC reprennent les informations graphiques comme non-graphiques, (géométrie des objets, relation et le lien avec d'autres objets, propriétés...)

Actuellement l'IFC est le seul format open suffisamment développé pour le BIM **([1] Riedo, 2012)**. Ce format est utilisé à l'échelle mondial, il est maintenant défini par la norme ISO 16739 : 2013 (IFC pour le partage des données dans le secteur de la construction et de la gestion des installations).
En France, le rendu des éléments du processus se fait aux formats natifs et IFC. Le premier assure la conservation de la totalité des informations sans altérations. Le second permet une exploitation des informations plus libre.

D'autres formats d'échange sont également utilisés, avec notamment :

- **Le Format BCF** BIM Collaboration Format, développé dans le but d'isoler les messages décrivant les problèmes découverts sur modèle numérique (détection de conflits, requêtes de modifications...). Le format BCF permet également d'attacher des commentaires, des vues, afin d'illustrer les échanges.

- **Le Format MVD** Model View Definition, définit un sous-ensemble du schéma IFC. Le choix d'une MVD en particulier sera fait en fonction des informations que l'on souhaite retrouver dans le fichier exporté en IFC, pour des applications comme :
  - La coordination entre les disciplines
  - L'échange d'un modèle analytique (d'une application BIM vers un logiciel de calcul par exemple)
  - Le transfert de données entre un logiciel BIM et les logiciels de gestion de patrimoine et de maintenance
  - Les échanges basés sur les modèles de référence, où l'échange est unidirectionnel (planification, détection de conflits, extraction de quantités, séquençage de la construction, présentation visuelle…)

- **Le Format COBie** Construction Operation Building Information est un format d'échange, basé sur la transmission des informations non-graphiques du bâtiment. Il est exploité par exemple pour l'entretien de l'ouvrage.

- **Le Format IFD** (International Framework for Dictionnaries) correspond à un langage commun aux applications centré sur les propriétés textes échangées (exemple, noms des pièces).

- **Le Format IDM** (Information Delivery Manual) permet de fournir une référence commune dans les processus d'échanges de données du BIM.

- **Le format gbXML** (green building XML) est dédié aux analyses thermiques et énergétiques. Il contient toutes les informations nécessaires pour être exploité par les logiciels de simulation (ArchiWIZARD, ClimaWiN, Ecotect, eQuest, etc.).

1.4.2. L'équipe BIM

1.4.2.1. Le BIM manager

Nous avons pu voir dans les chapitres précédents qu'une multitude de notions s'inscrivent dans la démarche BIM. Dès le démarrage, ces notions doivent être gérées et articulées de manière cohérente, la fonction de manager du processus est tenue par un BIM manager.
Le rôle du BIM manager n'est pas d'imposer des décisions mais plutôt d'assurer la mise en place et le suivi du processus BIM pour l'ensemble des intervenants. Sans être un expert dans toutes les étapes de la construction ou dans tous les logiciels métier, le BIM manager doit avoir une vision globale du projet et des phases d'étude, de construction et de gestion d'un bâtiment, être capable d'appréhender les besoins du projet et de rassembler les membres de l'équipe autour d'une ligne directrice (De Maestri, 2017 chapitre 3).

Le rôle du BIM manager peut être résumé par les points suivants **([3] De Maestri, 2017 chapitre 3)** :
- Assurer le leadership : en réunissant les intervenants autour d'une organisation coordonnée
- Communiquer : à tous les niveaux de l'entreprise ou du projet
- Avoir une connaissance des domaines de la construction
- Avoir une connaissance dans les processus de flux de travail
- Être capable d'éduquer et de conseiller les intervenants du projet sur les bonnes pratiques
- Être capable de s'adapter : le processus BIM peut évoluer en fonction de l'avancement du projet
- Être à l'aise dans le travail d'équipe : le partage et la collaboration sont les fondamentaux du BIM, le manager BIM doit donner l'exemple

1.4.2.2. Le coordinateur BIM

Dans la chaine organisationnelle du projet, chaque entité met à disposition un coordinateur BIM, qui devient alors l'interface entre son équipe et le BIM manager. On retrouve donc dans chaque projet un ou plusieurs coordinateurs BIM ayant la responsabilité de leurs maquettes métier.
Le coordinateur BIM sera un référent des processus et des besoins de son équipe dans le métier qu'il exerce et par conséquent responsable de la maquette métier que produit son entreprise.
Le coordinateur BIM est en collaboration étroite avec le BIM manager s'assurant du respect des règles établies pour le projet.

1.4.2.3. Le modeleur BIM

Dans les équipes BIM, on retrouve également le modeleur BIM. Il réalisera la modélisation de la maquette pour la spécialité métier qui le concerne. Le modeleur BIM, par le suivi des processus établis, sera le garant du rendu de la maquette.

La figure 6 représente un exemple d'organigramme des rôles dans un processus BIM. Le rôle des différents intervenants peut varier selon les étapes du projet. Dans cet exemple on retrouve un manager BIM pour chaque étape, assistance à la maitrise d'ouvrage (AMO) maitrise d'œuvre, exécution et gestion de patrimoine.

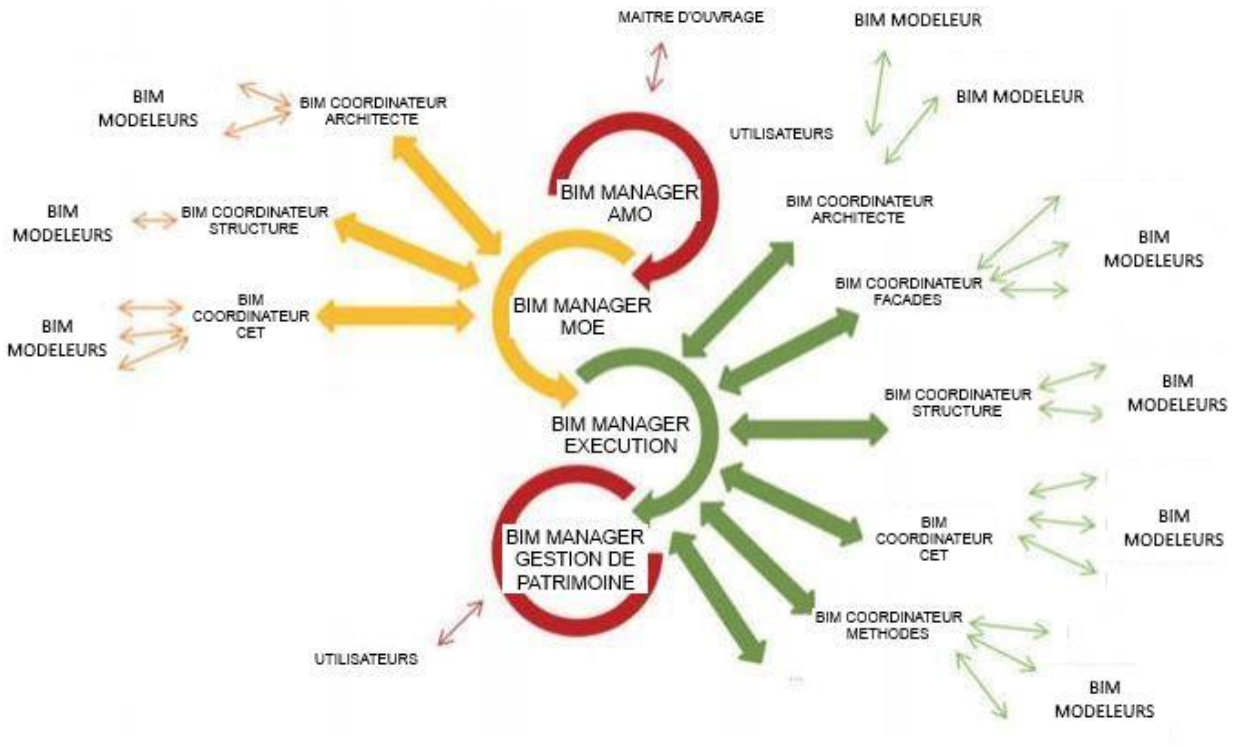


Figure 6 : Exemple d'organisation et rôles dans un processus BIM **([3] De Maestri, 2017 chapitre 3)**

1.4.3. Les outils BIM

Nous l'avons vu précédemment, le sujet du BIM est vaste par l'étendue des utilisations possibles. Cet éventail de possibilités induit l'existence d'une multitude d'outils informatiques en fonction du secteur d'activité. Ces outils peuvent être organisés en plusieurs catégories (De Maestri, 2017 chapitre 2) :

- Les outils de modélisations, sont spécialisés métier et permettent la production d'informations 3D et de métadonnées
- Les outils d'analyse et vérification, permettent la superposition des maquettes pour analyses de conflits, création de tableaux quantitatifs…
- Les outils techniques spécifiques : programmation de planning (4D), calcul thermique, calcul structurel, coût, gestion du patrimoine, maintenance, gestion technique du bâtiment…
- Les plateformes et serveurs, pour l'organisation globale du processus indépendamment de leur dimension et de leur format (interopérabilité)

1.5. Normes BIM

Le développement du BIM introduit un concept de numérisation du secteur du bâtiment. Dans ce contexte, le plan de transition numérique dans le bâtiment, engagé par le gouvernement français, met en œuvre des actions visant à définir des objectifs de pré-normalisation et de normalisation du BIM.

Ils concernent les travaux menés **([11] Grand, Ridgway, & Soubra, 2017 chapitre 1.2)** :

- Au niveau national par l'association française de normalisation (AFNOR) avec la norme PP-BIM (propriétés de produits de construction).
- Au niveau européen, par le comité européen de normalisation (CEN) avec la norme CEN /TC 442 pour l'amélioration de l'échange automatisé des informations relatives au BIM et aux maquettes numériques
- Au niveau international, par l'organisation internationale de normalisation (ISO) avec les normes :
    - ISO/TC 59 /SC 13 Organisation de l'information concernant les travaux de construction
    - ISO TC 211 (information géographique/Géomatique)
    - ISO TC184 /SC 4 (Industrial Data)

Ces travaux s'articulent autour de trois axes principaux via le développement de trois normes ISO (figure 7) :

- Le processus : concernant la gestion des processus BIM réalisés par les acteurs.
- Le Data : correspondant aux modèles informatiques traités par les machines
- La Terminologie : cet étage correspond aux dictionnaires de données, utilisables et décrits dans des formats permettant leur traitement automatique par les machines

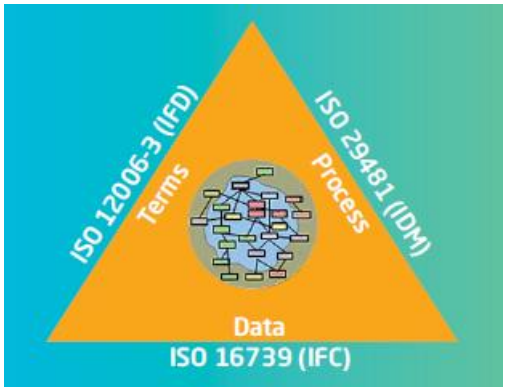


Figure 7 : Triangle des normes building SMART International **([11] Grand, Ridgway, & Soubra, 2017 chapitre 2.1)**

Une phase de consultation avec les différents acteurs de la filière a permis de retenir 13 thématiques de normalisation s'articulant dans les trois axes de la manière suivante **([11] Grand, Ridgway, & Soubra, 2017 chapitre 2.1)** :

- Axe processus :
    - Thématique 1 : Information Delivery Manual (IDM) (cf. chapitre 1.4.1.2 du présent document)
- Axe data :
    - Thématique 2 : Industry Foundation Classes (IFC) (cf. chapitre 1.4.1.2 du présent document)
    - Thématique 3 : BIM Collaboration Format (BCF) (cf. chapitre 1.4.1.2 du présent document)
- Axe terminologie :
    - Thématique 4 : Dictionnaires (clarification des notions liées au contexte BIM)

- Thématique 5 : Classifications (classement des composants d'une maquette numérique)
- Thématique 6 : Model View Definition (MVD) (cf. chapitre 1.4.1.2 du présent document)
- Thématique 7 : Objets BIM (paramètres des objets)
- Thématique 8 : Conteneurs de données (informations hétérogènes, source, structure, format rassemblée dans un fichier)
- Thématique 9 : Gestion du Cycle de Vie d'un Composant (Product Life Cycle Support (PLCS))
- Thématique 10 : Données liées (principes permettant de lier les objets BIM avec des informations contenues sur internet)
- Thématique 11 : BIM exécution Plan (a pour objectif de structurer le contenu d'un plan d'exécution ou convention BIM)
- Thématique 12 : Norme ISO 19650 (Organisation des informations concernant les ouvrages de construction - Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction)
- Thématique 13 : City GML (Open Geospatial Consortium, le bâtiment dans son environnement, permet la modélisation et l'échange de données urbaines 3D)

Les notions intervenant dans le BIM sont aujourd'hui admises dans le langage courant.
La connaissance de ces notions est indispensable à la compréhension des objectifs du projet, et donc de l'ampleur de la mission du bureau d'étude.

L'adoption d'un processus BIM se traduit par l'application de ces notions à travers de nouveaux outils, il est important de définir les besoins liés à ces procédés, et de rechercher des méthodes permettant d'en maitriser le fonctionnement.

2. MISE EN APPLICATION DU BIM AU SEIN DU BUREAU D'ETUDE SERUE INGENIERIE

Pour le bureau d'étude, la mise en application d'un processus BIM, se manifestera principalement par :
- L'expression des besoins du maitre d'ouvrage, des objectifs du projet et du rôle des contributeurs, par la rédaction d'une convention BIM
- La modélisation de la maquette numérique, par l'utilisation d'outils informatiques adaptés
- L'utilisation de la maquette numérique comme support de communication

Ces outils sont diversifiés, et utilisable par plusieurs personnes, il est donc important de définir des standards, permettant d'en cadrer l'utilisation.

2.1. Présentation de SERUE Ingénierie

2.1.1. Organisation de SERUE Ingénierie

SERUE Ingénierie est un bureau d'étude technique qui participe, depuis plus de 50 ans, à de nombreuses opérations dans l'agglomération strasbourgeoise, la Région Grand Est ainsi que dans d'autres régions de France telles que le Nord, l'Ile-de-France, la Normandie, la Franche-Comté et la région Rhône-Alpes.

Animée par une équipe d'ingénieurs spécialisés travaillant sous le contrôle d'ingénieurs chefs de projets, SERUE Ingénierie a développé six départements principaux :
- Voiries, réseaux, espaces verts et paysages, transports et aménagements urbains
- Structures de bâtiments, Ouvrages d'art et Génie Civil
- Fluides et maîtrise de l'énergie
- Electricité et courants faibles, coordination Système de Sécurité Incendie
- Etudes économiques
- Ordonnancement-Pilotage-Coordination

La figure 8 présente l'organisation hiérarchique de la société.

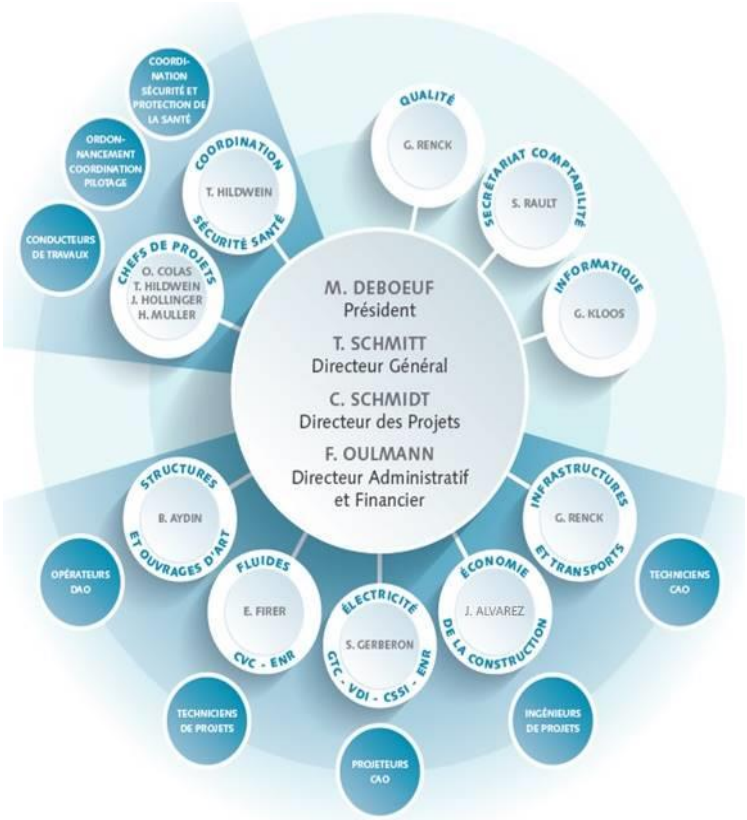


Figure 8 : Organigramme hiérarchique de la société SERUE Ingénierie (source livret d'accueil de la société)

Ces départements interviennent pour réaliser les études, contrôles et travaux tous corps d'état dans les secteurs de l'industrie, des équipements tertiaires et des sports et loisirs, publics ou privés.

2.1.3. La démarche qualité de SERUE Ingénierie

2.1.3.1. Système de management de la qualité

SERUE Ingénierie applique à son activité de Maîtrise d'œuvre, de l'appel d'offres à la réception des travaux un système de management de la qualité.
Ce système est établi selon plusieurs outils du Lean Management et le référentiel ISO 9001.

Le système de management de la qualité repose sur l'approche processus. Cette approche constitue un véritable atout pour obtenir et maîtriser la qualité des prestations proposées. Il repose sur plusieurs items principaux décrits ci-dessous

- **Direction :** décliner et communiquer la stratégie et la vision de l'entreprise aux collaborateurs ; mettre en œuvre et améliorer le Système de Management de la Qualité pour satisfaire le client et les parties intéressées
- **Ressources Humaines :** gérer les compétences et l'évolution du personnel au sein de l'entreprise
- **LEAN** : définir les standards du Lean Management et les faire vivre
- **Informatique / ressources techniques** : mettre à disposition et maintenir les infrastructures
- **Finance** : assurer la gestion comptable de l'entreprise
- **Gestion de projet** : obtenir de nouveaux contrats, concevoir des projets et suivre leurs réalisations conformément à notre expertise et aux attentes de nos clients et partenaires
- **Mesures et améliorations** : générer de l'amélioration continue au fonctionnement de l'entreprise, réduire les non conformités et dysfonctionnements

Les processus, ainsi que leurs liens et leurs interactions, sont représentés sur la cartographie des processus figure 9. Cette dernière contient la liste de l'intégralité des standards mis en œuvre et applicables.

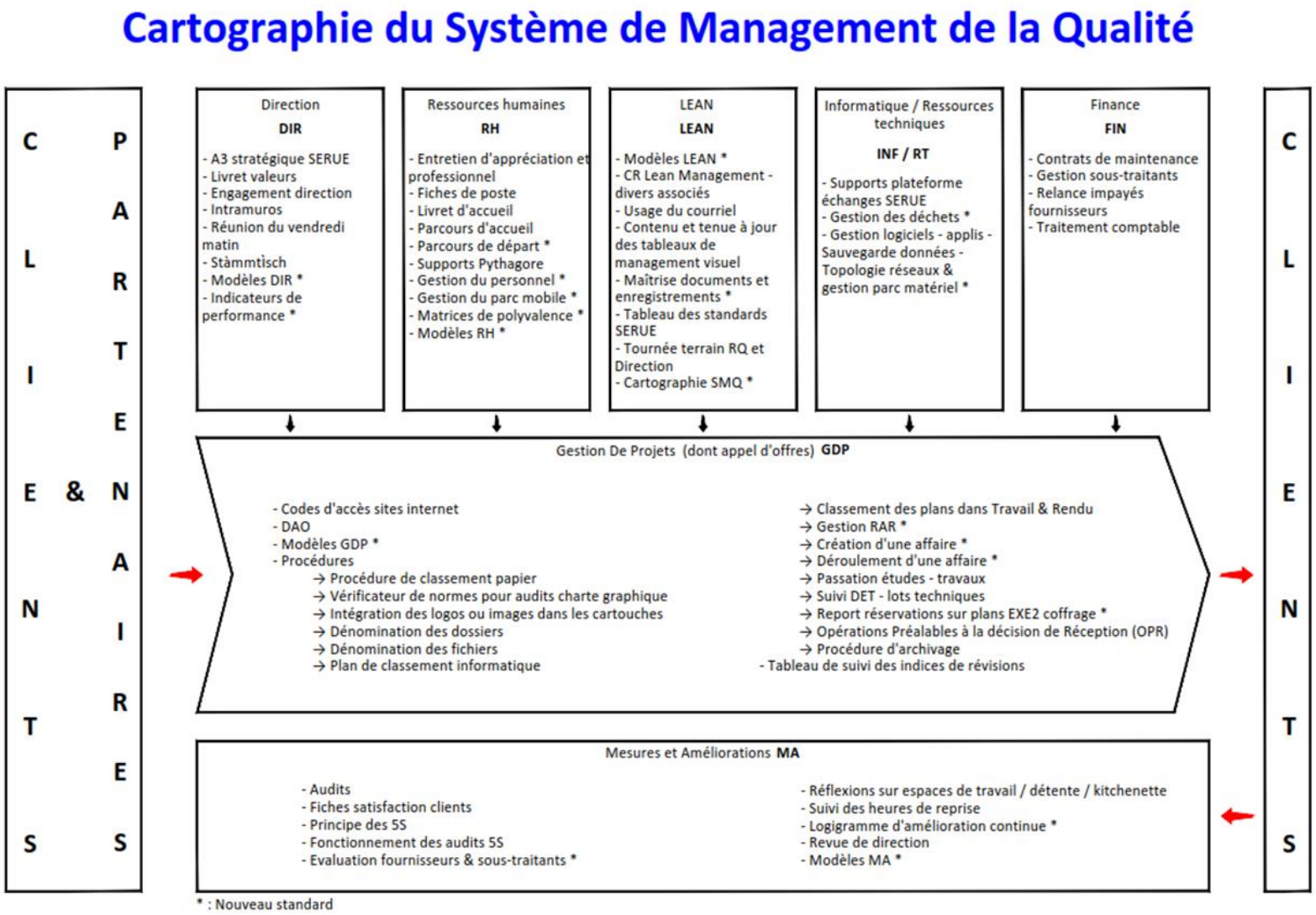


Figure 9 : Cartographie du système de management de la qualité de la société SERUE Ingénierie (source livret d'accueil de la société)

2.1.3.2. Amélioration continue

L'amélioration continue est basée sur le principe du PDCA (plan-do-check-act) **[12] (ASa Conseil, 2015**. Le cycle PDCA sert à transformer une idée en action et l'action en connaissance. La méthode comporte quatre étapes, chacune entraînant l'autre, et vise à établir une démarche circulaire répétitive :

- **P**lan : préparer, planifier
- **D**o : développer, réaliser, mettre en œuvre
- **C**heck : contrôler, vérifier ;
- **A**ct (ou Adjust) : agir, ajuster, réagir

Sa mise en place doit permettre d'améliorer sans cesse la qualité d'un produit, d'une œuvre, d'un service, etc comme le montre .la figure 10.

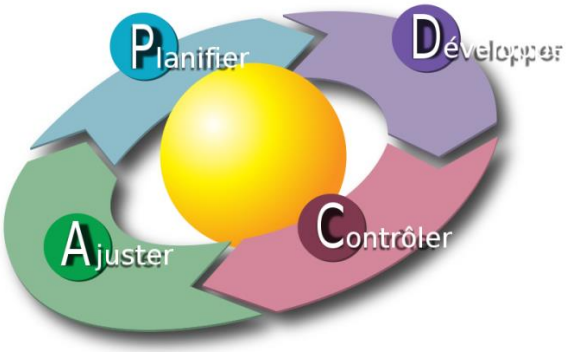


Figure 10 : Roue de Deming, transposition graphique de la méthode de gestion de la qualité dite **PDCA ([13] Lasnier, 2013)**

Les standards de l'entreprise sont améliorés en permanence par chaque collaborateur concerné. Cette démarche s'appuie sur les éléments suivants :

- Les tableaux de management visuels propres aux services, contenant notamment :
    - Les indicateurs de performance propres aux services
    - La remontée des irritants
    - Les idées d'amélioration
- Les tableaux de management visuel généraux contenant notamment :
    - Les indicateurs de performance de l'entreprise
    - Le traitement des idées d'amélioration et des remontées d'irritants
- Les résultats des fiches de satisfaction clients
- Les résultats des audits internes 5S, des audits d'affaires et du tableau des standards
- Les résultats de l'évaluation des fournisseurs
- Les revues de direction

SERUE Ingénierie bénéficie de la certification ISO 9001 depuis avril 2018. Conformément au référentiel, des audits de suivi sont prévus chaque année, ainsi qu'un audit de renouvellement à l'issue de la troisième année.
De plus, la mise en place, en interne, de réunions de suivi régulières du Système de Management de la Qualité permet de maîtriser l'efficacité du système mis en place.

2.1.3.3. Appliqué au BIM

La démarche qualité de SERUE Ingénierie est appliquée depuis plusieurs années dans tous les processus intégrants le schéma de nos méthodes de travail. C'est donc naturellement que les processus créés pour l'application du BIM ont également été établis dans le respect de cette démarche, dans une logique de standardisation et d'amélioration continue.

En se référant à la cartographie du système de management de la qualité de la société (cf. chapitre 2.1.3.1 du présent document), les processus liés ont été intégrés aux items suivants :

- Gestion de projet (**GDP**)
    - **DAO** (dessin assisté par ordinateur) : pour tous les standards créés pour l'utilisation du logiciel de modélisation
    - Modèles **GDP** : pour les modèles de pièces écrites (convention BIM)
    - Procédures : pour la dénomination des fichiers
- Mesures et améliorations (**MA**) : pour les outils de contrôle

2.2. Création d'un modèle de convention BIM

La réalisation d'un projet BIM requiert la définition préalable de l'ensemble des attentes tant au niveau des objectifs du maitre d'ouvrage, que des obligations des différents acteurs. Ces exigences sont exprimées dans la convention BIM.
Dans le cadre de ce mémoire, un modèle de convention BIM a été créé. Ce document permet d'établir, en amont des études, la ligne directrice du projet BIM.
Ce document a été créé à l'aide du « Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM » **([8] TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016)** édité par l'association Mediaconstruct.
Le contenu du modèle de convention BIM de SERUE Ingénierie (sommaire en annexe 1) est présenté dans la suite de ce chapitre.

2.2.1. Présentation générale

La première partie du document permet de présenter le cadre du projet :

- Objet de la convention
- Abréviations et glossaire
- Présentation succincte de l'opération. Cette partie inclut également la localisation du projet en vue de son géoréférencement, aspect important dans le système d'information BIM
- La liste des intervenants, présentée sous forme de tableau. Elle permet également de préciser quels acteurs sont inclus dans la démarche BIM

Fonction	Nom	Contribution BIM
Maitre d'ouvrage		*oui/non*
Maitre d'œuvre mandataire		
Bureau d'étude structure		
Bureau d'études fluides		
Contrôleur technique		
Etc.		

Tableau 1. : Convention BIM liste des intervenants

2.2.2. Les objectifs du projet

Afin d'éviter d'engager le projet dans des directions inutiles, il est important d'identifier les objectifs du maitre d'ouvrage, à retranscrire dans la convention :

- A quoi servira la maquette ?
    - Exploitation et maintenance du bâtiment
    - Réduire les erreurs de réalisation
    - Maitriser les coûts de construction
    - Utiliser comme support de communication
    - …
- Quelles informations doit contenir la maquette ?
    - Données techniques
    - Performances du bâtiment (structurelles, énergétiques…)
    - Caractéristiques des équipements
    - Données d'entretien
    - Quantités
    - …

2.2.3. Les usages BIM

Définir les usages BIM revient à décrire les processus, tels qu'ils devront être mis en œuvre dans le cadre du projet. Cela permet de factualiser les actions entreprises sur la maquette. Le guide méthodologique édité par Mediaconstruct définis 23 cas d'usage BIM (voir annexe 2) pouvant être intégrés à la convention.

Pour chaque usage sélectionné, on prendra le soin de définir les éléments suivants :

- La description de l'usage
- Les objectifs attendus à l'issue du processus
- Les acteurs intervenants dans le processus, avec leur niveau de contribution pour chaque phase
- Les données nécessaires à la réalisation du processus
- Les outils logiciels nécessaires
- Les compétences requises pour l'exécution du processus
- Une description des processus sous forme de synoptique, comme le montre l'exemple de la figure 11

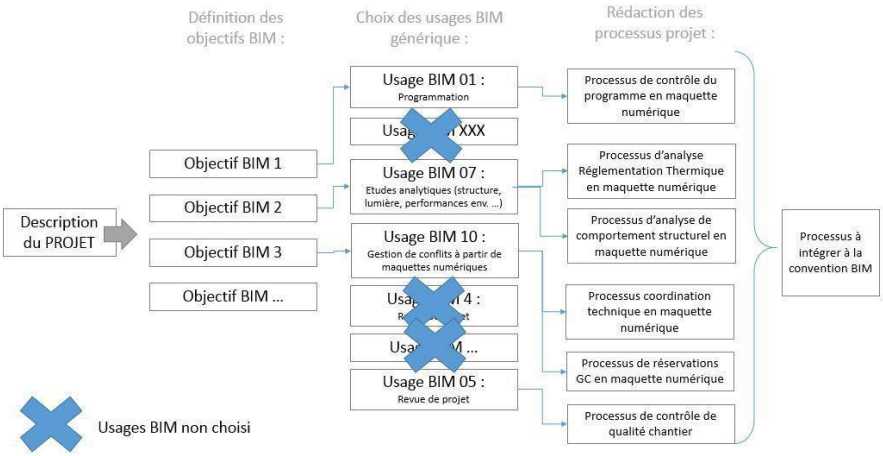


Figure 11 : Exemple de synoptique, pour le choix des processus **([8] TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016 chapitre 3.1)**

Ces objectifs sont ensuite organisés sous forme de tableau afin de préciser durant quelles phases de projet ils devront être mis en application, comme représenté dans le tableau 2.

Description des usages BIM	APS	APD	PRO	EXE	DOE	EXPL
Vérification du programme	X	X				
Modélisation de conception	X	X	X	X		
Communication du projet	X	X	X	X	X	X
Extraction des quantités et valeurs significatives	X	X	X	X	X	X
Revue de projet	X	X	X	X		
Modélisation des objets et gestion de leurs attributs	X	X	X	X		
Etudes analytiques			X	X		
Synthèse technique et architecturale			X	X		
Opérations préalables à la réception				X		
Consolidation du DOE numérique				X	X	
Gestion des ouvrages et équipements (GMAO)						X

Tableau 2. : Convention BIM liste des usages par phase

2.2.4. L'équipe BIM

Ce chapitre est dédié à la description de l'équipe BIM, on y retrouvera la composition de l'équipe, avec la définition des termes associés aux différents rôles :

- BIM manager
- Coordinateur BIM
- Modeleur BIM
- …

Dans ce chapitre est également représentée la chaine hiérarchique de l'équipe sous forme d'organigramme, ainsi que la répartition des tâches et leurs attributions par acteur, organisées sous forme de tableau comme montré en exemple dans le tableau 3 :

REPARTION DE TÂCHES TYPES DE L'EQUIPE BIM								
			Coordination BIM			Production BIM		
R = Réalise P = Participe		BIM Management	MOE	Entreprise	Autre contributeur	Producteur BIM MOE	Producteur BIM Entreprise	Autre producteur BIM
Direction de projet	Contrats	P						
	Veille technologique BIM	R						
	Processus et procédures BIM	R						
	Implémentation et déploiement BIM	R						
	Niveau de maturité BIM (évaluations, mesures correctives)	R						
	. . .							
Gestion de projet	Convention d'Exécution BIM	R						
	Comité de pilotage	P						
	Revue de projet	P						
	Revue de maquette	R	P					
	Revue de modèle		R			P	P	
	Coordination des modèles		R			P		
	Revue de synthèse (Mission de synthèse)		P					
	. . .							
Production	Création de contenu		R			P		
	Modélisation		R			P		
	Livrables		R			P		
	. . .							

Tableau 3. : Répartition des tâches de l'équipe BIM **([8] TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016 chapitre 4.3)**

2.2.5. Standardisation de la modélisation

Dans ce chapitre est définie la charte commune pour la production des différents éléments :

- Codification de nommage (exemple : *projet _ phase _ émetteur _ numéro de lot _ niveau _ zone _ type de document _ numéro d'ordre _ indice)*
- Découpage des modèles (taille maximale recommandée par fichier)
- Coordonnées et orientation du projet (géolocalisation suivant une référence unique)
- Les unités de mesure (unités communes à chacun)
- Niveaux de détail et d'information (LOD)
    - Niveau graphique et géométrique
    - Niveau d'information des données
- Liens vers des bases de données externes au modèle
    - Programme immobilier
    - Bases de données industrielles
    - Rapports de visite
    - …

2.2.6. Processus BIM

Dans le cadre de la convention BIM sont également définis les processus permettant d'assurer les échanges d'information. On retrouve dans ce chapitre, les éléments suivants :

- La définition de l'environnement collaboratif
    - Serveur
    - Réseau privé virtuel (VPN)
    - Plate-forme d'échange
- L'environnement logiciel
    - Les outils de modélisation, qui peuvent varier suivant les métiers
    - Les outils de visualisation
    - Les formats d'échange
- Les processus de diffusions et de classement des informations sous forme de sous dossiers, avec la définition des droits d'accès de chaque contributeur
    - Travail en cours
    - Partage
    - Publication
    - Archivage
    - …
- La planification des revues de projet
    - Démarrage
    - Avancement
    - Contrôle des processus
    - Revue de maquette
- Définition des dates d'échéances des différentes étapes, en accord avec le planning d'étude

- La gestion des livrables
    - Plans, coupes…
    - Pièces écrites, quantitatifs...
    - Maquette de visualisation
    - DOE numérique
    - …

2.3. Outil de modélisation

La maquette numérique est aujourd'hui indissociable du processus BIM. SERUE Ingénierie est équipé de REVIT, un logiciel de modélisation, depuis 2013.

2.3.1. Présentation du logiciel REVIT

REVIT est un logiciel édité par la société américaine Autodesk. Il permet de créer un modèle de bâtiment en 3 dimensions et de produire les divers documents nécessaires à sa construction (plan, perspective, ...)

Par son approche paramétrique, le logiciel REVIT s'inscrit parfaitement dans la démarche BIM. Il comprend des fonctionnalités pour la conception architecturale, l'ingénierie MEP (Mechanical, electrical, and plumbing), l'ingénierie structure et la construction. Il permet également la coordination entre les disciplines.
Lors de la modélisation d'un projet, REVIT permet de créer des relations entre les différents éléments. Le logiciel vérifie, gère et coordonne l'ensemble de ces données paramétriques (dimensions, contraintes, matériaux, etc.).

2.3.2. La classification des éléments

Afin d'appréhender de manière concrète la suite du chapitre, il est important de comprendre comment le logiciel REVIT définit les composants d'un modèle numérique. Dans le cas d'un logiciel de DAO classique comme Autocad, les composants sont des blocs, qui en règle générale, fonctionnent sur une logique individuelle.
Les éléments présents dans une maquette Revit ont chacun une identité et contiennent des informations paramétriques pouvant être exploitées.

Revit classe chaque composant du modèle selon trois niveaux d'information :
- Sa catégorie, groupe généraliste auquel appartient l'élément (exemple, équipement de plomberie, accessoire de canalisation, accessoire de gaine…)
- Sa famille, c'est l'élément en lui-même, en quelque sorte le descendant du bloc autocad. Dans REVIT, absolument tous les éléments constituants la maquette numérique appartiennent à une famille, que ce soit un mur, une chaudière ou même des annotations comme un texte, un trait de coupe ou une cotation par exemple
- Son type, définit les caractéristiques de l'élément (exemple, puissance, débit, pertes de charges, dimensions…)

Les termes objet, élément, composant, occurrence, entité reviennent fréquemment dans le logiciel, cependant ces termes sont similaires.

La figure 12 illustre cette logique de classification avec l'exemple d'une chaudière et d'une centrale de traitement d'air.

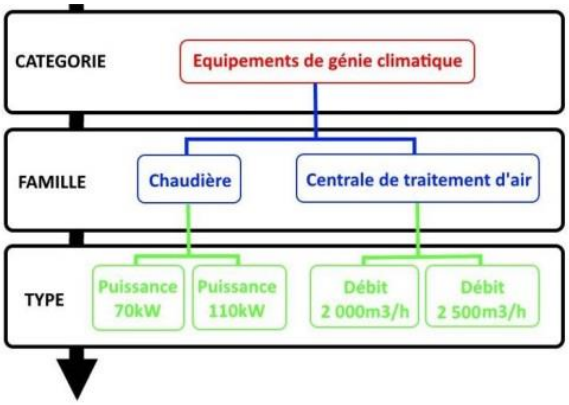


Figure 12 : Classification des éléments dans le logiciel REVIT

2.3.3. Standardisation du gabarit REVIT

2.3.3.1. Préambule

La conception d'un projet induit l'utilisation d'une multitude d'éléments. Nous avons vu précédemment que ces éléments appartiennent à des familles.
Le gabarit est en quelque sorte une synthèse de tous les éléments nécessaires à la réalisation du modèle.
L'un des objectifs de ce mémoire est l'optimisation du temps de travail par l'élaboration d'un gabarit regroupant tous les paramètres définis suivant les standards de l'entreprise, l'organisation et le classement des éléments dans REVIT, les représentations graphiques des éléments, les familles chargées...

Ce gabarit, tout en étant évolutif, est utilisé et mis à jour au fil des projets. Le temps investi dans sa création représente autant de temps économisé pour les conceptions futures.

2.3.3.2. Etapes préparatoires

2.3.3.2.1. Création de sous projets

Revit permet à plusieurs utilisateurs de travailler simultanément sur un même projet. Ce travail en équipe impose de disposer d'un réseau afin d'y enregistrer le fichier central. Des sous-projets sont créés dans ce fichier et chaque collaborateur travaille ensuite, en local, sur le sous-projet qui lui a été attribué, permettant l'échange et la synchronisation des données.
Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour la synthèse des lots techniques, réseaux CVC, sanitaires, électricité, gestion des demandes de réservations dans les ouvrages de gros œuvre.

La figure 13 ci-après représente la fenêtre de gestion des sous-projet du logiciel Revit, on y retrouve leur dénomination par lot ainsi que les paramètres pour la gestion des droits d'utilisation.

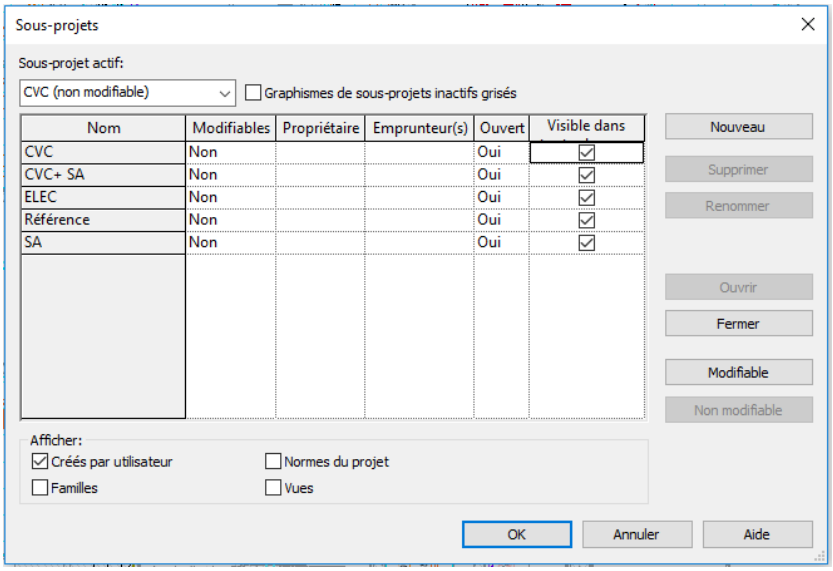


Figure 13 : Logiciel REVIT, fenêtre de gestion des sous-projets

2.3.3.2.2. Gestion de l'arborescence du projet

L'interface de Revit contient l'intégralité des vues, nomenclatures, feuilles, et autres parties du projet actif et ce pour chaque utilisateur du fichier. La quantité d'éléments présents dans le fichier peut donc rapidement polluer l'exploitation des données par manque d'organisation, particulièrement quand plusieurs personnes exploitent le fichier.
La gestion de l'arborescence du projet permet d'organiser ces éléments en fonction de paramètres définis par les utilisateurs.

La figure 14 ci-après montre l'organisation de cette arborescence pour un projet SERUE. Les éléments sont classés en fonction de leur corps de métier (par lots). De plus, leur nomination permet un classement croissant en fonction de leur numérotation.

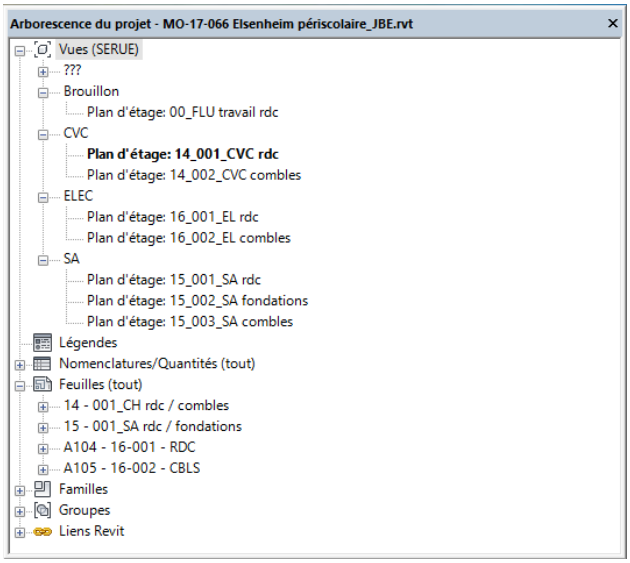


Figure 14 : Logiciel REVIT, arborescence du projet

2.3.3.3. Eléments de rendu

2.3.3.3.1. Cartouche de plan

Le cartouche de plan est l'un des éléments qui, pour un projet spécifique, doit être commun à tous les lots. Au commencement de chaque projet, un cartouche est créé, puis mis à jour à chaque phase. Ce cartouche contient des informations figées (exemple : maitre d'ouvrage, membres de l'équipe de maitrise d'œuvre, dénomination du projet, logos…). Il comprend également des informations propres au plan en question et renseignées lors de l'élaboration de la feuille de présentation (exemple : intitulé du lot, étage, numéro de plan, indice de révision…)

2.3.3.3.2. Légende de plan

Comme le cartouche, la légende de plan est indissociable du rendu graphique. Ainsi, des légendes types ont été créées et sont intégrées et adaptées aux feuilles de présentation.

2.3.3.3.3. Visibilité des vues

Revit permet d'appliquer un gabarit sur les vues créées. Un gabarit de vue est un ensemble de propriétés permettant de définir le niveau de détail et les paramètres de visibilité.
Ces gabarits sont utilisés pour appliquer des paramètres standards aux vues. Les gabarits de vues permettent de garantir le respect de la charte graphique et d'assurer la cohérence du rendu de l'ensemble des documents.
Chaque gabarit est créé en fonction de l'utilisation souhaitée (plan d'étage, élévation, coupes, vue 3D, etc.)

La figure 16 ci-dessous représente la fenêtre de propriétés des gabarits de vue du logiciel. A gauche de l'image on retrouve la liste des gabarits de vue créés. Sur la partie de droite, les paramètres sur lesquels on peut agir, avec notamment :

- L'échelle du plan
- Le niveau de détail des graphismes
- Les paramètres de visibilité graphique

Les paramètres de visibilité graphique d'une vue définissent si les éléments et catégories sont visibles dans la vue ainsi que leur apparence graphique (couleur, épaisseur de ligne et type de ligne). L'état de la visibilité et l'apparence de chaque catégorie peuvent être modifiés pour chaque gabarit, on pourra donc agir :

- Sur les éléments importés (maquette architecte, fichiers .dwg, fichier IFC…)
- Sur les sous-projets (afficher un seul sous-projet pour la création d'une vue par lot)
- Sur les annotations (traits de coupe, quadrillages…)
- Sur chaque famille (par catégorie de famille ou par filtre)
- …

Enfin une case permet d'inclure ou d'exclure un paramètre du gabarit. Ainsi par exemple on peut exclure le paramètre « plage de vue » (défini l'ensemble de plans horizontaux qui contrôlent la visibilité et l'affichage des objets dans la vue en plan), pour un gabarit appliqué à plusieurs étages.

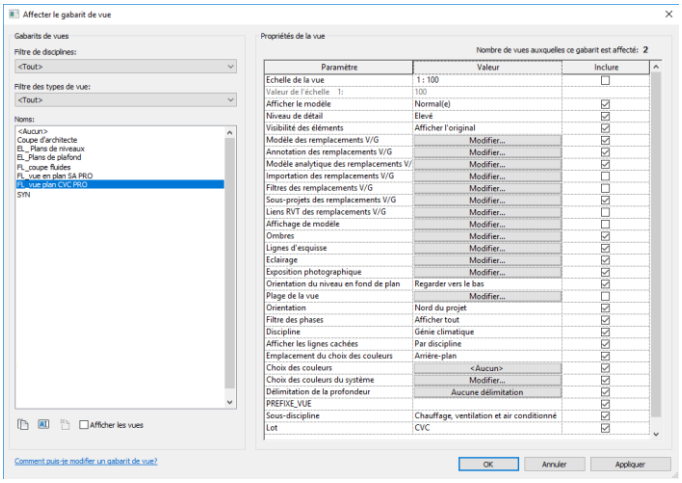


Figure 15 : Logiciel REVIT, propriétés des gabarits de vue

2.3.3.4. Eléments techniques

2.3.3.4.1. Equipements

La maquette Revit contient l'ensemble des équipements intégrés au projet, ces équipements sont définis par une représentation graphique ainsi qu'un ensemble de données paramétriques.
Avec l'essor du BIM, plusieurs bibliothèques contenant des familles d'équipements ont vu le jour et sont disponibles en ligne. Ces familles sont créées en collaboration avec les industriels fabricants.
L'utilisation de ces familles présentent plusieurs inconvénients :

- Les paramétrages de ces familles peuvent aller à l'encontre des standards de modélisation de l'entreprise.
- La famille peut contenir des données superflues alourdissant considérablement la maquette (niveau de détail trop important).
- Certains équipements sont produits en fonction des données de sélection de manière sur-mesure (c'est le cas des centrales de traitement d'air par exemple), il est donc peu probable de les retrouver dans des bibliothèques contenant des éléments produits en série.

Si dans certains cas, il est intéressant d'utiliser ces bibliothèques (cf. chapitre 3 du présent document), afin d'éviter les opérations fastidieuses et chronophages que nécessite la création d'une famille complexe. Pour des familles plus simples il est plus judicieux de créer un simple parallélépipède auquel on ajoute des données paramétriques utiles et modifiables, et pouvant être réutilisées à l'infini.

Ci-dessous un exemple de création de famille pour une centrale de traitement d'air simple flux. Une fois la modélisation en 3 dimensions de l'équipement réalisée (cf. figure 16 ci-dessous), les renseignements (cotes, débit,) seront paramétrables depuis la maquette suivant le modèle installé.

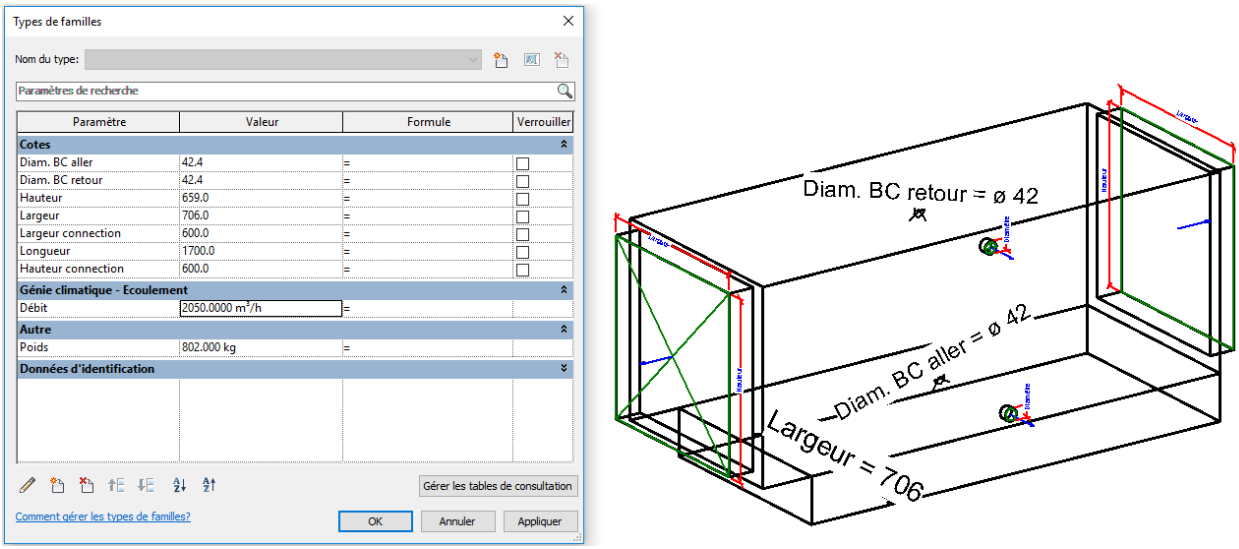


Figure 16 : Logiciel Revit, étape de création d'une centrale de traitement d'air simple flux

2.3.3.4.2. Distributions des fluides

Les distributions hydrauliques et aérauliques sont modélisées dans la maquette Revit. Les propriétés de ces réseaux de distribution nécessitent également un paramétrage préalable. Ainsi, pour chaque type de réseau, est défini :

- Les préférences d'acheminement :
    - Dimensions considérées
    - Type de coude
    - Type de jonction (té ou piquage)
    - …

Dans le cas des distributions hydrauliques, il est également possible de déterminer :

- Le matériau utilisé (cuivre, acier, fonte…) en renseignant le diamètre nominal, intérieur et extérieur (cf. annexe 3)
- Le type de fluides qui transitera dans la tuyauterie, avec un tableau paramétrique contenant les informations de densité et de viscosité dynamique en fonction de la température (cf. annexe 4)

2.3.3.4.3. Familles système

L'ensemble des distributions hydrauliques et aérauliques ainsi que les équipements intégrés à ces distributions, sont affectés à des systèmes. A chaque système correspond un circuit, suivant la configuration de conception, avec par exemple les systèmes suivants :

- air neuf
- air soufflé CTA 1
- air repris CTA 2
- circuit radiateur aller
- eau froide Sanitaire
- eau chaude sanitaire
- eaux usées
- …

La figure 17 ci-dessous représente la fenêtre de propriétés, pour la création d'un système de canalisation. On y retrouve le type de système (chauffage aller circuit radiateur), le type de fluide avec ses propriétés physiques du fluide et également les paramètres de visibilité pour le rendu graphique.

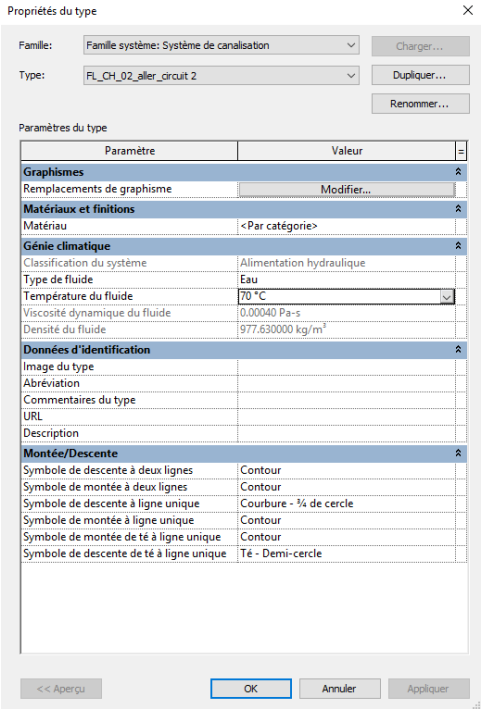


Figure 17 : Logiciel REVIT, fenêtre de propriétés pour un système de canalisation

2.3.3.4.4. Etiquettes d'annotations

Revit permet de générer des étiquettes pour identifier les éléments du dessin. Une fois le type d'étiquette sélectionné, chaque élément de la vue peut être annoté d'un simple clic. L'exploitation de cette fonctionnalité engendre un gain de temps considérable, les familles d'étiquette sont préalablement paramétrées permettant d'éviter les saisies de texte.
Des étiquettes personnalisées ont été créées pour répondre aux standards de dessin :

- Les équipements :
    - Production de chaleur ou de froid (dénomination/ puissance)
    - Réservoir de stockage (dénomination/ capacité)
    - Les terminaux de chauffage ou de rafraichissement (type/ puissance)
    - Les terminaux de ventilation (type/ débit)
    - Eléments divers : accessoires de canalisation, de gaine… (dénomination)
- Les canalisations
    - Fluides de chauffage ou de rafraichissement (diamètre nominal/ altimétrie)
    - Fluides sanitaires : eau froide, eau chaude sanitaire, bouclage d'eau chaude sanitaire (matériaux/ diamètre/ altimétrie)
    - Fluides d'évacuation : eaux usées, eaux vannes, eaux usées grasses, eaux pluviales (matériaux/ diamètre/ altimétrie/ pente/ fil d'eau)
- Les gaines de ventilation (diamètre ou dimensions/ débit véhiculé)

2.3.3.5. Nomenclatures

Les paramètres et leurs valeurs peuvent être récupérés et exploités sous forme de tableaux, appelés nomenclatures. Ces nomenclatures constituent un outil puissant et complémentaire à la modélisation, l'aspect paramétrique de Revit prend toute sa signification à travers ces nomenclatures et offre une nouvelle dimension de travaille en plus du dessin 3D.
Cependant la manipulation des informations contenues dans les nomenclatures, directement depuis Revit est peu pratique. Des outils permettent de réaliser des exports d'informations de Revit vers Excel, avec la possibilité de profiter des fonctionnalités d'un tableur (copier/coller, filtres, formules…). De plus, les informations créées ou modifiées dans Excel peuvent ensuite être réintroduites dans Revit entrainant une mise à jour instantanée de la maquette numérique.

Nous utilisons principalement ces nomenclatures pour exploiter les informations suivantes :
- listing des locaux avec : localisation, surface, volume, débits hygiéniques…
- quantités : gaines, tuyauteries, terminaux de ventilation ou de chauffage…

2.4. Fiches de procédures.

Dans le respect de la démarche d'amélioration continue de SERUE Ingénierie, les standards sont consignés sous forme de fiches de procédure, afin de garantir une homogénéisation des méthodes de travail. Pour chaque fiche, les points suivants sont définis :
- l'objet de la procédure
- le domaine d'application ainsi que le public concerné
- les objectifs de la procédure
- la localisation sur le serveur informatique, des fichiers concernés par la procédure
- la description exhaustive de la procédure
- les modalités de tenue à jour de la procédure (si évolutives durant les phases d'études)

2.5. Conséquences de la démarche BIM

2.5.1. Pour le Maitre d'Ouvrage

Comme le montre la figure 18, l'exploitation et la maintenance technique d'un bâtiment représentent 75% de son coût global, pour la totalité de sa durée de vie.
Si la maquette numérique, offre un support de communication intéressant en phase d'étude, le réel intérêt du maitre d'ouvrage à s'investir dans une démarche BIM se trouve après la construction, pour la gestion technique du bâtiment.

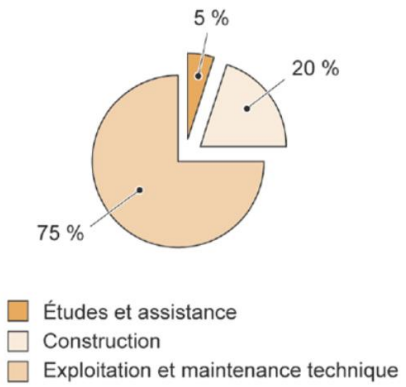


Figure 18 : Décomposition du coût global d'un bâtiment en fonction de ses étapes de **vie ([14] RENOU, 2015)**

Dans le cadre de notre activité, nous avons été missionnés par le parlement Européen, pour la création d'une maquette numérique du bâtiment HAV situé à Strasbourg, en vue de son exploitation.

La structure, les éléments architecturaux, ainsi que les équipements techniques du bâtiment ont été modélisés sur la base des plans DOE des entreprises. La figure 19 représente la vue en 3 dimensions de la maquette technique.

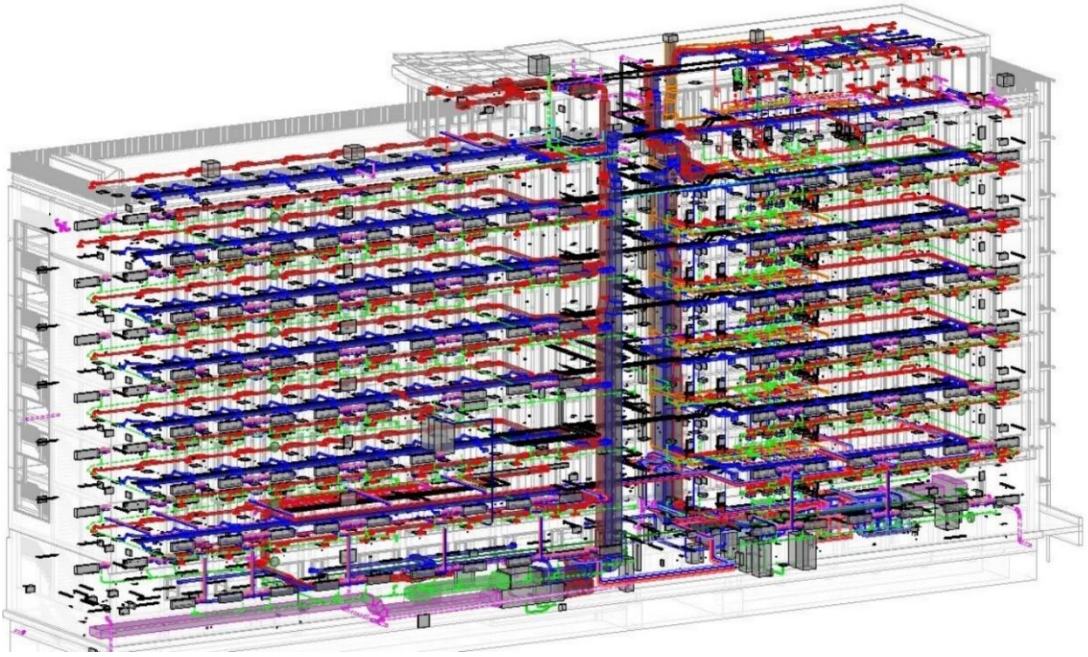


Figure 19 : Bâtiment HAV, maquette technique, vue 3D

Les éléments de la maquette sont ensuite renseignés avec les attributs utiles à l'exploitation du bâtiment. Ces attributs sont définis par la convention BIM, et propres à chaque type d'éléments. Le tableau 4 répertorie les attributs demandés pour un diffuseur d'air. On y retrouve les informations concernant le standard IFC, ainsi que les caractéristiques à renseigner, avec leurs modalités de saisie.

Objet	Classe IFC	Caractéristique décrite	Ifc Standard	Regroupement	Attribut IFC	Property type	Type	Valeur
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Etage de pose, liens fonctionnels						
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Code	NON	Pset_ManufacturerOccurrence		BarCode	Texte	alphanumériqu
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Type de flux	NON	Pset_AirTerminalOccurrence		AirflowType	Texte	texte
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Type de montage	NON	Pset_AirTerminalCommon		MountingType	Texte	texte
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Finition	NON	Pset_AirTerminalCommon		FinishType	Texte	texte
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Lien vers les fiches techniques DOE	NON	Pset_EnvironmentalImpactIndicators		FunctionalUnitReference	Texte	lien hypertexte
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Durée de vie	NON	Pset_ServiceLife		ServiceLifeDuration	Réel	nbre d'années
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Date d'installation	NON	Pset_ManufacturerOccurrence		AcquisitionDate	Date	date
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Référence fabricant	NON	Pset_AirTerminalCommon		Reference	Texte	alphanumériqu
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Description	OUI		Description		Texte	alphanumériqu
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Coût de remplacement	OUI		ReplacementCost		Réel	valeur
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Coût de maintenance	OUI		MaintenanceCost		Réel	valeur
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Entité	OUI		Entity		Texte	alphanumériqu
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Valeur stratégique	OUI		StrategicValue		Texte	booléen
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Etat de l'équipement	OUI		State		Texte	texte
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Fonction (famille)	OUI		Function		Texte	alphanumériqu
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Périodicité d'entretien	OUI	attribut FM	MaintenancePeriod			alphanumériqu
CVC - appareillage	IfcAirTerminal	Dernier entretien	OUI	attribut FM	MaintenanceLast			date

Tableau 4. : Inventaire des attributs à créer pour un diffuseur d'air

La maquette, une fois modélisée et renseignée, est exportée au format IFC, puis exploitée par le Maitre d'Ouvrage par l'intermédiaire d'un logiciel de gestion de patrimoine.

2.5.2. Pour le Maitre d'Œuvre

2.5.2.1. Coût des modifications

La figure 20 représente la courbe de Patrick MacLeamy. On retrouve en abscisse l'évolution du projet dans le temps, à travers les différentes phases et en ordonnée la notion de coût et d'effort.

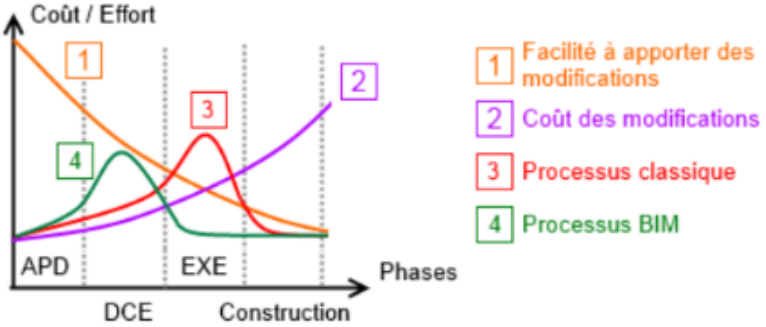


Figure 20 : Courbe de Patrick MacLeamy **([14] RENOU, 2015)**

La courbe de Patrick MacLeamy met en avant le fait que plus une modification arrive tard dans l'avancement du projet, plus la difficulté à intégrer cette modification est importante, de même que le coût qui en résulte. (courbes 1 et 2)
Pour un processus classique, on remarque que la part importante des modifications apparait en phase d'exécution (courbe 3). En revanche pour un processus BIM, cette part intervient en amont, en phase DCE et engendre donc moins d'effort et de coût pour être intégrée (courbe 4).
Cependant, il est relativement difficile de quantifier cette économie. Les aléas de chantier sont spécifiques à chaque opération et dépendent de multiples facteurs (erreurs de conception, niveau d'implication des intervenants, retards…).

2.5.2.2. Modélisation

L'exploitation d'une maquette aboutie par le maitre d'ouvrage est le fruit d'un travail réalisé en conception par l'équipe de maitrise d'Œuvre. Le niveau de détail imposé par la démarche BIM engendre inéluctablement un déploiement de moyens supplémentaires lors des études.
Si l'on peut admettre un réel intérêt en termes de fiabilité pour l'exécution du chantier, il est nécessaire de quantifier le temps investi pour l'aboutissement de la maquette afin de maitriser les moyens mobilisés en phase d'étude.
L'un des objectifs de ce mémoire est d'organiser une approche permettant d'évaluer le temps nécessaire à la modélisation d'un bâtiment sur Revit, afin d'en estimer les implications, en particulier sur les honoraires de maitrise d'œuvre et sur le planning des charges.

2.5.2.2.1. Hypothèses pour l'estimation de la durée de modélisation

Désormais, pour chaque projet réalisé, le temps passé est enregistré. A ce jour, trois projets sont concernés :

- le périscolaire d'Elsenheim :
  - phase PRO-DCE

  - modélisation de l'ensemble des installation technique
- le groupe scolaire Simone Veil à Strasbourg :
  - phase APD
  - modélisation de 5 locaux types
  - modélisation des cheminement verticaux et organisation spatial des cheminements horizontaux
  - maquettage des locaux techniques
- le bâtiment HAV du parlement Européen de Strasbourg
  - modélisation des installations techniques sur la base du dossier des ouvrages exécutés

Les informations concernant chaque projet sont consignées sous forme de tableau comme le montre le tableau 5. Une colonne est dédiée à la description sommaire du bâtiment.

Projet	**Description sommaire**	**Surface**	**Temps (fluides)**	**Ratio indicatif**
Périscolaire d'Elsenheim	Simple RDC, reproductibilité très faible	507 m²	6 jours	0,012 jour/m²
Groupe scolaire Simone Veil	Un bâtiment existant réhabilité sur 6 niveaux, une extension neuve sur 2 niveaux, reproductibilité faible	3 750 m²	7 jours	0,002 jour/m²
Bâtiment HAV du parlement Européen	Bâtiment de bureaux, niv. -2 à +6, reproductibilité élevée des niveaux 0 à +5	5 200 m²	15 jours	0,003 jour/m²

Tableau 5. : Suivi de la durée de modélisation

L'analyse des deux projets dont l'ensemble des installations a été modélisée (périscolaire et bâtiment HAV, le groupe scolaire n'étant modélisé que partiellement, en phase APD), nous permet de mettre en avant une hypothèse majeure. En effet, au regard du ratio indicatif (jour/m²), on constate que pour un bâtiment plus de 10 fois plus petit (5 200m²/507m²) le ratio est à l'inverse 4 fois plus élevé. Afin d'estimer la durée de modélisation d'un bâtiment, il est donc nécessaire de prendre en compte la complexité de ce dernier.
Le guide à l'intention des maîtres d'ouvrage publics pour la négociation des rémunérations de maîtrise d'œuvre **([15] MOP, 2008)**, édité dans le cadre de la loi MOP, donne des éléments pour l'évaluation de la complexité d'un projet, qui se traduira par l'analyse des facteurs présentés en figure 21.

A.1.	**Les éléments de complexité liés aux contraintes physiques du contexte et à l'insertion du projet dans l'environnement**
1.	Qualité du sol et du sous-sol.
2.	Contraintes physiques.
3.	Existence de nuisances.
4.	Existence de risques.
5.	Situation du terrain.
6.	Contexte urbain.
7.	Contexte réglementaire.
A.2.	**Les éléments de complexité liés à la nature et à la spécificité du projet**
1.	Multiplicité et imbrication des fonctions.
2.	Typologie et répétitivité.
3.	Adaptabilité et modularité.
4.	Caractère d'innovation et d'expérimentation.
5.	Niveau de performances.
6.	Présence de difficultés techniques.
7.	Technicité des installations.
8.	Etendue des compétences nécessaires.

A.3.	**Les éléments de complexité liés aux exigences contractuelles**
1.	Organisation de la maîtrise d'ouvrage.
2.	Qualité du programme.
3.	Demande de prestations supplémentaires.
4.	Phasage des études et des travaux.
5.	Délai des études et des travaux.
6.	Exigences économiques.
7.	Taux de tolérance.
8.	Emploi de méthodes ou d'outils particuliers.
9.	Mode de dévolution des travaux.
10.	Gestion des variantes.
11.	Sujétions de chantier-déplacements.
12.	Conditions contractuelles spéciales.

Figure 21 : Eléments de complexité **([15] MOP, 2008, première partie tableau A)**

Toujours dans le même guide, des plages de coefficients de complexité sont présentées en fonction du type de bâtiment, comme le montre la figure 22.

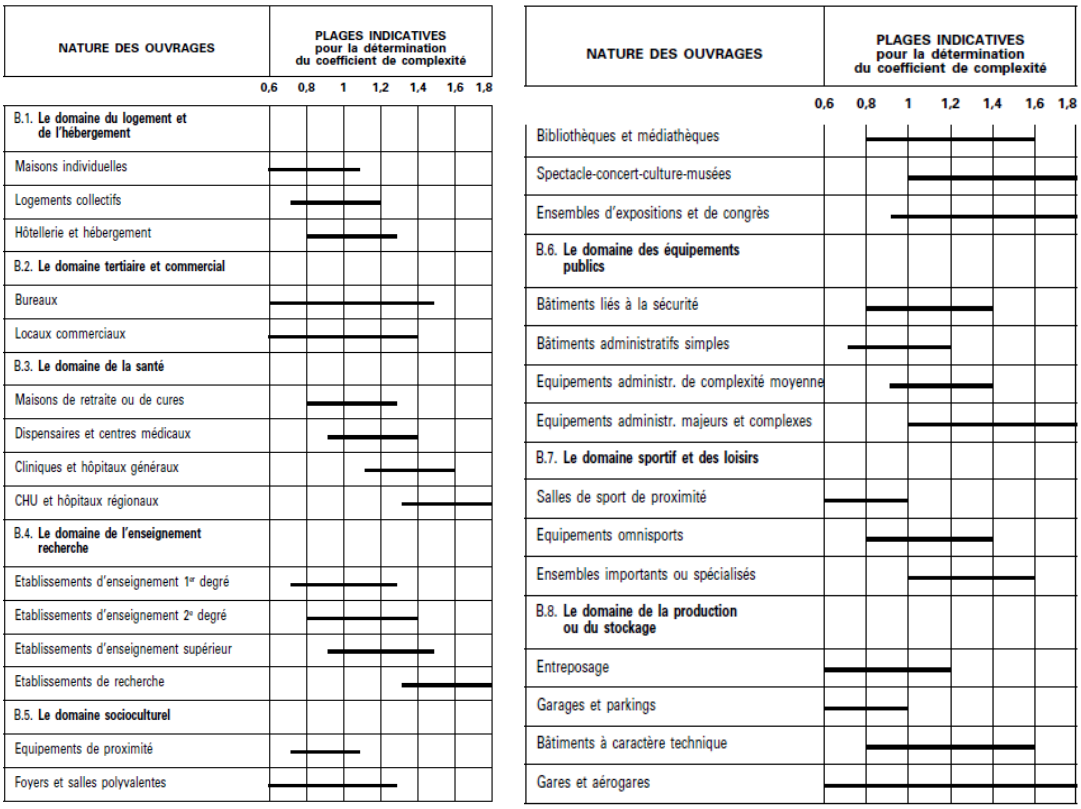


Figure 22 : Coefficient de complexité **([15] MOP, 2008, première partie tableau B)**

2.5.2.2.2. Estimation de la durée de modélisation

L'expérience accumulée nous permet désormais d'estimer le temps à investir dans la modélisation d'une maquette. Le tableau 6 présente, pour 5 projets différents, le temps nécessaire par phase et par service.
Les valeurs apparaissant dans les cases **bleues**, sont des valeurs mesurées dans le cadre de projet réalisés.
Les valeurs apparaissant dans les cases **vertes**, sont des valeurs estimées.
Un coefficient de complexité a été attribué dans chaque cas, cela permet d'émettre des tendances hautes et basses en fonction de la difficulté que représente le projet.

La répartition du temps entre les phases est réalisée sur la base d'hypothèses recueillis auprès d'un bureau d'étude confrère, spécialisé dans la modélisation de maquettes REVIT, à savoir :

- la modélisation des lots techniques (fluides et électricité) intervient à partir de la phase APD
- en phase APS, le temps investi pour la structure est d'environ 5% du temps global dédié au gros Œuvre
- en phase d'étude, la répartition du temps est d'environ 40% pour l'APD et 60% pour le PRO
- la durée nécessaire à la modélisation en phase EXE et relativement proche de celle nécessaire à la modélisation en phase PRO

Type de projet			Périscolaire				Laboratoire				Groupe scolaire				Bureaux				Learning centre			
Coefficient de complexité			1,3				1,5				1,2				1,1				1,6			
Phase d'études			APS	APD	PRO	EXE	APS	APD	PRO	EXE	APS	APD	PRO	EXE	APS	APD	PRO	EXE	APS	APD	PRO	EXE
Durée de modélisation	Fluides		0 j	4 j	**6 j**	6 j	0 j	8 j	11 j	11 j	0 j	**7 j**	10 j	10 j	0 j	10 j	**15 j**	15 j	0 j	17 j	25 j	25 j
	Electricité		0 j	2 j	**4 j**	4 j	0 j	4 j	8 j	8 j	0 j	**5 j**	8 j	8 j	0 j	7 j	**11 j**	11 j	0 j	12 j	18 j	18 j
	Structure		1 j	6 j	10 j	10 j	2 j	10 j	15 j	15 j	2 j	**13 j**	20 j	20 j	3 j	12 j	**18 j**	18 j	5 j	20 j	**30 j**	30 j
	TOTAL		**53 j**				**92 j**				**102 j**				**120 j**				**200 j**			
	Complexité seuil bas	0,6	24 j				37 j				51 j				65 j				75 j			
	Complexité seuil haut	1,8	73 j				110 j				153 j				196 j				225 j			
Surface utile			507 m²				1 900 m²				3 750 m²				5 200 m²				6 600 m²			

Tableau 6. : Estimation de la durée de modélisation d'un projet sur REVIT

A partir de ces valeurs nous pouvons représenter l'évolution du temps passé en jours, en fonction de la surface utile et de la complexité du bâtiment, comme le montre les courbes de la figure 23.

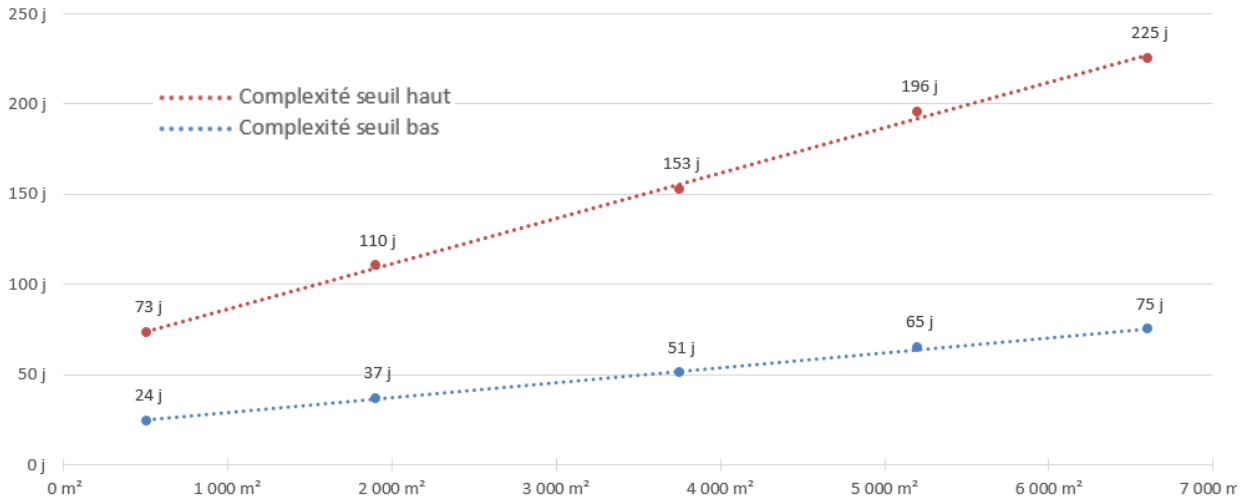


Figure 23 : Estimation de la durée de modélisation en fonction de la complexité et de la surface utile du bâtiment

2.5.2.2.3. Modélisation classique / modélisation BIM

La maquette numérique BIM est par définition plus détaillée qu'un processus classique avec production de plans 2D. Il est intéressant de comparer le temps investi à la réalisation d'un projet sur AutoCAD au temps nécessaire à l'élaboration d'une maquette numérique, pour ce même projet.

Le figure 24 présente le temps nécessaire à la production de l'ensemble des pièces graphiques, tous services et toutes phases d'études, pour un processus classique et pour un processus BIM. Un bâtiment de 2 800m², intégrant un coefficient de complexité de 1,5 a été pris en exemple.

En bleu est représenté le temps mesuré pour un projet de groupe scolaire.
La valeur de la barre rouge est déterminée sur la base de la méthode d'estimation présentée dans le chapitre précédent (figure 30).

Pour cet exemple, la modélisation sur REVIT nécessite environ 14% de temps en plus, soit 17 jours supplémentaires par rapport à une méthode classique. Ceci est peu au regard du bénéfice qu'apporte l'exploitation de la maquette.
A l'origine, pour les modélisations des premiers projets avec REVIT, le constat était au contraire déplorable, avec un temps investi par affaire pouvant être 5 à 10 fois supérieur à une méthode classique, pour un rendu graphique inférieur. Avec le temps, la pratique a permis une maitrise de cet outil et de compenser en partie le temps supplémentaire consacré à l'élaboration d'une maquette en 3 dimensions.

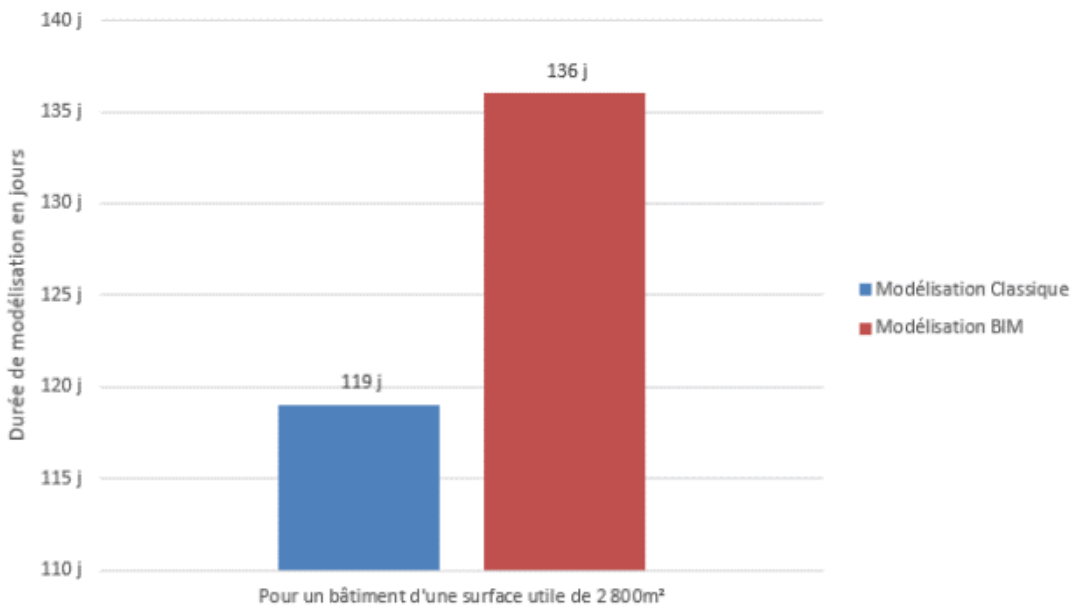


Figure 24 : Comparatif de la durée de modélisation, entre une méthode classique et une méthode BIM

2.5.3. Conception

Le logiciel Revit offre la possibilité d'exploiter plusieurs outils de conception. Ces outils ont pour but d'optimiser le temps investi dans les phases d'études. Afin de quantifier ce gain de temps, il est intéressant d'analyser la durée nécessaire à l'accomplissement de ces taches, dans le cas d'un processus classique.

Le tableau 7, présente pour 3 projets différents, le temps nécessaire à la réalisation des étapes suivantes :

- calcul règlementaire : saisie de l'enveloppe du bâtiment de manière manuelle, sur un logiciel de calcul
- dimensionnement des réseaux HVAC : dimensionnement manuel de chaque entité, à partir d'abaques
- dimensionnement des réseaux sanitaires : dimensionnement manuel, à l'aide d'une feuille de calcul Excel
- calcul de pertes de charges : calcul manuel, à l'aide d'une feuille de calcul Excel
- métrés : inventaire manuel de chaque entité, sur la base de plans papier

Comme pour l'estimation de la durée de modélisation, nous introduisons un coefficient pour la prise en compte de la complexité du projet (cf. chapitre 2.6.2.2.2 du présent document).

Type de projet			Internat	Bibliothèque	Hôpital
Coefficient de complexité			0,8	1,4	1,8
Durée : - calcul règlementaire - dimensionnements - calcul Pdc - quantitatifs	**TOTAL**		**5,0 j**	**14 j**	**51 j**
	Complexité seuil bas	0,6	3,8 j	6 j	17 j
	Complexité seuil haut	1,8	11,3 j	18 j	51 j
Surface du projet			2 100 m²	3 380 m²	19 000 m²

Tableau 7. : Durée pour la réalisation des étapes de la conception fluides

La figure 25, présente l'évolution du temps nécessaire à la réalisation des tâches de conception fluides, en fonction de la surface utile est de la complexité du bâtiment. Dans le cadre de l'exploitation d'une maquette numérique, ces étapes sont réalisées avec l'assistance du logiciel. Par conséquent ce temps est récupéré.

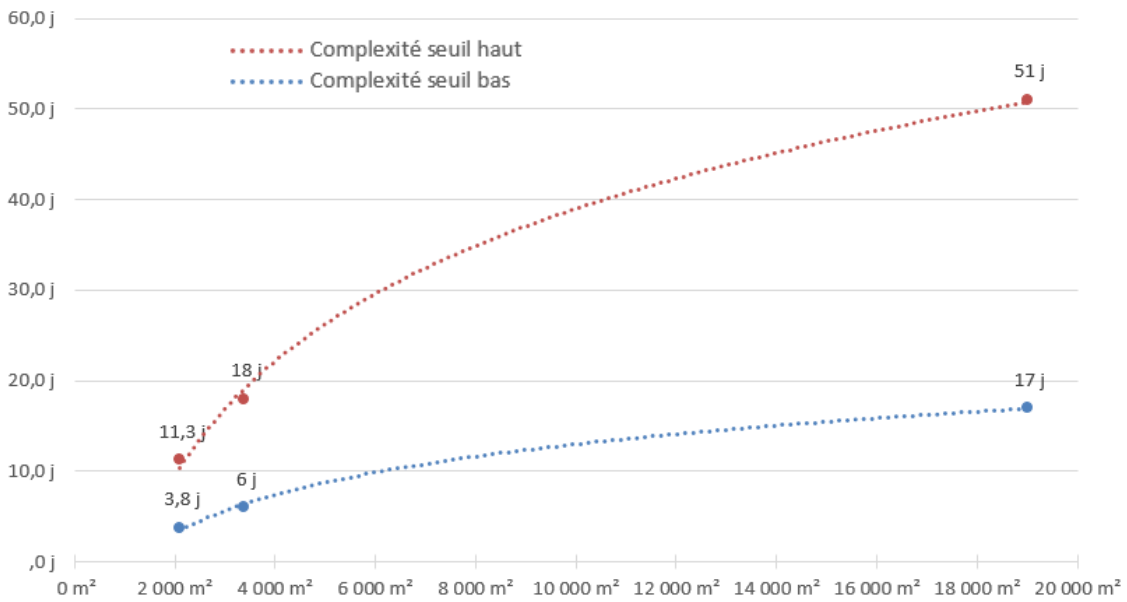


Figure 25 : Optimisation de la durée de conception fluides, par l'utilisation du logiciel Revit, en fonction de la complexité et de la surface utile du bâtiment

Le processus BIM, par la qualité et les possibilités technique des outils dédiés, s'intègre parfaitement dans la démarche d'optimisation des méthodes de travail, de SERUE Ingénierie.

Le temps investi jusqu'à présent, pour la prise en main du logiciel REVIT d'une part, et pour la visibilité du temps investi dans les études d'autre part, permet désormais d'aborder des projets concrets en maitrisant le processus BIM.

3. EXEMPLE DE PROJET TRAITE EN BIM, PERISCOLAIRE DE ELSENHEIM

Ce projet de construction d'un Périscolaire, est pris en exemple d'application du processus BIM, pour la conception génie climatique.

3.1. Contexte du projet

Le projet consiste en la construction d'un périscolaire à Elsenheim (67), pour le compte de la Communauté de Communes du Ried de Marckolsheim, Maitre d'Ouvrage de l'opération.

Le groupement de maitrise d'Œuvre est composée notamment du cabinet MGD, architecte mandataire de l'équipe et du bureau d'étude technique SERUE Ingénierie, pour la conception des lots :

- Démolition
- Voirie Réseaux divers (VRD) – espaces verts
- Gros œuvre
- Charpente bois
- Chauffage - ventilation
- Plomberie - sanitaire
- Electricité - courants faibles

Il n'y a eu aucune demande de processus BIM de la part du maitre d'ouvrage. Cependant, dès le commencement du projet, l'architecte a décidé de modéliser le bâtiment sur REVIT. Nous avons donc décidé, chez SERUE Ingénierie, de profiter de l'existence de cette maquette pour la conception des installations techniques (BIM 3D).

La démarche BIM n'étant pour le moment pas intégrée dans notre service VRD, le lot concerné n'a pas été intégré à l'initiative.
De plus, pour des raisons de planning de charge, la Structure du bâtiment n'a pas été modélisée.

3.2. Présentation Architecturale

L'opération prévoit la construction d'un établissement périscolaire, sur la parcelle voisine de l'école municipale existante de la commune. Le bâtiment neuf sera construit pour une surface utile de 460m² sur un seul niveau. Le plan du rez-de-chaussée est représenté en figure 26.
L'architecture du bâtiment propose une jonction entre la typologie des maisons traditionnelles et l'expression d'un bâtiment public, .
Le bâtiment se compose de 3 volumes principaux, orientés nord-sud, d'apparence similaire mais de longueur légèrement différente qui s'articulent autour de volumes de liaisons.
Ce choix permet le traitement des toitures par pans inclinés tout en contenant le volume sous toiture et un faitage raisonnable en bordure de voirie, comme on peut le voir sur la figure 27.
Le volume Est, regroupe le réfectoire et les éléments techniques du programme :

- Cuisine-office
- Local poubelles
- Entretien

- Buanderie
- Vestiaires et sanitaires adultes
- Locaux techniques (TGBT, chaufferie)
- Locaux techniques ventilation en combles

Les deux autres volumes abritent les trois salles d'activités, le local de rangement lié aux activités et la salle de repos.

D'autres volumes viennent liaisonner ces trois entités. Leur hauteur et traitement de façade est différent, pour valoriser les entités principales. Ils abritent l'entrée et le bureau de direction, le bureau des animateurs, et les sanitaires des enfants situés à proximité du réfectoire.

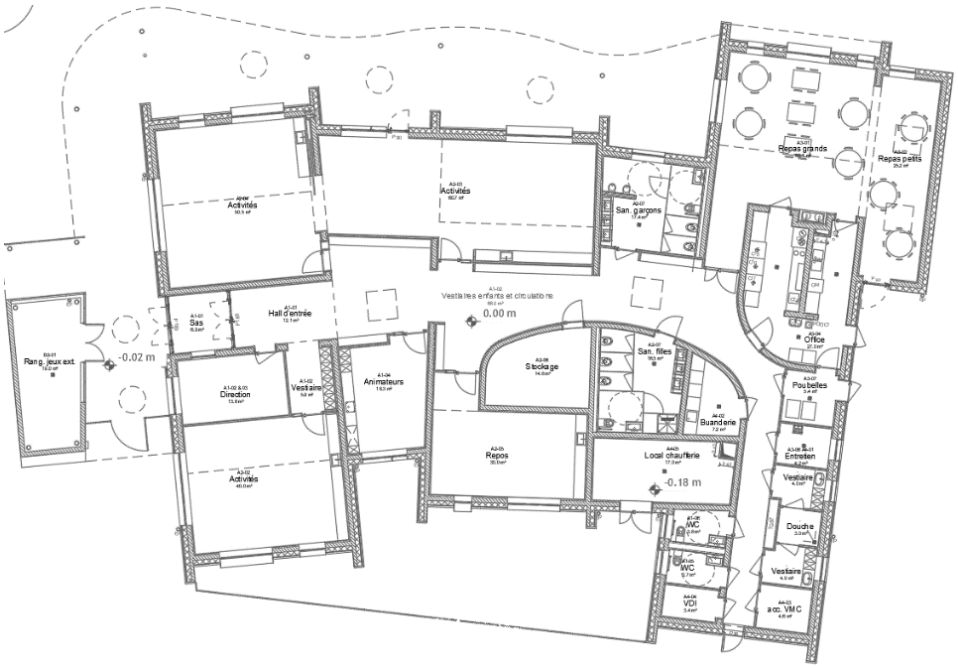


Figure 26 : Périscolaire d'Elsenheim, vue en plan du rez-de-chaussée

Figure 27 : Périscolaire d'Elsenheim, vue extérieure depuis la rue principale

3.3. Calcul règlementaire RT2012

3.3.1. Préambule

Le calcul réglementaire est établi afin de justifier de la conformité de conception architecturale et technique du bâtiment, avec la règlementation thermique en vigueur.
La RT 2012 est définie par l'arrêté du 28 décembre 2012**([16] (Ministère de l'égalité des territoires et du logement, 2012)**. Cette règlementation thermique est applicable à tous les permis de construire déposés, à compter du 28 octobre 2011 pour une partie des bâtiments neufs du secteur tertiaire dont notamment les bâtiments d'enseignement primaire et secondaire ainsi que les établissements d'accueil de la petite enfance.

La réglementation thermique 2012 est avant tout une réglementation d'objectifs et comporte 3 exigences de résultats **([17] CSTB, 2010)** :

- **L'efficacité énergétique minimale du bâti, définie par le coefficient « Bbiomax »** (besoins bioclimatiques du bâti). Cette exigence impose une limitation du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi une optimisation de la conception architecturale (isolation, orientation...)
- **L'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire, se traduisant par le coefficient « Cepmax »**, portant sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs). Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, la valeur du Cepmax s'élève à 50 kWh/(m².an) d'énergie primaire, modulé en fonction de critères spécifiques à chaque projet (localisation géographique, altitude, type d'usage du bâtiment...). Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le Bbio, le recours à des équipements énergétiques performants.
- **Le confort d'été dans les bâtiments non climatisés, validé par le respect de la température intérieure conventionnelle « Tic »**. A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'excède pas un seuil.

3.3.2. Outil de saisie

Les chargés d'étude de SERUE Ingénierie ont pour habitude de réaliser les calculs règlementaires à l'aide du logiciel Climawin, édité par la société BBS SLAMA et certifié par le CSTB. Une fois la bibliothèque des composants du projet créée (enveloppe, systèmes…), la saisie du bâtiment se fait en renseignant les métrés local par local.

BBS SLAMA édite également un module complémentaire appelé ClimaBIM. Ce module a pour vocation d'intégrer l'ensemble des fonctionnalités de Climawin à l'interface REVIT.
L'objectif de ce module est de rendre interactif le lien entre la maquette numérique et le calcul règlementaire, pour éviter les reprises de saisie après chaque modification du bâtiment.

Dans le cadre de ce mémoire, j'ai pu tester une version d'essais de ClimaBIM pour Revit, pour la réalisation du calcul règlementaire du périscolaire d'Elsenheim.

3.3.3. Saisie du bâtiment

3.3.3.1. Etapes préparatoires

La configuration de la saisie du bâtiment ainsi que le calcul se font directement depuis la maquette numérique de l'architecte, qui nécessite d'être renseignée avec les informations requises pour le calcul règlementaire :

- Orientation du bâtiment
- Paramètres énergétiques
    - Usage du bâtiment (Bureau, établissement scolaire…)
    - Géolocalisation du bâtiment
    - Définition des espaces

Pour REVIT, les espaces sont l'interprétation des pièces au sens énergétique, c'est-à-dire contenant les informations nécessaires aux calculs énergétiques :

- Appartenance de l'espace à une zone (au sens de la RT)
- Type de condition (espace chauffé ou climatisé)
- Le nombre de personnes
- Les charges d'éclairage
- Type d'espace (normal, non pris en compte dans le calcul, espace tampon)

3.3.3.2. Enveloppe du bâtiment

ClimaBIM agit en interaction avec les différentes familles de parois utilisées dans la maquette numérique Revit. Pour chaque famille, ClimaBIM récupère la liste des couches composant sa structure ainsi que l'épaisseur, la résistance thermique, la masse volumique, la résistance à la diffusion de vapeur d'eau et la capacité thermique.
Pour chaque couche de la structure de la famille REVIT, il est possible de définir des propriétés thermiques qui seront elles aussi reprises par ClimaBIM. Ces données vont permettre notamment de calculer le coefficient de transmission thermique U [W/(m².K)] des parois.

Le tableau 8 présente la liste des parois définis pour la saisie, les compositions détaillées sont présentées en annexe 5 :

Nature	Nom de la paroi	Contact	U hiver W/(m².K)	Up W/(m².K)	U max W/(m².K)	Résist m².K/W	U été W/(m².K)	Alpha
Mur-A1	MEXT- Mur extérieur isolé	Extérieur	0.290	0.290	----	5.087	0.288	0.600
Mur-A1	MINT- Mur intérieur sur LNC	Intérieur	0.320	0.320	10.000 W/(m².K)	2.865	0.317	------
Rampant-A2	DH- Plafond béton sous locaux tech	Intérieur	0.294	0.294	0.300 W/(m².K)	4.965	0.291	------
Rampant-A2	DH- Plafond bois sous combles ventilés	Intérieur	0.192	0.192	0.300 W/(m².K)	5.000	0.191	------
Rampant-A2	DH- Toiture tuiles	Extérieur	0.313	0.313	----	3.055	0.310	0.800
Plafond-A3	DH- Toiture terrasse	Extérieur	0.117	0.117	----	8.420	0.116	0.800
Plancher-A4	DB- Dallage sur terre plein	Sol	0.117	0.163	----	5.920	0.116	------

Tableau 8. : Calcul règlementaire, liste des parois

3.3.3.3. Ponts thermiques

Un pont thermique est une faiblesse dans l'enveloppe du bâtiment, qui induit une variation de résistance thermique et donc d'isolation du bâti.

REVIT ne prend pas en compte la notion de pont thermique. Il est possible de les rajouter manuellement avec ClimaBIM, en interagissant avec l'arborescence de calcul.

Le tableau 9 présente la liste des ponts thermiques linéiques définis pour la saisie, les informations détaillés sont présentées en annexe 6. Les ponts thermiques singuliers, sont directement saisis dans la composition des parois (fixation d'isolant).

Type	Bibliothèque	Nature régl.	Nom	Psi	Psi1	Psi2	Psi3
Horizontale	2012	L8	Linéique Dallage sur terre plein	0.240 W/K	-	-	-
Horizontale	2012	L10	Linéique accrotère TT	0.770 W/K	-	-	-
Horizontale	2012	---	Linéique dallage réfend	0.240 W/K	0.120 W/K	0.120 W/K	-
Horizontale	2012	L10	Linéique bas de pente plancher bois	0.060 W/K	-	-	-
Horizontale	2012	L10	Linéique bas de pente plancher béton	0.330 W/K	-	-	-
Horizontale	Bois	L10	Faitière	0.070 W/K	-	-	-
Verticale	2012	---	Angle sortant, murs en maçonnerie courante	0.130 W/K	-	-	-
Verticale	2012	---	Angle rentrant	0.030 W/K	-	-	-
Verticale	2012	---	Liaison en T, refend en maçonnerie courante	0.060 W/K	0.030 W/K	0.030 W/K	-

Tableau 9. : Calcul règlementaire, liste des ponts thermiques

3.3.3.4. Menuiseries extérieures

Pour les menuiseries extérieures, ClimaBim reprend directement leur positionnement dans la maquette numérique.
La bibliothèque des menuiseries doit néanmoins être crées, en renseignant les données nécessaires au calcul :

- type de menuiserie (nombre de vitrage, type de châssis, …)
- coefficients de transmission thermique, Ug pour le vitrage et Uf pour le cadre [W/(m².K)]
- le facteur solaire Sw [sans unité]
- le coefficient de transmission lumineuse TLw [sans unité]
- les données concernant les protections solaires
- …

Le tableau 10 présente les caractéristiques générales des menuiseries extérieures définis pour la saisie les caractéristiques détaillées sont présentés en annexe 7.

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Fenêtre	Approche complète type Th-Bat 2012	Fenêtre - SUD - 0°	0.14	0.00	0.00

Structure	Menuiserie en PVC	**Nombre de vitrages**	2
Type menuiserie	-	**Couleur**	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen
Fermeture	Fenêtre sans protection mobile	**Coffre de volet roulant**	Pas de coffre de volet roulant
Dispositif ouverture	Pas de dispositif		

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Fenêtre	Approche complète type Th-Bat 2012	Fenêtre de toit	0.20	0.20	0.20

Structure	Menuiserie en PVC	**Nombre de vitrages**	2
Type menuiserie	-	**Couleur**	Blanc, jaune, orange ou rouge clair
Fermeture	Fenêtre sans protection mobile	**Coffre de volet roulant**	Pas de coffre de volet roulant
Dispositif ouverture	Pas de dispositif		

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Porte	Approche complète type Th-Bat 2012	Portes extérieures opaques	0.35	0.00	0.00

Structure	-	**Nombre de vitrages**	-
Type menuiserie	-	**Couleur**	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen
Fermeture	Fenêtre sans protection mobile	**Coffre de volet roulant**	Pas de coffre de volet roulant
Dispositif ouverture	Pas de dispositif		

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Porte	Approche complète type Th-Bat 2012	Porte entrée vitrée	0.35	0.04	0.04

Structure	-	**Nombre de vitrages**	-
Type menuiserie	-	**Couleur**	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen
Fermeture	Fenêtre sans protection mobile	**Coffre de volet roulant**	Pas de coffre de volet roulant
Dispositif ouverture	Pas de dispositif		

Tableau 10. : Calcul règlementaire, caractéristiques générales des menuiseries extérieures

3.3.4. Saisie des systèmes

Les systèmes sont également renseignés par l'intermédiaire de ClimaBim :

- Production de chaleur : chaudière gaz à condensation
- Production d'eau chaude sanitaire : préparateur ECS alimenté par la chaudière
- Auxiliaires : pompes de circulation
- Systèmes d'émission de chaleur : plancher chauffant / radiateurs
- Systèmes de ventilation : Centrales de traitement d'air double flux
- Système d'éclairage : Eclairage Leds / détection de présence / gradation en fonction de la lumière naturelle…
- …

3.3.5. Résultats

Une fois la maquette renseignée, le calcul peut être engagé, il est réalisé suivant la méthode de calcul Th-BCE 2012 **([18] (CSTB, 2010)**. La tableau 11 présente les résultats principaux, on peut y vérifier la conformité des exigences de la réglementation thermique RT2012.

Le calcul du Bbio est réalisé par le moteur de calcul, par la formule suivante :

Bbio = **2 x** Besoin en Chauffage + **2 x** Besoin en Refroidissement + **5 x** Besoin en éclairage

Il est directement lié à la conception du bâti :
- optimisation de l'isolation pour réduire les besoins en chauffage et rafraichissement
- optimisation de l'orientation des baies vitrées, pour favoriser l'accès à l'éclairage naturel

avec :
  - réduction des besoins en éclairage artificiel
  - réduction des besoins en chauffage, par l'apport solaire

Dans ce cas, le Bbio est inférieur à 2% de la valeur maximale.

Le Cep est calculé sur les 5 postes de l'étude règlementaire. Dans cette étude, le traitement du bâti ainsi que le choix des équipements techniques permettent de réaliser un gain de 23,33% par rapport à la valeur critique :
- chaudière à condensation
- stratégies de régulation
- circulateurs et ventilateurs à moteurs peu énergivores
- récupération d'énergie sur l'air extrait mécaniquement
- luminaires led avec commandes optimisées (gradation, détection de présence…)
- …

Le moteur de calcul détermine la Tic, en fonction des données saisies, mais également du scénario conventionnel correspondant à l'usage du bâtiment. Les résultats montrent que la Tic du projet est règlementaire, sa valeur est donc inférieure à la Tic de référence.

Résultats RT2012

StructurePériscolaire

Dép. : BAS-RHIN	Altitude : 153m	Site : STRASBOURG ENTZHEIM	Bbio : 117.60 points	Cep : 78.20 kWhep/(m².an)
Date PC : 04-10-2017	Num PC : en cours		Bbiomax : 120.00 points	Cepmax : 102.00 kWhep/(m².an)
At : 1649 m²	AtBat : 1129 m²	SHON RT : 617.10 m²		

Bâtimentréglementaire

Synthèse Bbio		Synthèse Th-C			Conformité
Bbiochauffage	43.80points	Cepchauffage	49.70kWhep/m²	GES : 11.57	Bbio = Bbiomax - 2.00 %
Bbiorefroid.	0.00points	Ceprefroid.	0.00kWhep/m²	GES : 0.00	Cep = Cepmax - 23.33 %
Bbioéclairage	6.00points	Cep ECS	1.40kWhep/m²	GES : 0.33	Aepenr : 0.00 kwhep/m²
Bbio chauffage x2	87.60points	Cepéclairage	15.80kWhep/m²	GES : 0.51	Tic réglementaire
Bbio refroid. x2	0.00points	Cepauxiliaires	11.30kWhep/m²	GES : 0.37	Moyens : conforme
Bbio éclairage x5	30.00points	Prodphotovoltaïque	0.00kWhep/m²		Ratio psi : 0.17 W/(m².K)
		Prodcogénération	0.00kWhep/m²	Total GES : 12.78	Psi 9 moyen : 0.00 W/(ml.K)

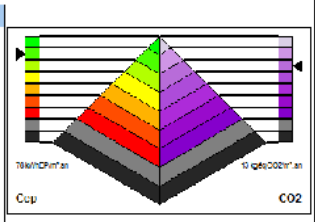


Tableau 11. : Calcul règlementaire, résultats principaux

3.3.6. Retour d'expérience

La maquette numérique réalisée par l'architecte, telle qu'elle a été transmise, n'a pas permis d'aller jusqu'au bout de la démarche. En effet, plusieurs incompatibilités au niveau des méthodes de saisie ont empêché la finalisation du calcul règlementaire avec ClimaBIM, avec en particulier :

- des incohérences dans la modélisation des parois (toutes les parois ont été définies comme des parois intérieures)
- l'absence d'éléments dans la modélisation de l'enveloppe du bâtiment (absence de toitures, absence de dallage)
- non prise en compte des menuiseries extérieures dans le calcul réglementaire

La saisie a donc été exportée (format gbXML) afin d'être exploitée directement avec le logiciel Climawin. Cette solution alternative à tout de même permis de gagner du temps au niveau de la saisie, cependant en procédant de cette manière, l'interaction direct avec la maquette et donc le processus BIM n'est plus assuré.

La modélisation de la maquette numérique a été réalisée sur l'initiative de l'architecte, en marge d'un processus BIM dans le sens strict du terme. Aucune convention BIM n'a donc été rédigée.

Afin d'anticiper cette problématique à l'avenir, nous avons édité une notice de bonnes pratiques pour la modélisation architecturale (cf. annexe 8), qui sera intégrée dans les conventions BIM des futurs projets.

3.4. Bilan thermique et débits de ventilation

3.4.1. Méthode de calcul

Le calcul des déperditions calorifiques est réalisé sur la base de la saisie du calcul règlementaire, avec du logiciel Climawin,.
Les calculs sont réalisés d'après les conditions de la norme NF EN 12831 **([19] AFNOR, 2004)** et du complément national à la norme, la norme NF P 52-612/CN **([20] AFNOR, 2010)**.

La méthode de calcul est fondée sur les hypothèses suivantes :

- La distribution de la température (température d'air et température de consigne) est supposée uniforme
- Les déperditions sont calculées en régime permanent en supposant constantes les propriétés telles que valeurs de température, caractéristiques des parois du bâtiment, etc

3.4.2. Conditions d'ambiance à obtenir dans les locaux

La température intérieure à obtenir dans les locaux, en mode confort et par -15°C extérieur (température de base hiver pour le bas Rhin), est définie dans le tableau 12 :

Vestiaires / douche	21 °C
Entretien	16 °C
WC	16 °C
VDI	Sans objet
Buanderie	19 °C
Sanitaires filles / garçons	21 °C
Repas	19 °C
Stockage	16 °C
Repos	19 °C
Animateurs	19 °C
Salles d'activités	19 °C
Vestiaire enfants et circulations	19 °C
Bureau direction	19 °C
Hall d'entrée	19 °C
Office	19 °C

Tableau 12. : Températures ambiantes des locaux **([21] (Ministère de l'égalité des territoires et du logement, 2012)**

3.4.3. Hypothèses prises en compte pour la composition du bâti

Le tableau 13, présente les hypothèses prises en compte, en ce qui concerne la composition du bâti.

RT applicable :	**RT 2012**	
Résistance thermique isolant mur :	5.00	m².K/W
Fixation de l'isolant par des chevilles nylon		
Résistance thermique isolant longrine sur hauteur de 60cm sous face de dalle :	3.00	m².K/W
Résistance thermique isolant dalle basse sur terre-plein / dallage :	5.40	m².K/W
Dont R isolant plancher chauffant	*3.00*	
Dont R isolant sous dallage	*2.40*	
Résistance thermique isolant mur sur locaux non chauffés :	2.80	m².K/W
Résistance thermique isolant mur sur locaux occupés de façon discontinue :	2.80	m².K/W
Résistance thermique plafond RDC sous locaux techniques :	5.00	m².K/W
Fixation de l'isolant par des suspentes nylon		
Résistance thermique plafond RDC sous combles :	7.50	m².K/W
Fixation de l'isolant par des suspentes nylon		
Résistance thermique isolant toiture terrasse :	8.30	m².K/W
Uw fenêtre :	1.30	W/(m².K)
Les menuiseries doivent être posées au nu extérieur		
Facteur solaire fenêtre :	0.56	
Stores extérieurs à l'Est / Ouest et au Sud minimum		
TL fenêtre :	0.68	
Perméabilité à l'air Q4 :	0.60	$m^3/(h.m^2)$

Tableau 13. : Composition du bâti

3.4.4. Détermination des débits hygiéniques

3.4.4.1. Salles d'activité et bureaux

L'article 64 du règlement sanitaire départemental du 20 janvier 1983 stipule qu'un débit minimum de 15 m³/(h/personne) doit être respecté. Cette règlementation a plus de 30 ans et ne tient pas compte des progrès qui ont été faits en matière d'étanchéité à l'air du bâtiment. Selon notre expérience et une étude menée en interne par une élève ingénieure **([22] MINNE, 2015 chapitre 5.3)**, ces débits sont trop faibles pour pouvoir atteindre une qualité d'air convenable dans les locaux.
C'est pourquoi afin de maintenir un taux de CO2 à 1 000 ppm dans les locaux avec une étanchéité à l'air de 0,6 $m^3/(h.m^2)$ (objectif du projet Q_4 inférieur à 1,0 $m^3/(h.m^2)$), nous nous baserons sur un débit de :

- 25 m^3/h/occupant dans les salles d'activité
- 36 m^3/h/occupant dans les bureaux

Compte tenu du fait que le périscolaire n'accueillera pas plus de 50 enfants en même temps, le débit a été foisonné. Le débit de la CTA sera ainsi de 2 620 m^3/h.

3.4.4.2. Groupes sanitaires

Le débit d'extraction par groupe sanitaire est quant à lui déterminé par l'article 64 du règlement sanitaire départementale **([23] Journal officiel, 2004)**, par la formule suivante :

$$\boxed{qv\,[m3/h] = 30 + 15 \cdot N + 10 + 5 \cdot N'}$$

Avec :	
qv :	débit volumique [m³/h]
N :	nombre d'appareils sanitaires (bains, douches et cabinets d'aisances groupés)
N′ :	nombre d'appareils (Lavabos groupés)

3.4.4.3. Office

Le règlement sanitaire départementale prescrit une méthode de détermination du débit d'air neuf minimum à introduire en cuisine, en fonction du nombre de repas servis simultanément, présenté dans le tableau 14 :

Office relais	15m^3/h/repas
Moins de 150 repas	25 m^3/h/repas
De 150 à 500 repas	20 m^3/h/repas avec un minimum de 3 750m^3/h
De 501 à 1 500 repas	15 m^3/h/repas avec un minimum de 10 000m^3/h
A partir de 1 501 repas	10 m^3/h/repas avec un minimum de 22 500m^3/h

Tableau 14. : Débit d'air neuf minimum à introduire en cuisine, en fonction du nombre de repas servis simultanément **([23] Journal officiel, 2004)**

Dans le cas de l'office du périscolaire d'Elsenheim, le programme prévoit 55 repas, soit 25 m^3/h/repas.
Le résultat a été confronté à la sélection technique du fabriquant de hotte de captation HALTON. Ce dernier préconise la mise en place d'une hotte équipée de jets de captation au-dessus des points de cuisson, pour un débit d'extraction de 1 300m^3/h, ainsi que de grilles d'extraction au-dessus de la zone de plonge, pour un débit de 750m^3/h.

3.4.4.4. Autres locaux

Dans les autres locaux, les taux de renouvellement présentés dans la tableau 15, sont considérés :

Vestiaires	6 vol/h
Douche	1 vol/h
Poubelle	1 vol/h
Entretien	1 vol/h
Local VDI	3 vol/h
Buanderie	15 vol/h
Stockage	1 vol/h
Vestiaires enfants et circulation	1 vol/h

Tableau 15. : Taux de renouvellement d'air, considérés pour les autres locaux

3.4.5. Calcul des déperditions :

3.4.5.1. Déperditions par transmission

Les déperditions par transmission sont appliquées à toutes les parois et tous les ponts thermiques séparant l'espace chauffé de l'environnement extérieur ou de locaux non chauffés (murs, planchers, plafonds, portes, fenêtres...). Elles sont déterminées par la formule suivante :

$$\Phi t\,[W] = \sum S \cdot U \cdot (\theta amb - \theta base) + \sum S \cdot U \cdot (\theta amb - \theta lnc) + \sum \psi \cdot l \cdot (\theta amb - \theta base)$$

Avec :	
Φt :	Déperditions par transmission [W]
S :	Surface de la paroi déperditive [m²]
U :	Coefficient de transmission thermique [W/ (m². K)]
θamb :	Température de consigne d'ambiance[°C]
θbase :	Température de base hiver [°C]
θlnc :	Température du local non chauffé [°C]
ψ :	Coefficient de transmission linéique [W/ (m.K)]
l :	longueur du pont thermique [m]

3.4.5.2. Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air s'appliquent à l'air hygiénique introduite de façon mécanique dans le bâtiment (CTA) et nécessitant un préchauffage. Elles sont déterminées par la formule suivante :

$$\Phi v\,[W] = \left(\frac{qv}{3\,600}\right) \cdot \rho\ air\ \cdot cp\ air\ \cdot (\theta souff - \theta base) \cdot\ (1 - \varepsilon)$$

Pour simplifier l'équation on suppose cp constant :

$$\left(\frac{\rho\ air\ \cdot cp\ air}{3\,600}\right) = 0{,}34$$

L'équation se réduit donc à :

$$\Phi v\,[W] = qv\ \cdot\ 0 \cdot 34\ \cdot (\theta souff - \theta base) \cdot\ (1 - \varepsilon)$$

Avec :	
Φv :	Déperditions par renouvellement d'air [W]
qv :	Débit volumique [m^3/h]
ρ air :	Masse volumique de l'air [kg/m^3]
cp air :	Capacité calorifique massique de l'air à pression constante [J/kg/K]
0,34 :	constante pour la simplification de l'équation
θsouff :	Température de consigne d'ambiance[°C]

θbase :	Température de base hiver [°C]
ε :	Efficacité de l'échangeur de récupération de chaleur sur l'air extrait (si absence d'échangeur $\varepsilon = 0$)

3.4.5.3. Déperditions par infiltrations

Le débit d'air d'infiltration correspond au volume d'air pénétrant le bâtiment, par ses inétanchéités. Il est induit par le vent et le tirage thermique sur l'enveloppe du bâti. Le débit volumique d'infiltration est déterminé par la formule suivante :

$$\text{qvinf [m3/h]} = 2 \cdot \text{Vi} \cdot \text{n50} \cdot \text{ei} \cdot \varepsilon\text{i}$$

Avec :	
qvinf :	Débit volumique d'air d'infiltration [m^3/h]
Vi :	Volume intérieur de l'espace traité [m^3]
n50 :	Taux horaire de renouvellement d'air [h^{-1}], résultant d'une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment
ei :	coefficient d'exposition (cf. annexe 9), déterminé en fonction la typologie du site de construction (abrité ou exposé) et de la proportion de façades exposées (sans, simple ou expositions multiples)
εi :	Facteur correctif de hauteur, prenant en compte l'augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur de l'espace considère au-dessus du niveau du sol (cf. annexe 10)

Un facteur 2 est introduit dans l'équation, la valeur de n50 étant donnée pour le bâtiment entier, le calcul doit prendre en compte le cas le plus défavorable, à savoir la totalité de l'air d'infiltration appliquée sur une seule face du bâtiment.

Le taux horaire de renouvellement d'air se détermine par la formule suivante :

$$\text{n50 [vol/h]} = 1{,}8 \cdot \text{Q4} \cdot \left(\frac{\text{n} + 1}{\text{n}}\right)$$

Avec :	
n50 :	Taux horaire de renouvellement d'air sous 50Pa [vol/h]
Q4 :	Perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment [m^3/(h.m²)], à appliquer sur la surface A_{tbat}, correspondant à la somme des surfaces exposées au vent (hors planchers)
n :	Nombre de niveaux du bâtiment

Une fois le débit d'infiltration déterminé, le calcul des déperditions par infiltration est réalisé de la manière suivante :

$$\Phi\text{inf [W]} = \text{qvinf} \cdot 0 \cdot 34 \cdot (\theta\text{souff} - \theta\text{base})$$

Avec :	
Φinf :	Déperditions par infiltrations d'air [W]
qvinf :	Débit volumique d'air d'infiltration [m^3/h]
0,34 :	Constante pour la simplification de l'équation (ρ air . cp air/3600)
θsouff :	Température de consigne d'ambiance[°C]
θbase :	Température de base hiver [°C]

3.4.5.4. Surpuissance

Le bâtiment n'étant pas occupé en continu, un fonctionnement du chauffage en réduit, est prévu en période d'inoccupation. Une surpuissance est intégrée au calcul de déperdition, pour tenir compte de la relance préalable à l'occupation des locaux.

Le facteur de relance, noté f_{RH} [W/m²] est déterminé par le tableau présenté en annexe 11, en fonction de la chute de température intérieure prévue lors du ralenti, l'inertie du bâtiment et la durée de relance.

3.4.6. Tableau récapitulatif

Nom du local	Surface	Hauteur		Volume		Température	Température	Nombre de				Débit de ventilation hygiénique									ATbât	Déperditions								
																						brutes					majorées			
		sous dalle	sous faux-plafond	sous dalle	sous faux-plafond	ambiante	air soufflé	pers.		sanitaire	vol/h	personne		sanitaire	vol/h	forcé	max	soufflé	extrait			ventilation	transmissions	infiltrations	surpuissance	totales	ventilation 10%	transmissions 20%	infiltrations 10%	totales
	m²	m	m	m³	m³	°C	°C	bureau	salle d'activité			bureau m³/h	salle d'activité m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m²	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Vestiaires	3,60	3,25	2,70	12	10	21 °C	23				6				58		60	50	60	13,34	213	215	11	32	470	234	258	12	503
Douche	2,70	3,25	2,70	9	7	21 °C	23			1	1			30			45		45	10,88	0	129	8	24	161	0	155	9	163
Vestiaires	3,60	3,25	2,70	12	10	21 °C	23				6				58		60	50	60	21,50	213	235	11	32	490	234	282	12	527
Poubelles	4,50	3,25	3,25	15	15	nc	23				1				15	30	30		30	16,58	0	270	13		283	0	324	14	338
Entretien	3,80	3,25	3,25	12	12	16 °C	23			1	1			30	12		30		30	13,61	0	124	11		135	0	149	12	161
WC	3,80	3,25	2,70	12	10	16 °C	23			1	1,5			30	15		30		30	12,90	0	98	11	34	143	0	118	12	143
WC	3,80	3,25	2,70	12	10	16 °C	23			1	1,5			30	15		30		30	21,20	0	154	11	34	199	0	185	12	199
VDI	3,45	3,25	2,70	11	9	16 °C	23				3			0	28		30		30	20,09	0	236	10		246	0	283	11	294
Buanderie	7,20	3,25	2,70	23	19	19 °C	23				15			0	292		300	300	300	22,91	1 275	127	21		1 423	1 403	152	23	1 578
San filles	16,50	3,25	2,70	54	45	21 °C	23			5	1,5			135	67		135		135	45,54	0	304	48	149	501	0	365	53	501
San garçon	17,40	3,25	2,70	57	47	21 °C	23			5	1,5			135	70	150	150		150	50,97	0	622	51	157	829	0	746	56	829
Repas petits	25,20	3,25	2,70	82	68	19 °C	23		24		2		600		136		600	600	600	98,91	2 550	1 666	74	227	4 517	2 805	1 999	81	4 885
Repas grands	50,10	3,25	2,70	163	135	19 °C	23		28		2		700		271		700	700	700	150,36	2 975	2 159	147	451	5 731	3 273	2 591	161	6 024
Stockage	14,80	3,25	2,70	48	40	16 °C	23				1				40		40		40	29,60	0	20	43		63	0	24	48	72
Repos	30,00	3,25	2,70	98	81	19 °C	23		10		2		250		162		250	250	250	134,36	1 063	1 434	88	270	2 854	1 169	1 721	97	2 986
Animateurs	18,30	3,25	2,70	59	49	19 °C	23	5			1	180			49		180	180	180	48,31	765	530	54	165	1 513	842	636	59	1 536
Activités 60m²	60,70	3,75	2,70	228	164	19 °C	23		19		2		475		328		480	480	480	199,24	2 040	2 024	205	546	4 815	2 244	2 429	225	4 898
Activités 51m²	50,50	3,75	2,70	189	136	19 °C	23		19		2		475		273		480	480	480	193,30	2 040	2 602	170	455	5 267	2 244	3 122	187	5 554
Activités 40m²	40,00	3,75	2,70	150	108	19 °C	23		19		2		475		216		480	480	480	169,73	2 040	2 036	135	360	4 571	2 244	2 443	149	4 836
Vestiaire enfants et circulations	86,30	3,25	2,70	280	233	19 °C	23				1				233		240	785	245	207,23	3 336	2 697	252	777	7 062	3 670	3 236	278	7 184
Bureau direction	13,80	3,75	2,70	52	37	19 °C	23	2			1	72			37		80	80	80	37,75	340	354	47	124	865	374	425	51	865
Hall d'entrée	12,10	3,75	2,70	45	33	19 °C	23													24,20	0	285	41	109	435	0	342	45	435
Office	29,34	3,25	2,70	95	79	19 °C	19				26				2 060		2 060	2 050	2 050	71,94	23 698	1 021	86		24 805	26 068	1 225	94	27 387
Vestiaires	5,90	3,75	2,70	22	16	19 °C	23													11,80	0	48	20	53	121	0	58	22	121
TOTAUX	**507**			**1 741**	**1 375**												**6 490**	**6 485**	**6 485**	**1 626**	**42 547**	**19 390**	**1 566**	**3 999**	**67 502**	**46 801**	**23 268**	**1 723**	**72 022**
TOTAUX avec débit d'air neuf CTA double flux																	**4 745**	**4 745**	**4 745**		**35 152**				**60 107**	**38 667**			**63 888**

Tableau 16. : Tableau récapitulatif des débits d'air et déperditions

Le tableau 16 présente les résultats du calcul des déperditions par poste.
On y retrouve les hypothèses pour la détermination des débits de ventilation, ainsi que les déperditions brutes.
Une majoration de 10% est appliquée sur la ventilation, correspondant à une sécurité pour le dimensionnement des batteries chaudes de CTA. Pour rappel, le débit d'air neuf de la centrale de traitement d'air double flux est foisonné.
De même, afin de prévenir d'éventuels défauts de mise en œuvre au niveau du bâti (mise en œuvre des isolants, mise en œuvre des menuiseries extérieures…), une majoration de 20% est appliquée aux déperditions par transmissions ainsi qu'une seconde majoration de 10% sur les déperditions par infiltrations.

La puissance totale considérée pour le bilan de puissance (encadré rouge), correspond au maximum entre la somme des déperditions brutes (encadré vert) et la somme des déperditions majorées (encadré bleu), soit environ **63 kW**.

La figure 28 représente la répartition des déperditions brutes par poste.
La puissance nécessaire au préchauffage de l'air neuf, représente le poste le plus important, soit 58%. Ceci s'explique par l'absence de récupération de chaleur sur l'air extrait dans l'office. En effet la présence de graisses alimentaires dans l'air extrait de cette zone nécessiterait la mise en œuvre d'une récupération de chaleur adaptée, non compatible avec le budget de l'opération.

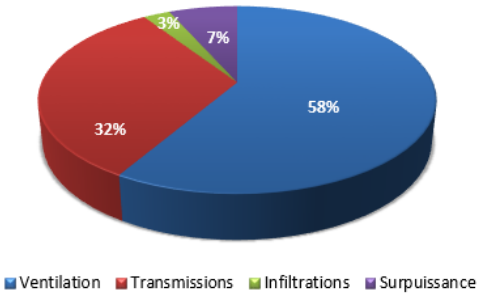


Figure 28 : Répartition des déperditions brutes par poste

Le traitement de l'enveloppe du bâti permet de combattre efficacement les déperditions par transmissions, ces dernières représentent 32% des besoins totaux.

La part nécessaire à la relance est de 7%. Le bâtiment étant d'inertie faible (présence de faux plafond) le facteur de relance est relativement réduit.

L'objectif de perméabilité à l'air du bâtiment (Q4 = 0,60 $m^3/(h.m^2)$) permet de limiter les infiltrations, cette valeur sera confirmée en phase chantier, par un test d'étanchéité à l'air.
Le poste des déperditions par infiltrations, représente 3% du bilan de puissance.

3.5. Production de chaleur

La production de chaleur est assurée par une chaudière gaz à condensation. Les caractéristiques techniques de la chaudière sont présentées dans le tableau 17.

Puissance utile (Pn), régime 80/60°C	80 kW	
Puissance utile intermédiaire à 30% de charge	26,8 kW	
Rendement utile sur PCI à 100% de charge (régime 80/60°C)	96,8%	
Rendement utile sur PCI à 30% de charge (retour 30°C)	108%	
Alimentation gaz naturel	300 mbar	
Pression de service	4 bar	

Tableau 17. : Caractéristiques techniques de la chaudières gaz à condensation

La production d'eau chaude sanitaire est réalisée par un préparateur fonctionnant en accumulation à 100%.

Le tableau 18 présente le calcul prévisionnel des besoins journaliers en eau chaude sanitaire à 60°C.

Ratio école	5	litres/élève/jour
Nombre d'enfants	50	
Besoin journalier	**250**	**l/j**
Cantine	3	litres/repas
Nombre de repas	50	
Besoin journalier	**150**	**l/j**
Besoin journalier total	**400**	**l/j**

Tableau 18. : Calcul prévisionnel des besoins journaliers en eau chaude sanitaire à 60°C

Il est prévu un préparateur de 500 litres de capacité, équipé d'un échangeur noyé alimenté par la chaufferie, dimensionné pour un réchauffage assuré en 1h30 (de 10°C à 60°C). La puissance thermique considérée est donc de 20 kW.
Les caractéristiques techniques du préparateur ECS sont présentées dans le tableau 19 :

Capacité utile	479 litres	
Puissance maximum de l'échangeur (primaire à 70°C)	26,8 kW	
Débit primaire	4 m^3/h	
Pertes thermiques	≤ 2,2 W/K	
Pertes de charge	≤ 137 mbar	
Pression de service	10 bar	

Tableau 19. : Caractéristiques techniques du préparateur ECS

La figure 29 représente le schéma de principe hydraulique de la chaufferie.

La chaudière gaz à condensation est raccordée aux collecteurs départs / retours, à partir desquels les circuits suivants sont réalisés :

- 1 circuit à double-usage :
  - Température constante pour les batteries de CTA, régime 50/30°C (fonctionnement le jour)
  - Production ECS, régime 70-60°C (fonctionnement la nuit)
- 1 circuit régulé, régime 70/50°C par -15°C extérieur, pour les radiateurs
- 1 circuit régulé, régime 50/30°C par -15°C extérieur, pour les planchers chauffants

Le circuit de plancher chauffant est séparé physiquement du restant de l'installation au moyen d'un échangeur à plaques :

- Puissance :..... 24 kW
- Régime primaire : ..... 50-30°C
- Régime secondaire :..... 35-28°C (par -15°C extérieur)
- Perte de charge (côté primaire et secondaire) :..... 500 mmCE maxi

La chaudière est équipée de deux retours hydrauliques. Un retour haute température pour le circuit double usage (CTA et ECS) et le circuit radiateur. Mais également un retour basse température pour le circuit plancher chauffant. Cette configuration permet de garantir une température de retour basse dans la chaudière, toute la période de chauffe, et ainsi optimiser la condensation.
La température de départ de chaque circuit hydraulique est régulée par action sur une vanne 3 voies motorisée, soit en fonction d'une sonde de température extérieure (circuits radiateur et circuit plancher chauffant) soit en fonction d'une valeur de consigne prédéfinie (circuit CTA et circuit ECS).
Concernant le circuit double usages, le basculement d'un réseau vers l'autre est assuré par des vannes motorisées à 2 voies.
Un adoucisseur installé sur le remplissage de l'installation, permet un prétraitement de l'eau.

Sur la partie sanitaire, on retrouve la panoplie installée sur l'adduction d'eau potable, et également au niveau du préparateur d'eau chaude sanitaire :

- l'arrivée d'eau froide
- le départ eau chaude sanitaire
- le retour de bouclage, avec le circulateur dédié

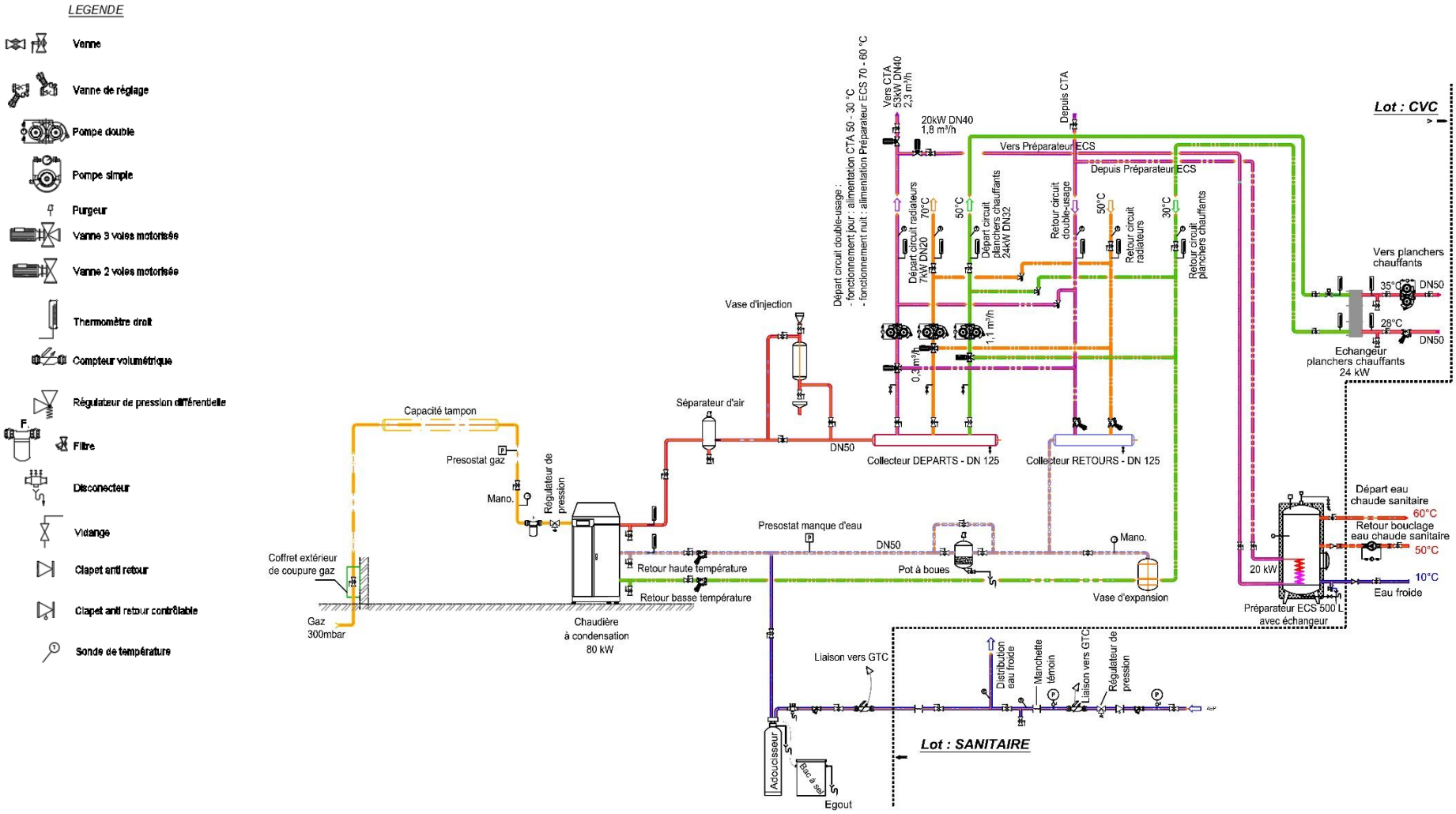


Figure 29 : Périscolaire d'Elsenheim, schéma de principe hydraulique

3.6. Chauffage des locaux

Il est prévu pour le chauffage des locaux :

- Du plancher chauffant basse température excepté dans l'office, et les locaux de service ci-dessous
- Des radiateurs dans l'office, la buanderie, les vestiaires et les sanitaires

3.6.1. Chauffage par radiateur

Le tableau 20 présente les différents types de radiateur prévus dans les locaux.

Type de radiateur	Description	Locaux de destination
Hygiène	Radiateur en acier à surfaces planes et lisses, sans ailettes, ni grille, ni capots latéraux, pour un nettoyage facilité.	Office
Sèche-serviettes	Radiateur type sèche-serviettes réalisé en tubes d'acier droits.	Vestiaires
Maternelles	Radiateur en acier spécial maternelle, à faible température de surface (43°C maxi) et angles arrondis.	Sanitaires enfants
Standard	Radiateur en acier à surfaces planes et lisses.	Local entretien Buanderie

Tableau 20. : Types de radiateur

Le module MagiCAD pour REVIT édité par la société Progman, propose des outils d'aide à la conception, avec notamment un outil pour le dimensionnement des radiateurs.

La figure 30 représente l'interface pour le dimensionnement d'un radiateur, la méthodologie est la suivante :

- La sélection du modèle de radiateur correspondant à l'usage, dans la base de produit du logiciel
- Le renseignement des informations techniques nécessaires à la sélection :
  - Régime de température
  - Température de consigne d'ambiance
  - Puissance de l'émetteur
- Le renseignement de contraintes dimensionnelles et tolérances de puissance pour le choix de la taille du modèle

Un graphique permet également de visualiser la puissance du modèle sélectionné, en fonction du ΔT [°C] suivant EN442 **([24] AFNOR, 1996)**.

$$\Delta T = \frac{(\text{température de l'eau aller} + \text{température de l'eau retour})}{2} - \text{température ambiante}$$

Une fois le modèle de radiateur choisi, ce graphique permet de confirmer la taille du modèle proposé.

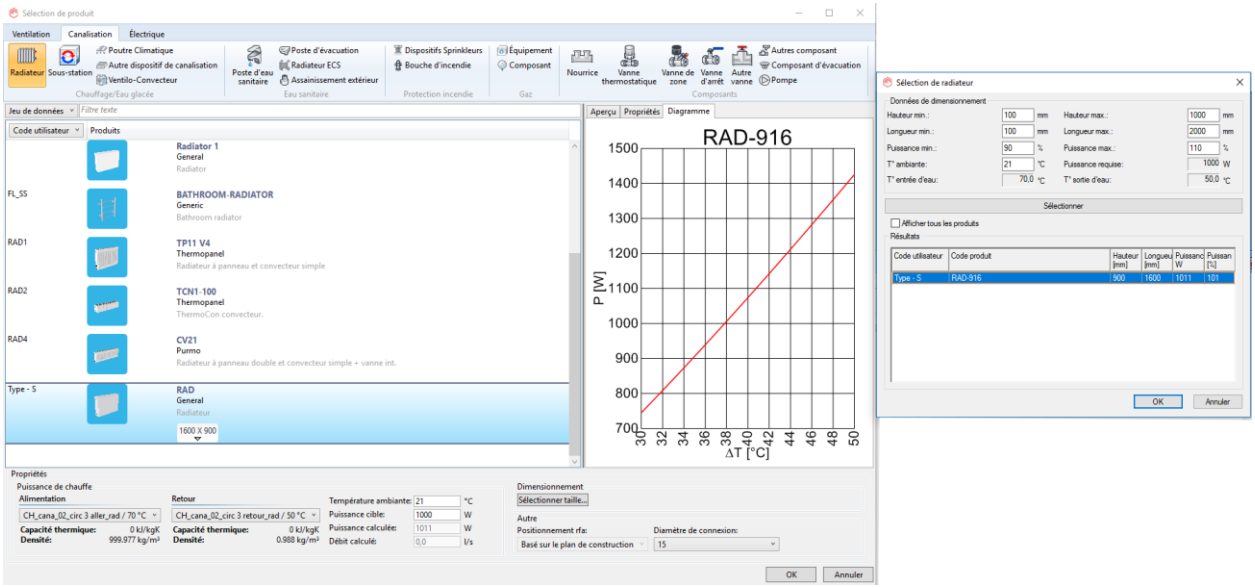


Figure 30 : Module MagiCAD, dimensionnent de radiateur

3.6.2. Chauffage par plancher chauffant

Le module MagiCAD permet également le dimensionnement de plancher chauffant.

La figure 31 représente l'interface pour le dimensionnement de plancher chauffant dans un bureau, la méthodologie est la suivante :

- sélection de l'espace correspondant au local chauffé
- renseignement des informations techniques nécessaires à la sélection :
  - régime de température
  - puissance (totale ou ramenée à l'unité de surface)
- renseignement des données de conception du plancher :
  - type de tube et diamètre
  - configuration de pose
  - point d'entrée dans le local
  - pas et distance des murs
  - longueur supplémentaire jusqu'au collecteur

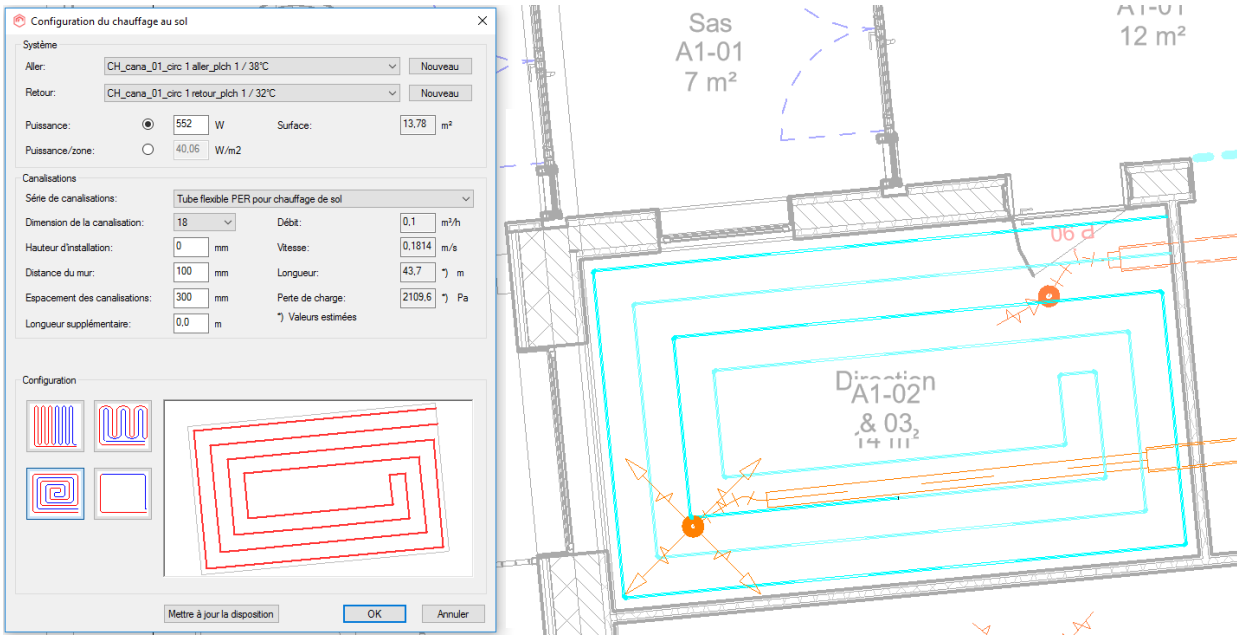


Figure 31 : Module MagiCAD, dimensionnent de plancher chauffant

L'outil permet alors de visualiser les données suivantes :

- débit d'eau dans le circuit
- vitesse d'eau
- longueur de tuyauterie
- perte de charge du circuit

3.7. Ventilation des locaux

3.7.1. Ventilation double flux générale

Le renouvellement d'air dans les locaux est assuré par une centrale de traitement d'air de type double-flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait et préchauffage de l'air neuf à 22°C.

Le périscolaire n'accueillant pas plus de 50 enfants simultanément, un foisonnement a été pris en compte pour la détermination du débit de la CTA.

La figure 32 représente la vue de côté de la CTA. Cette dernière est composée de :

- manchettes souples
- un registre d'air neuf motorisé, antigel, étanche, fermé par manque de tension
- un filtre dièdre, classe M6, sur l'air neuf avec pressostat différentiel
- un échangeur à plaques de récupération de chaleur sur l'air extrait
- un bac à condensats en acier inoxydable avec piquage d'évacuation
- une batterie chaude cuivre/aluminium, régime 50/30°C
- une sonde antigel
- un ventilateur de soufflage à roue libre avec moteur EC
- un filtre dièdre, classe M6, sur l'air extrait avec pressostat différentiel
- un ventilateur d'extraction à roue libre avec moteur EC

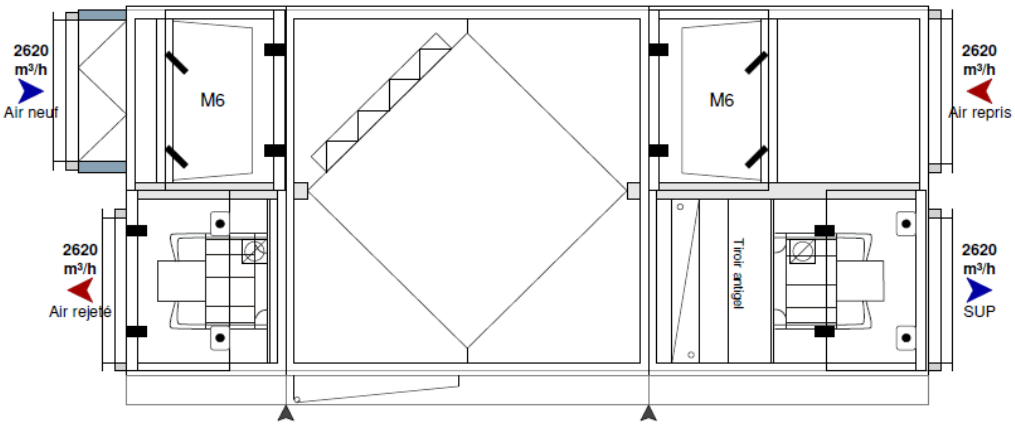


Figure 32 : CTA double flux générale (vue de côté)

Les performances et caractéristiques techniques de la CTA sont présentées dans le tableau 21 :

Débit nominal	2 650 m3/h
Classe d'énergie	A+ / Eurovent A+
Rendement énergétique SFPv	
➧ Soufflage	≤ 0,97 kW/m3/s
➧ Extraction	≤ 0,95 kW/m3/s
Surface de filtration	
➧ Air neuf	≥ 27 m²

➧ Air extrait	≥ 27 m²
Rendement récupération de chaleur	
➧ Thermique sec	≥ 75 %
➧ Thermique	≥ 84 %
Batterie chaude	
➧ Puissance calorifique	≥ 15 kW
➧ PdC sur l'air	≤ 11 Pa
➧ PdC sur l'eau	≤ 10 kPa

Tableau 21. : Performances et caractéristiques techniques de la CTA double flux générale

3.7.2. Ventilation de l'office

Il est prévu pour la ventilation de l'office, une installation double-flux indépendante avec extraction dans la zone cuisson et la zone laverie, et compensation en air neuf préchauffé à 19°C par une centrale de traitement d'air.

L'extraction est réalisée par deux caissons d'extraction installés dans les combles :

- Pour la zone cuisson avec un caisson d'extraction double peau 400°C/2h, adapté pour une utilisation cuisine, moteur EC, interrupteur de proximité, manchettes souples, plots antivibratiles

- Pour la zone laverie avec un moto-ventilateur en polypropylène spécial ambiance corrosive, intégré dans un caisson isolé, interrupteur de proximité, manchettes souples, plots antivibratiles

La compensation en air neuf se fera par l'intermédiaire d'une centrale de traitement d'air, installée dans les combles.
La figure 33 représente la vue de dessus de la CTA, composée de :

- manchettes souples
- un registre d'air neuf motorisé, antigel, étanche, fermé par manque de tension
- un filtre dièdre, classe M6, sur l'air neuf avec pressostat différentiel
- une batterie chaude cuivre/aluminium, régime 50/30°C
- une sonde antigel
- un ventilateur de soufflage à roue libre avec moteur EC

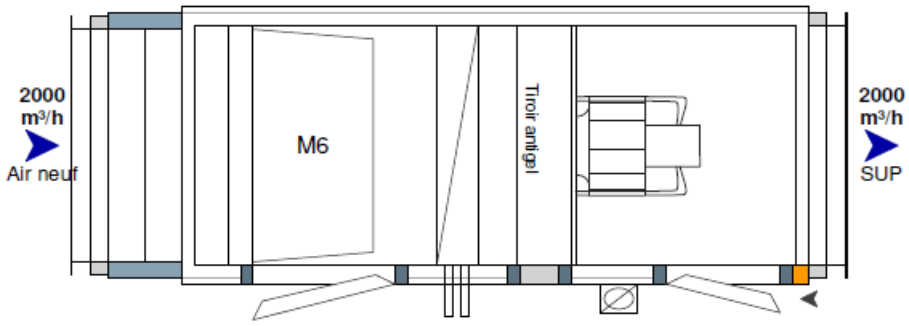


Figure 33 : CTA compensation office (vue de dessus)

Les performances et caractéristiques techniques de la CTA sont présentées dans le tableau 22 :

Débit nominal	2 050 m3/h
Classe d'énergie	A+ / Eurovent E
Rendement énergétique SFPv	
➧ Soufflage	≤ 0,8 kW/m3/s
Surface de filtration	
➧ Air neuf	≥ 18 m²
Batterie chaude	
➧ Puissance calorifique	≥ 24 kW
➧ PdC sur l'air	≤ 27 Pa
➧ PdC sur l'eau	≤ 13 kPa

Tableau 22. : Performances et caractéristiques techniques de la CTA compensation office

3.7.3. Terminaux de ventilation

La diffusion et la reprise d'air dans les locaux est assurée suivant le cas par :

- Diffuseur plafonnier à jet tourbillonnaire haute induction, avec caisson de raccordement et diffuseurs en tôle d'acier galvanisé, virole et clapet de réglage en plastique ABS, système de répartition du flux d'air en fibre synthétique
- Diffuseur en aluminium à fentes réglables, composé de lamelles orientables, construit en aluminium
- Bouches en tôle d'acier peinte, associées à un régulateur de débit constant

Pour les terminaux spécifiques à l'office :

- Pour la zone laverie, par diffuseur carré avec plaque frontale en tôle d'acier perforée
- Pour la zone cuisson, par hotte à jets de captation et compensation basse vitesse, frontale

Le module MagiCAD permet de réaliser la sélection de diffuseurs. La figure 34 représente l'interface de sélection, la méthodologie est la suivante :

- La sélection du modèle de diffuseur correspondant à l'usage, dans la base de produit du logiciel
- Le renseignement du débit d'air nécessaire
- La sélection de la taille du modèle, en fonction des contraintes de perte-de charge et des objectifs acoustiques

Un graphique permet de visualiser la plage de fonctionnement du diffuseur. Le point bleu représente les conditions de sélection. On peut ainsi vérifier les pertes de charges en fonction du débit souhaité.

Le graphique permet également de visualiser le niveau de pression acoustique total, et par bande d'octave du diffuseur. Cela permet, en première approche, de vérifier les critères de confort du local.
En effet, le report du spectre acoustique sur le réseau de courbes NR (noise rating **([25] AFNOR, 1974)**), comme présenté en annexe 12, permet de déterminer l'indice de confort NR correspondant. Les niveaux de pression acoustique à respecter suivant le type de local **([26] AFNOR, 2007)** sont présentés en annexe 13.

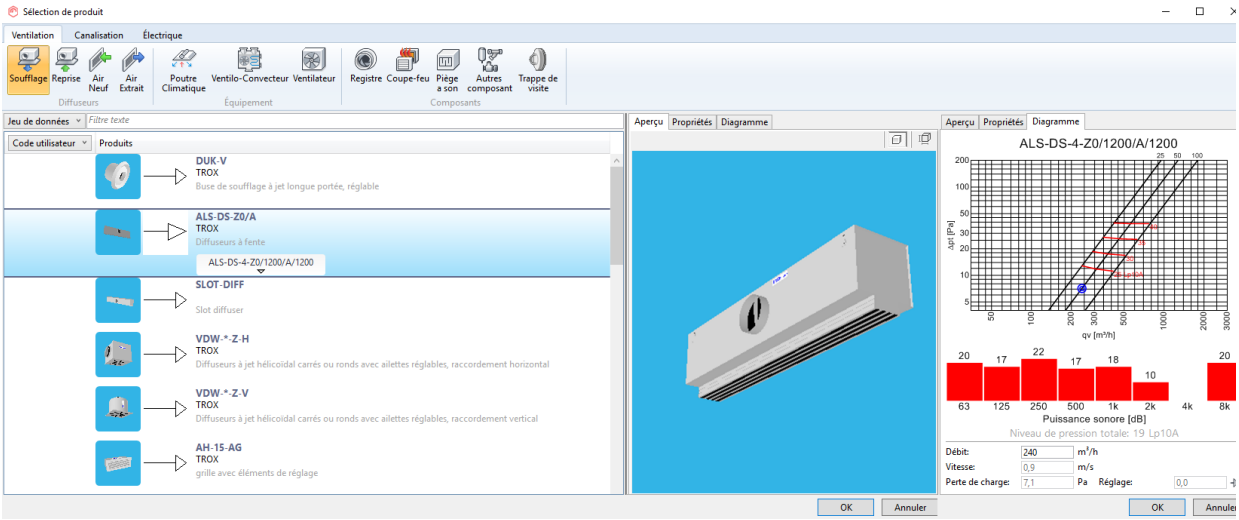


Figure 34 : Module MagiCAD, sélection de diffuseur

3.8. Dimensionnement des réseaux

Le module MagiCad comporte des outils permettant le dimensionnement des réseaux hydrauliques, aérauliques ainsi que les réseaux d'eau froide et d'eau chaude sanitaire.

3.8.1. Dimensionnement des circuits hydrauliques

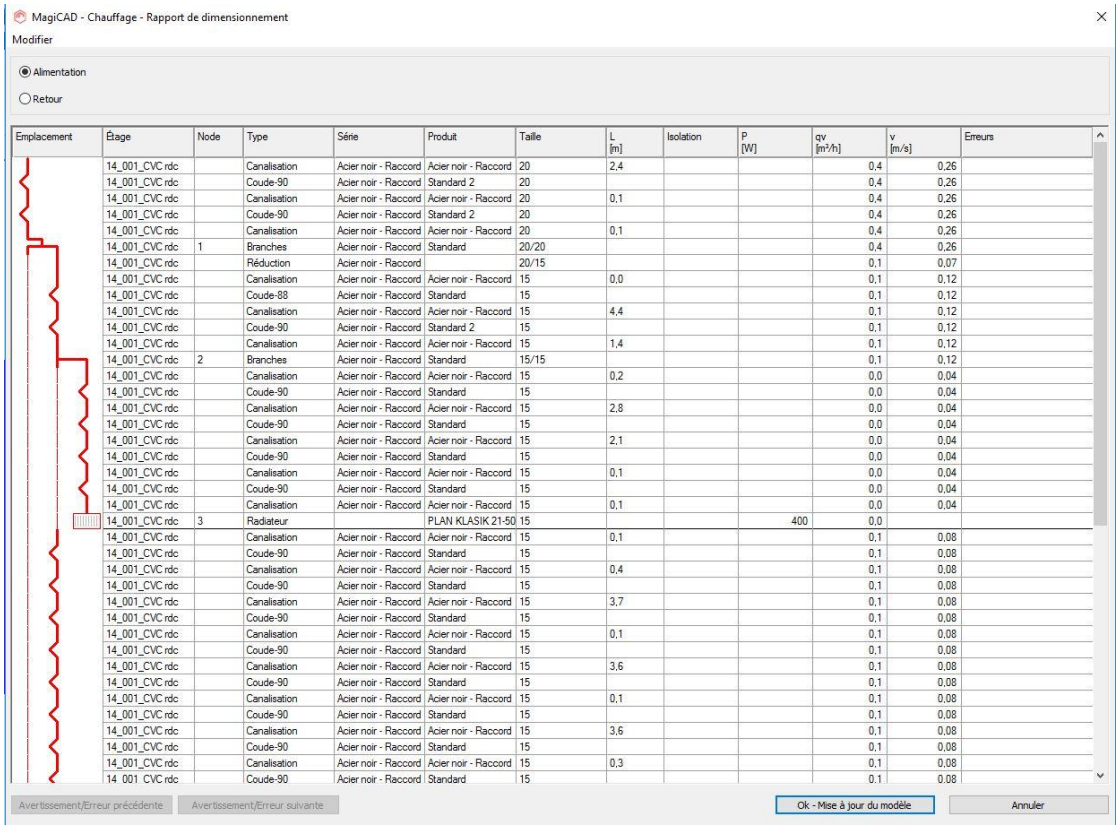
La méthode de dimensionnement est définie par l'utilisateur, l'interface de gestion, permet de définir les paramètres suivants :

- diamètre maximum de tuyauterie
- vitesse maximum du fluide dans la tuyauterie
- perte de charge linéaire admissible par mètre.

Ainsi, en fonction de la puissance des émetteurs installés, du régime de température aller/retour du circuit considéré et des caractéristiques du matériau employé pour la tuyauterie, le dimensionnement est réalisé. Le logiciel sélectionne les tailles de canalisation une par une jusqu'à trouver la taille correspondante aux critères définis.

Une fois le calcul réalisé, le logiciel génère un rapport de dimensionnement, comme présenté en figure 35. Ce rapport permettant de vérifier les informations par tronçon. Sur la partie gauche de la figure apparait une représentation schématique du réseau, ici le circuit radiateur aller. Chaque ligne représente un élément du métré, avec les informations correspondantes :

- diamètre nominal
- puissance pour les corps de chauffe
- débit et vitesse dans la tuyauterie



Emplacement	Étage	Node	Type	Série	Produit	Taille	L [m]	Isolation	P [W]	qv [m³/h]	v [m/s]	Erreurs
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	20	2,4			0,4	0,26	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard 2	20				0,4	0,26	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	20	0,1			0,4	0,26	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard 2	20				0,4	0,26	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	20	0,1			0,4	0,26	
	14_001_CVC rdc	1	Branches	Acier noir - Raccord	Standard	20/20				0,4	0,26	
	14_001_CVC rdc		Réduction	Acier noir - Raccord		20/15				0,1	0,07	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,0			0,1	0,12	
	14_001_CVC rdc		Coude-88	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,12	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	4,4			0,1	0,12	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard 2	15				0,1	0,12	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	1,4			0,1	0,12	
	14_001_CVC rdc	2	Branches	Acier noir - Raccord	Standard	15/15				0,1	0,12	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,2			0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	2,8			0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	2,1			0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,1			0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,1			0,0	0,04	
	14_001_CVC rdc	3	Radiateur		PLAN KLASIK 21-50	15			400	0,0		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,1			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,4			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	3,7			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,1			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	3,6			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,1			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	3,6			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccord	Acier noir - Raccord	15	0,3			0,1	0,08	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccord	Standard	15				0,1	0,08	

Figure 35 : Module MagiCAD, rapport de dimensionnement des tuyauteries hydrauliques

3.8.2. Dimensionnement des réseaux aérauliques

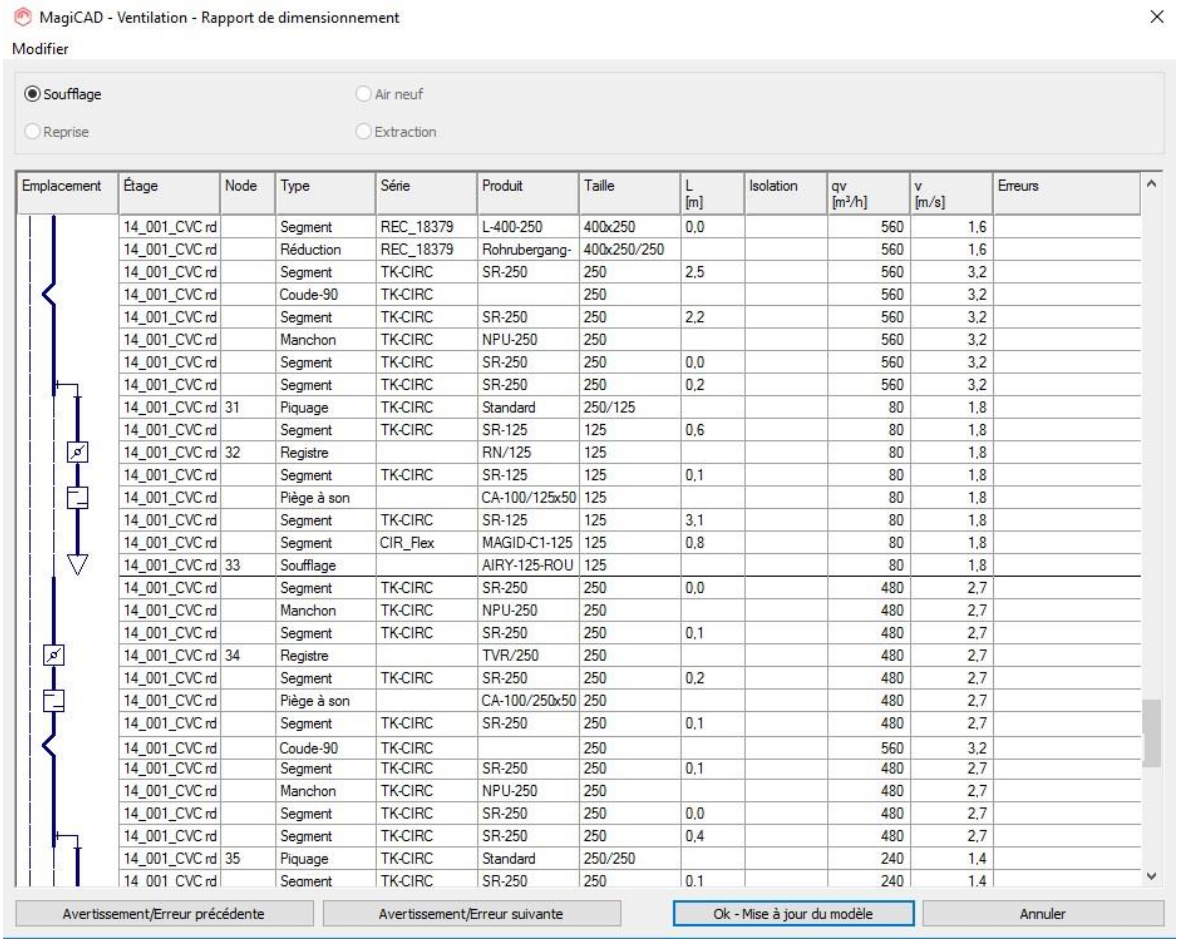
Le dimensionnement des réseaux aéraulique est réalisé suivant une méthodologie similaire à celle employée pour le dimensionnement hydraulique, l'interface de gestion permet de définir les paramètres suivants :

- vitesse maximale
- perte de charge linéaire admissible
- rapport largeur/hauteur de la gaine

Le dimensionnement est réalisé en fonction des débits renseignés au niveau des terminaux de ventilation, sommés à chaque jonction.

Comme pour le dimensionnement hydraulique, les tailles des gaines sont sélectionnées une par une à partir des critères définis, jusqu'à trouver la première taille acceptable.

Un rapport de dimensionnement, comme présenté en figure 36, est également généré pour le dimensionnement aéraulique. Le rapport est établi sur le même principe que précédemment, avec une représentation schématique du réseau sur la partie gauche et les informations concernant les éléments du métré sous forme de tableau.



Emplacement	Étage	Node	Type	Série	Produit	Taille	L [m]	Isolation	qv [m³/h]	v [m/s]	Erreurs
	14_001_CVC rd		Segment	REC_18379	L-400-250	400x250	0,0		560	1,6	
	14_001_CVC rd		Réduction	REC_18379	Rohrubergang-	400x250/250			560	1,6	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	2,5		560	3,2	
	14_001_CVC rd		Coude-90	TK-CIRC		250			560	3,2	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	2,2		560	3,2	
	14_001_CVC rd		Manchon	TK-CIRC	NPU-250	250			560	3,2	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,0		560	3,2	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,2		560	3,2	
	14_001_CVC rd	31	Piquage	TK-CIRC	Standard	250/125			80	1,8	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-125	125	0,6		80	1,8	
	14_001_CVC rd	32	Registre		RN/125	125			80	1,8	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-125	125	0,1		80	1,8	
	14_001_CVC rd		Piège à son		CA-100/125x50	125			80	1,8	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-125	125	3,1		80	1,8	
	14_001_CVC rd		Segment	CIR_Flex	MAGID-C1-125	125	0,8		80	1,8	
	14_001_CVC rd	33	Soufflage		AIRY-125-ROU	125			80	1,8	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,0		480	2,7	
	14_001_CVC rd		Manchon	TK-CIRC	NPU-250	250			480	2,7	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,1		480	2,7	
	14_001_CVC rd	34	Registre		TVR/250	250			480	2,7	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,2		480	2,7	
	14_001_CVC rd		Piège à son		CA-100/250x50	250			480	2,7	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,1		480	2,7	
	14_001_CVC rd		Coude-90	TK-CIRC		250			560	3,2	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,1		480	2,7	
	14_001_CVC rd		Manchon	TK-CIRC	NPU-250	250			480	2,7	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,0		480	2,7	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,4		480	2,7	
	14_001_CVC rd	35	Piquage	TK-CIRC	Standard	250/250			240	1,4	
	14_001_CVC rd		Segment	TK-CIRC	SR-250	250	0,1		240	1,4	

Figure 36 : Module MagiCAD rapport de dimensionnement des gaines de ventilation

3.8.3. Dimensionnement des réseaux Sanitaire

3.8.3.1. Distributions d'eau froide et d'eau chaude sanitaire

Les calculs sont réalisés conformément aux indications du DTU 60.11 **([27] AFNOR, 2013)**, les débits des appareils sanitaires considérés sont présentés dans le tableau 23 et ceux des appareils des équipements cuisine dans le tableau 24.

	Débit de base	
Désignation de l'appareil	Robinetterie classique	Robinetterie temporisée
– Déversoir / Evier	0,20 l/s	
– Douche	0,20 l/s	0,17 l/s
– Lavabo / Lave-mains	0,20 l/s	0,10 l/s
– Lave-vaisselle / Lave-linge	0,20 l/s	
– Robinet de puisage 1/2″ (Øi 14mm)	0,33 l/s	
– Robinet de puisage 3/4″ (Øi 20mm)	0,42 l/s	
– Urinoir à action siphonique		0,50 l/s
– WC avec réservoir de chasse	0,12 l/s	

Tableau 23. : Débit des appareils sanitaires

	Débit de base
Désignation de l'appareil	
– Four mixte	0,25 l/s
– Bac de lavage	0,20 l/s
– Machine à laver la vaisselle	1,25 l/s
– Plonge	0,83 l/s
– Plan de travail 1 bac	0,25 l/s
– Poste de désinfection	0,25 l/s

Tableau 24. : Débit des appareils de cuisson

A chaque appareil individuel (hors appareils de cuisson) le DTU prévoit un nombre d'unité comme montré dans le tableau 25. La somme des unités permet avec le graphique représenté en figure 37, de déterminer le diamètre minimal d'alimentation du groupe d'appareils, à partir de deux appareils et jusqu'à un total d'unité atteignant 15.

Type	Débits EFS unité	Débits ECS unité
Baignoire 170 x 70 cm	3	3
Baignoire 170 x 80 cm	3,3	3,3
Baignoire 170 x 85 cm	4,1	4,1
Baignoire 150 x 150 cm	4,5	4,5
Bidet	1	1
Déversoir	2,5	2,5
Douche	2	2
Evier	2,5	2,5
Lavabo	1,5	1,5
Lave Linge	1	
Lave-mains	0,5	0,5
Lave Vaiselle	1	
Poste d'eau	2	2
Robinet de puisage	0,5	
Urinoir	0,5	
WC réservoir	0,5	

Tableau 25. : Nombre d'unités par appareils sanitaires

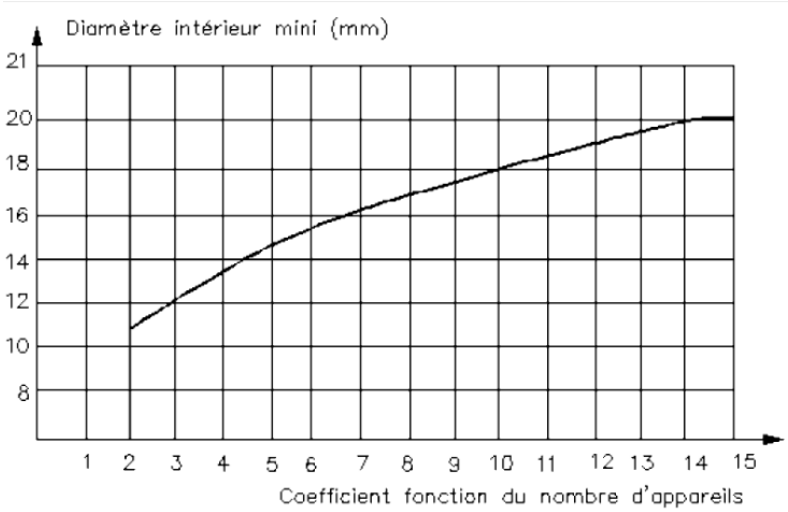


Figure 37 : Graphique de détermination du diamètre intérieur minimal en fonction du nombre d'unités (DTU 60-11)

Au-dessus de 15 unités, le diamètre minimal d'alimentation est déterminé en fonction de la somme des débits de base de chaque appareil sanitaire, à laquelle on applique un coefficient de simultanéité (y) comme représenté sur la figure 38. L'équation de la courbe se traduit par la formule suivante :

$$\boxed{y = \frac{0{,}8}{\sqrt{x-1}}}$$

Avec x le nombre d'appareils sanitaires pris en compte et 0,8 le numérateur donné par le DTU.

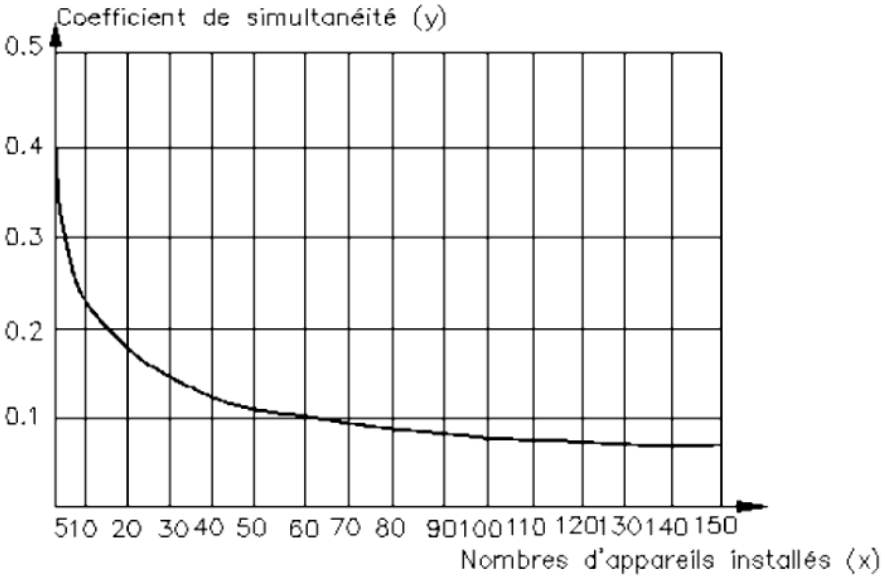


Figure 38 : Graphique de détermination du coefficient de simultanéité (DTU 60-11)

Les appareils sanitaires sont modélisés dans REVIT à l'aide de MagiCAD, sous forme de nodes connectables aux familles de tuyauterie. Ces nodes sont renseignés avec le débit de base ainsi que le diamètre de connexion. La figure 39 présente deux exemples de création d'appareil sanitaire, l'un pour une douche et l'autre pour un WC.

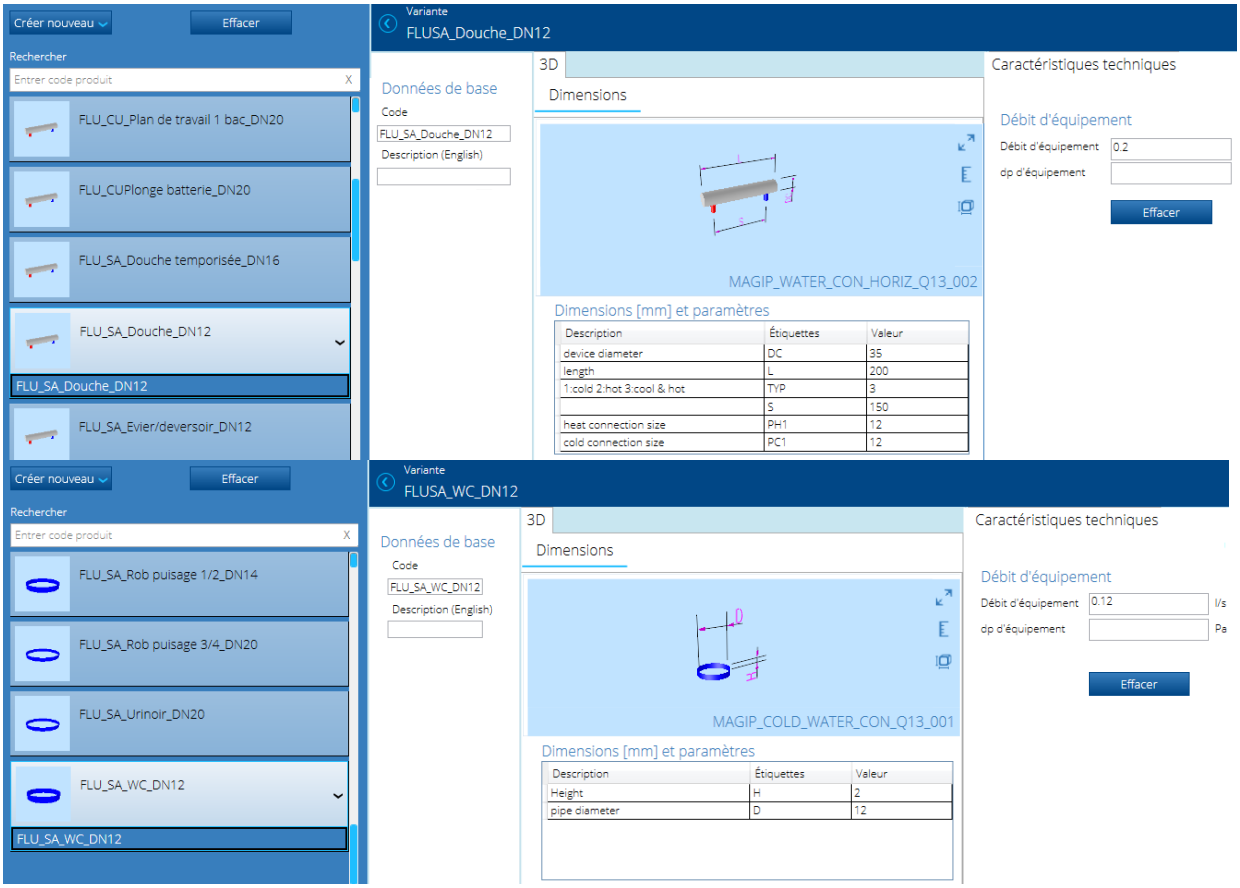


Figure 39 : Module MagiCAD, modélisation des appareils sanitaire

La figure 40 représente les réseaux de distribution sanitaires. Sur chaque extrémité de tuyauterie est installé un node représentant un appareil sanitaire.

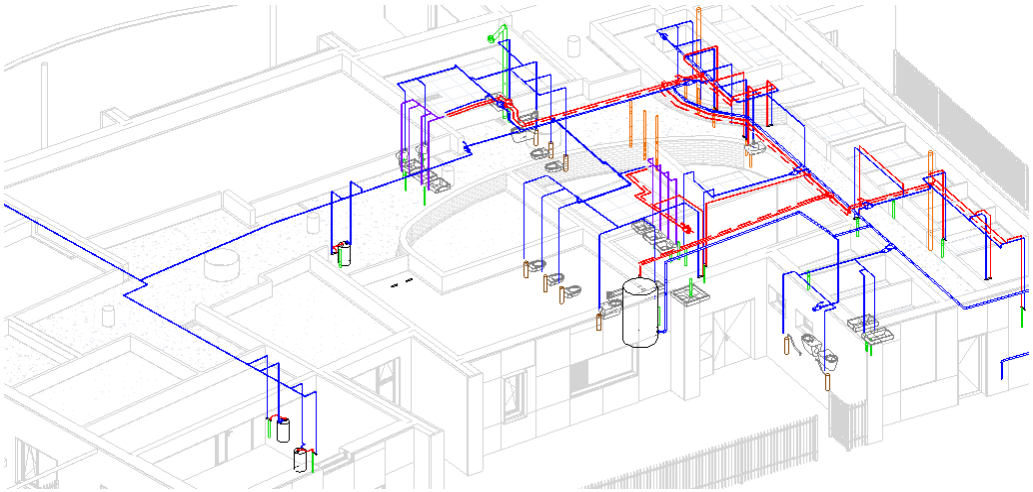


Figure 40 : Distribution des réseaux sanitaires

Toujours sur le même principe, un rapport de dimensionnement (figure 41) est généré à l'issue du calcul. On y retrouve les informations correspondant à chaque élément du métré :

- diamètre de la tuyauterie
- somme des débits du tronçon (qv som)
- coefficient de l'appareil sanitaire
- nombre d'appareil sur le tronçon (nDev)
- le coefficient de simultanéité calculé (k-sim)
- le débit probable (qv dim)
- la vitesse dans la canalisation.

MagiCAD - Plomberie - Rapport de dimensionnement

Modifier

◉ Eau domestique ◉ Eau froide sanitaire
○ Bouclage ○ Eau chaude sanitaire

Emplacement	Étage	Node	Type	Série	Produit	Taille	L [m]	Isolation	qv som [m³/h]	Coeff. Appare	nDev	k-sim	qv dim [m³/h]	v (dim) [m/s]	Erreurs
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	0,8		0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Cu_EN1057	Standard	12			0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	0,8		0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Cu_EN1057	Standard	12			0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	2,2		0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc	72	Poste d'eau		FLU_SA_WC_DN12	12			0,4	0,5			0,4		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-15	15	0,4		0,8	2,0	2	0.80	0,6	1,33	
	14_001_CVC rdc	73	Branches	Cu_EN1057	Standard	15/15			0,8	2,0	2	0.80	0,6	1,33	
	14_001_CVC rdc		Réduction	Cu_EN1057	Standard	15/12			0,4	1,5	1	1.00	0,4	0,75	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	1,4		0,4	1,5	1	1.00	0,4	1,18	
	14_001_CVC rdc		Coude-89	Cu_EN1057	Standard	12			0,4	1,5	1	1.00	0,4	1,18	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	0,3		0,4	1,5	1	1.00	0,4	1,18	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Cu_EN1057	Standard	12			0,4	1,5	1	1.00	0,4	1,18	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	2,2		0,4	1,5	1	1.00	0,4	1,18	
	14_001_CVC rdc	74	Poste d'eau		FLU_SA_Lv/Lm temporisé froid seul_DN12	12			0,4	1,5			0,4		
	14_001_CVC rdc		Réduction	Cu_EN1057	Standard	15/12			0,4	0,5	1	1.00	0,4	0,90	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	0,4		0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Cu_EN1057	Standard	12			0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-12	12	2,2		0,4	0,5	1	1.00	0,4	1,41	
	14_001_CVC rdc	75	Poste d'eau		FLU_SA_WC_DN12	12			0,4	0,5			0,4		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	PVC-C	PVC-C-727-2-15	15	0,8		3,6	1,0	2	0.80	2,9	4,53	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	PVC-C	Standard	15			3,6	1,0	2	0.80	2,9	6,03	
	14_001_CVC rdc		Réduction	PVC-C	MAGI-GEN-R1-15	15			3,6	1,0	2	0.80	2,9	6,03	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-15	15	0,0		3,6	1,0	2	0.80	2,9	6,03	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Cu_EN1057	Standard	15			3,6	1,0	2	0.80	2,9	6,03	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-15	15	1,2		3,6	1,0	2	0.80	2,9	6,03	
	14_001_CVC rdc	76	Branches	Cu_EN1057	Standard	15/15			3,6	1,0	2	0.80	2,9	6,03	
	14_001_CVC rdc		Réduction	Cu_EN1057	Reducer Straight Soldered CU-22-15	22/15			1,8	0,5	1	1.00	1,8	3,77	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-22	22	0,4		1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Cu_EN1057	Standard	22			1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-22	22	1,9		1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc	77	Poste d'eau		FLU_SA_Urinoir_DN20	20			1,8	0,5			1,8		
	14_001_CVC rdc		Réduction	Cu_EN1057	Reducer Straight Soldered CU-22-15	22/15			1,8	0,5	1	1.00	1,8	3,77	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-22	22	0,6		1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc		Coude-89	Cu_EN1057	Standard	22			1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-22	22	0,4		1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Cu_EN1057	Standard	22			1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Cu_EN1057	Copper Pipe - EN 1057 - R290-22	22	1,9		1,8	0,5	1	1.00	1,8	1,66	
	14_001_CVC rdc	78	Poste d'eau		FLU_SA_Urinoir_DN20	20			1,8	0,5			1,8		

Avertissement/Erreur précédente | Avertissement/Erreur suivante | Ok - Mise à jour du modèle | Annuler

Figure 41 : Module MagiCAD, rapport de dimensionnement des tuyauteries d'eau froide sanitaire

3.8.3.2. Bouclage ECS

Le dimensionnement des réseaux de bouclage est réalisé suivant une méthode simplifiée. L'interface de gestion des paramètres permet de définir les données de dimensionnement :

- diamètre maximum de tuyauterie
- vitesse maximum du fluide dans la tuyauterie
- perte de charge linéaire admissible par mètre.

Une fois les paramètres définis, des points de bouclage représentant chacun une branche du réseau sont placés au niveau des connections avec la distribution d'eau chaude sanitaire. Ces points sont modélisés sous forme de nodes, renseignés avec le débit de branche souhaité, comme le montre la figure 42.

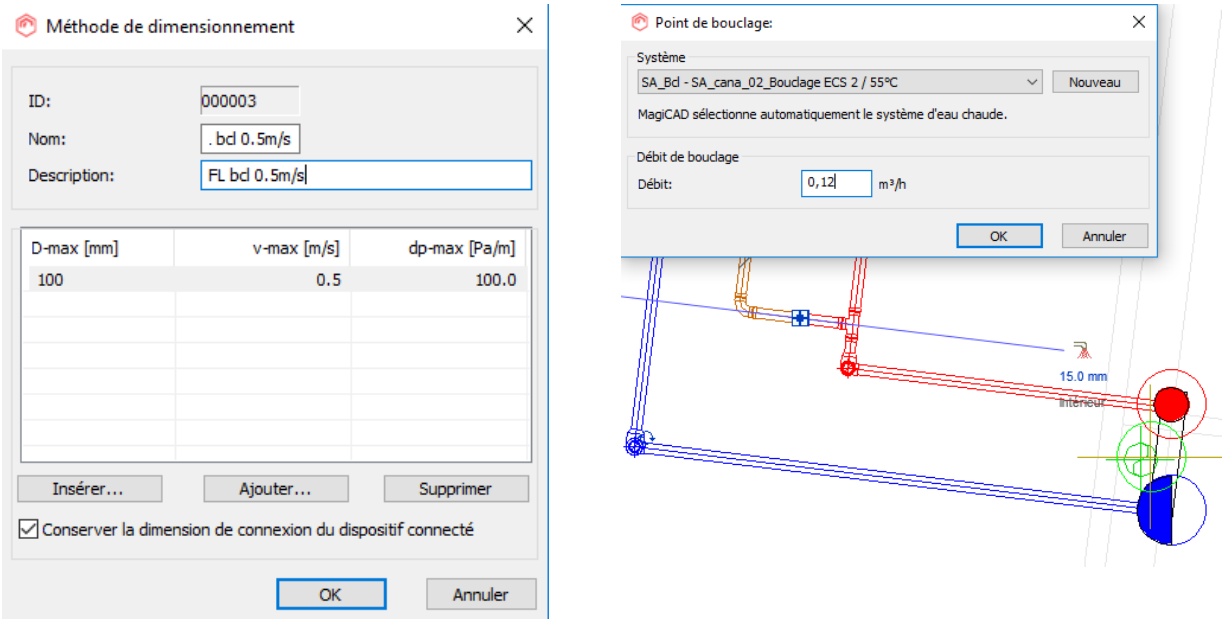


Figure 42 : Donnés de dimensionnement des tuyauteries de bouclage (Module MagiCAD)

3.9. Calcul des pertes de charge

Pour les calculs de pertes de charges sur les réseaux hydrauliques et aérauliques, la chute de pression dans un tronçon, exprimée en N/m² est calculée suivant la formule de Darcy :

$$\Delta P\ [\mathrm{N/m^2}] = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho w^2}{2}$$

Avec :	
L :	longueur du tronçon [m]
D :	diamètre du tronçon [m]
ρ :	masse volumique du fluide [kg/m^3]
w :	vitesse moyenne du fluide [m/s]
λ :	coefficient de perte de charge [sans dimensions]

Le coefficient de perte de charge est déterminé par la relation de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon/d}{3{,}71} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}}\right)$$

Avec Re le nombre de Reynolds déterminé par la formule :

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

ε :	rugosité absolue de la paroi [mm], issu des propriétés de la famille de gaine ou de tuyauterie utilisée
d :	diamètre de la paroi [mm]

A cela sont rajoutées les pertes de charges singulières, chute de pression ΔP qui résulte d'obstacles particuliers, déterminé par l'équation suivante :

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho w^2}{2}$$

Avec ξ le coefficient de perte de charge spécifique à l'élément considéré. Les valeurs prises en compte pour le calcul, sont présentées en annexes 14 et 15.

En ventilation, pour les gaines rectangulaires, le diamètre aéraulique équivalent De est calculé par la relation suivante :

$$De = 1{,}3 \text{ x } \frac{1{,}3\ x\ S^{0{,}625}}{(P/2)^{0{,}25}}$$

Avec :	
S :	Section géométrique de la gaine [m]
P :	Périmètre de la gaine [m]

3.9.1. Calcul des pertes de charge des réseaux hydrauliques

Les calculs de pertes de charge sont réalisés sur des réseaux ou tronçons de réseaux, comme représenté sur la figure 43 ci-dessous.

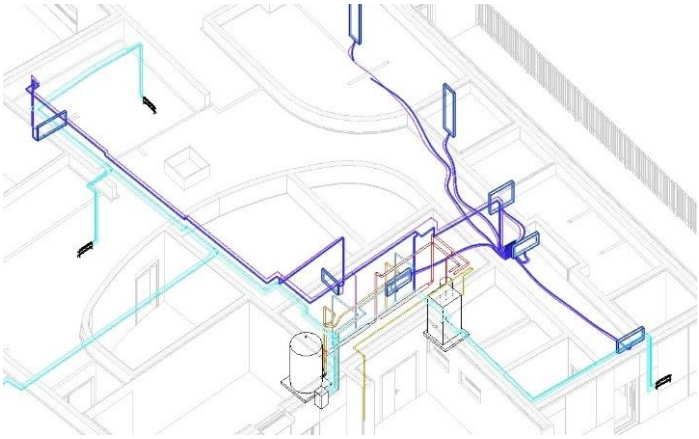


Figure 43 : Calcul de pertes de charge hydrauliques, réseau radiateur

Le rapport de calcul généré permet de visualiser l'ensemble des informations du réseau étudié, comme le montre la figure 44. Une représentation schématique du réseau apparait sur la gauche du rapport, le cheminement totalisant le plus de perte de charge apparait en surbrillance. Pour chaque élément du métré, on retrouve les grandeurs physiques correspondantes :

- longueur
- puissance thermique de l'émetteur
- débit hydraulique et vitesse dans le tronçon
- perte de charge singulière
- pertes de charge totale.

MagiCAD - Chauffage - Rapport de calcul de perte de charge

Modifier

Alimentation

Retour

Emplacement	Étage	Node	Type	Série	Produit	Taille	L [m]	Isolation	P [W]	qv [m³/h]	v [m/s]	dpt [Pa]	Facteur K	dp/L [kPa/m]	pt [Pa]	aju	Erreurs
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	20	2,4			0,4	0,26	107,5		0,045	1671,8		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard 2	20				0,4	0,26	17,9	0,520		1564,3		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	20	0,1			0,4	0,26	3,4		0,045	1546,4		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard 2	20				0,4	0,26	17,9	0,520		1543,0		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	20	0,1			0,4	0,26	3,2		0,045	1525,1		
	14_001_CVC rdc	1	Branches	Acier noir - Raccorde	Standard	20/20				0,4	0,26	34,4	1,000		1521,8		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	20	0,0			0,1	0,07	0,1		0,004	1487,4		
	14_001_CVC rdc		Coude-88	Acier noir - Raccorde	Standard	20				0,1	0,07	1,3	0,507		1487,3		
	14_001_CVC rdc		Réduction	Acier noir - Raccorde	Standard	20/15				0,1	0,07	1,3	0,175		1486,1		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	4,4			0,1	0,12	68,9		0,016	1484,8		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard 2	15				0,1	0,12	3,7	0,513		1415,9		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	1,4			0,1	0,12	21,7		0,016	1412,2		
	14_001_CVC rdc	2	Branches	Acier noir - Raccorde	Standard	15/15				0,1	0,12	7,3	1,000		1390,5		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	0,2			0,0	0,04	0,3		0,001	1383,2		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard	15				0,0	0,04	0,4	0,521		1382,8		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	2,8			0,0	0,04	4,0		0,001	1382,5		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard	15				0,0	0,04	0,4	0,521		1378,5		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	2,1			0,0	0,04	3,1		0,001	1378,1		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard	15				0,0	0,04	0,4	0,521		1375,0		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	0,1			0,0	0,04	0,1		0,001	1374,6		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard	15				0,0	0,04	0,4	0,522		1374,5		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	0,1			0,0	0,04	0,1		0,001	1374,1		
	14_001_CVC rdc	3	Radiateur		PLAN KLASIK 21-50	15			400	0,0		1322,7			1374,0		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	0,1			0,1	0,08	0,6		0,008	1390,5		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard	15				0,1	0,08	1,8	0,521		1389,9		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	0,4			0,1	0,08	3,3		0,008	1388,0		
	14_001_CVC rdc		Coude-90	Acier noir - Raccorde	Standard	15				0,1	0,08	1,8	0,522		1384,8		
	14_001_CVC rdc		Canalisation	Acier noir - Raccorde	Acier noir - Raccorde	15	3,7			0,1	0,08	31,0		0,008	1382,9		

Avertissement/Erreur précédente | Avertissement/Erreur suivante | Ok - Mise à jour du modèle | Annuler

Figure 44 : Module MagiCAD, rapport de calcul de pertes de charge hydrauliques

3.9.2. Calcul des pertes de charge des réseaux aérauliques

Les calculs de pertes de charge aérauliques sont réalisés de manière semblable, sur des réseaux ou tronçons de réseaux, comme représenté sur la figure 45.

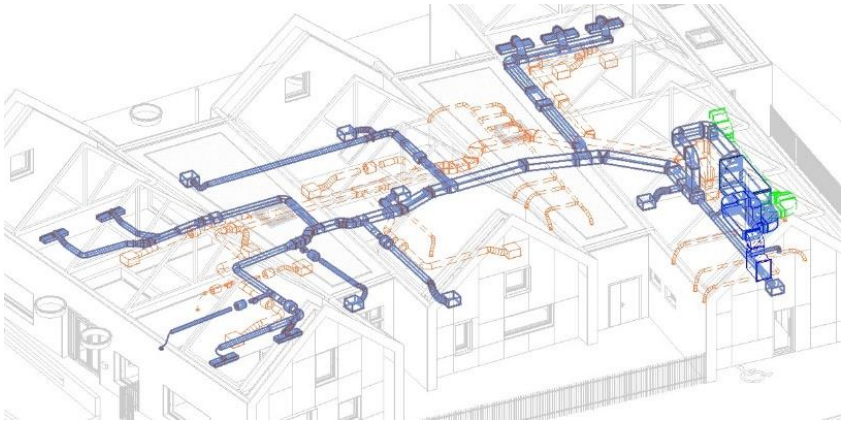


Figure 45 : Calcul de pertes de charge aéraulique, réseau de soufflage

De la même manière, comme présenté en figure 46 un rapport de calcul est généré, recensant chaque élément du métré ainsi que les grandeurs physiques correspondantes.
Les rapports sont dynamiques et permettent une interaction avec la maquette. L'exemple ci-dessous présente un cas dans lequel un message d'erreur concernant la plage de fonctionnement d'un diffuseur est généré.
Il est ainsi possible de localiser le diffuseur concerné mais également de visualiser sa courbe de fonctionnement directement depuis le rapport.

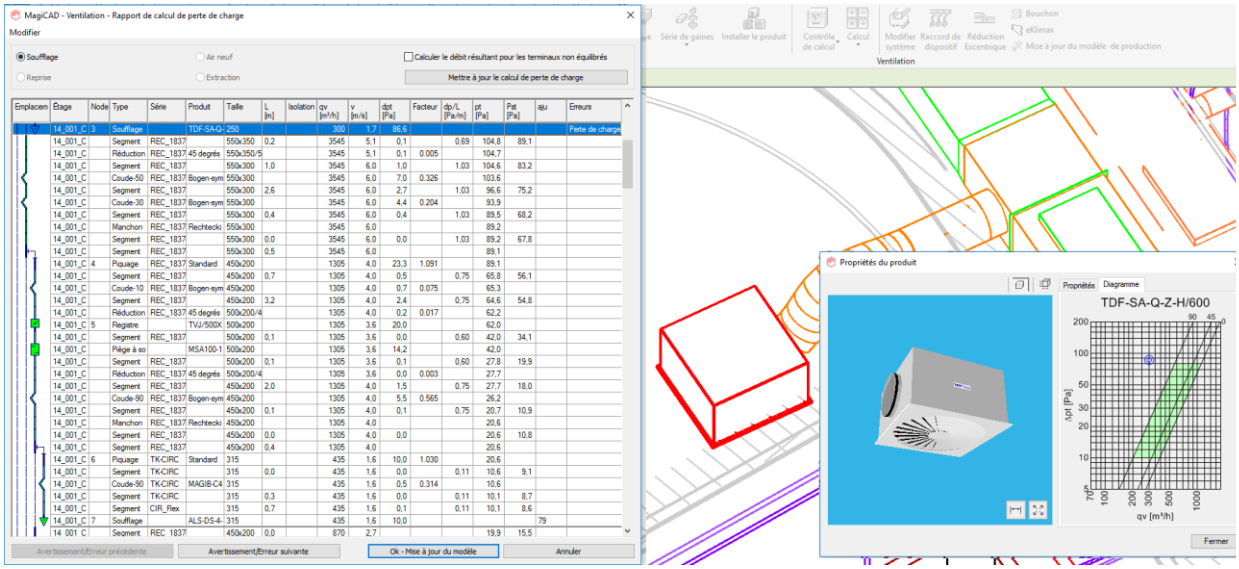


Figure 46 : Module MagiCAD, Rapport de calcul de pertes de charge aérauliques

3.10. Maquettage et Collaboration

En phase de conception, l'emploi de la maquette numérique offre une plus-value certaine pour la synthèse des lots techniques, mais également pour la gestion de l'influence de ces installations techniques, tant sur la structure du bâtiment que sur les lots architecturaux.

3.10.1. Synthèse technique

La maquette est modélisée en 3 dimensions comme un ensemble permettant une liaison constante entre tous les éléments qui la composent, garantissant un aménagement spatial conforme à la saisie, à chaque endroit.
A titre d'exemple, une coupe créée sur une vue en plan sera liée à celle-ci et toute modification engagée sur la maquette entrainera une mise à jour des vues concernées, contrairement à un logiciel de DAO classique, en 2 dimensions, dans lequel chaque modification nécessitera une mise à jour manuelle de toutes les coupes et vues concernées.

Le caractère collaboratif de la maquette permet une saisie en temps réel par les concepteurs des différentes spécialités. Ainsi, l'agencement des équipements techniques n'en est que facilité et garantit le respect des contraintes architecturales.
La figure 47 ci-dessous représente une vue en plan de la circulation du rez-de-chaussée. En faux plafond cheminent les réseaux de trois lots :

- Chauffage/Ventilation ; gaines de ventilation, tuyauteries de chauffage
- Electricité ; chemins de câble courant faible / courant fort
- Plomberie/Sanitaire ; tuyauteries d'eau froide, d'eau chaude sanitaire et de bouclage
-

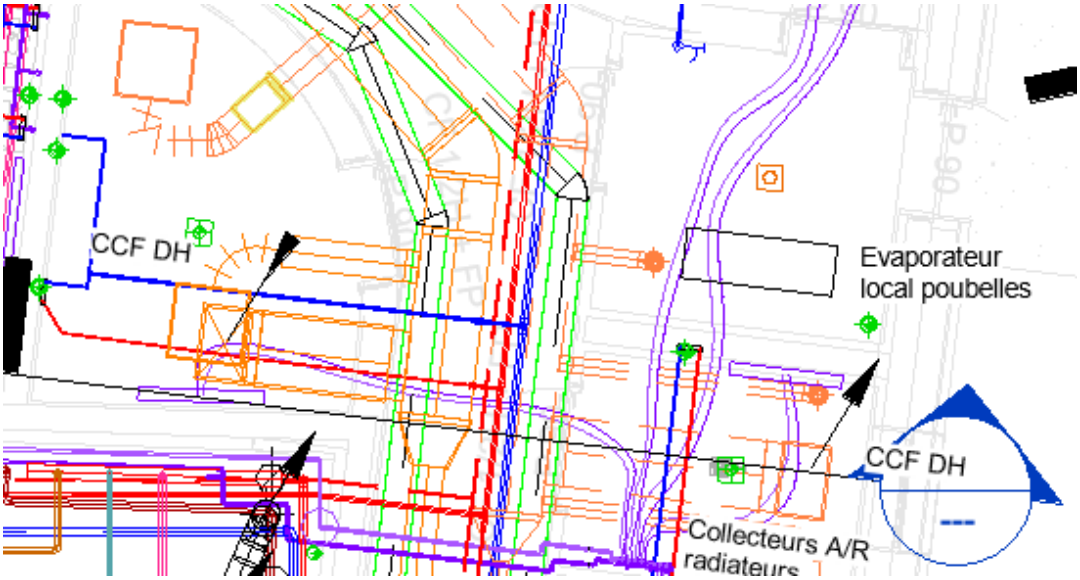


Figure 47 : Périscolaire d'Elsenheim, vue en plan, localisation coupe sur circulation

La figure 48 représente la coupe sur cette circulation, on y retrouve les réseaux mentionnés précédemment. L'organisation des cheminements est réalisée sans conflits et permet de respecter les hauteurs de faux-plafond demandées par l'architecte.

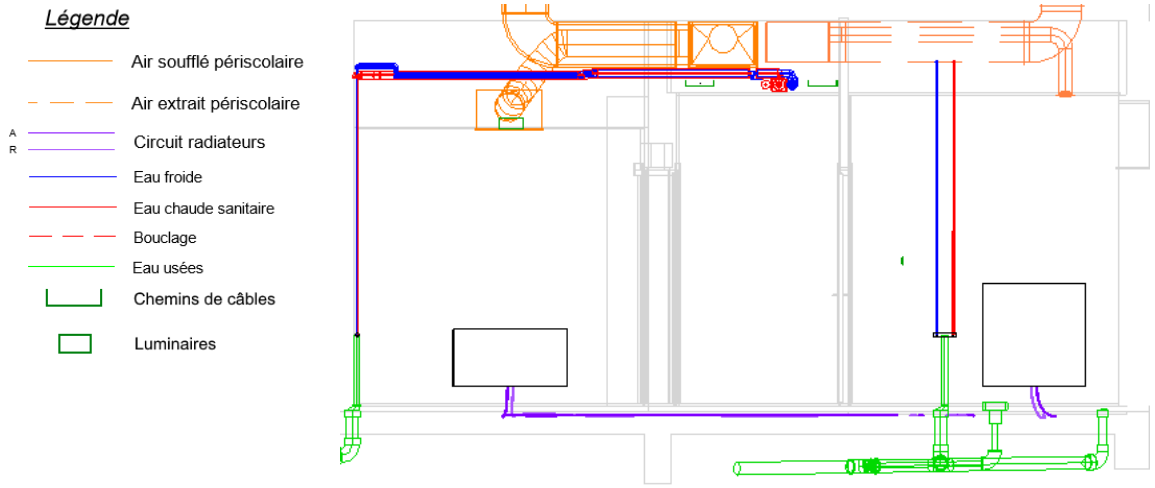


Figure 48 : Périscolaire d'Elsenheim, coupe sur circulation

3.10.2. Locaux techniques

Lors de la conception HVAC, le maquettage des locaux techniques est l'un des aspects nécessitant le plus d'attention. En effet, l'encombrement des équipements peut rapidement imposer une adaptation de l'architecture, surtout dans le cas de locaux atypiques, comme le montre l'exemple de la figure 49 avec un local installé en combles, sous une toiture mansardée.

Figure 49 : Périscolaire d'Elsenheim, local technique CTA périscolaire

Dans ce cas, le maquettage permet très tôt dans la conception d'appréhender les volumes et offre un support de discussion concret pour échanger avec l'architecte.

3.10.3. Réservations

Les cheminements de gaines et canalisations encombrantes à travers le bâtiment doivent être vérifiées afin d'adapter les études structurelles. Les réservations nécessaires, en voiles et dalles, sont communiquées au responsable du lot gros Œuvre.

Le module MagiCAD permet à partir des réseaux modélisés, de générer automatiquement les réservations. La figure 50 ci-dessous représente l'interface de configuration des réservations, le logiciel va pouvoir générer en fonction des dimensions du réseau et des côtes renseignées dans l'interface, la réservation adéquate.
Il est également possible de traiter les cas particuliers comme les clapets coupe feux, de fusionner les réservations proches l'une de l'autre, d'imposer des limites de diamètre pour les tuyauteries et de renseigner le lot technique titulaire de la réservation.

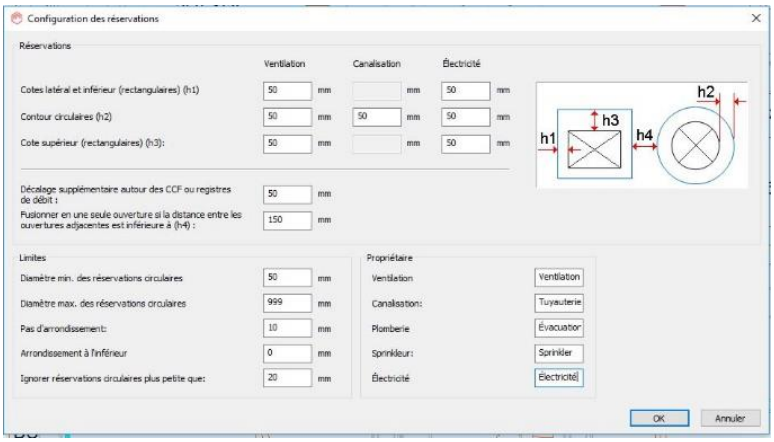


Figure 50 : Module MagiCAD, configuration des réservations

Un rapport est ensuite généré, comme le montre la figure 51, les réservations y sont listées et localisées avec indication de la taille de chaque ouverture. L'interface permet également de vérifier le statut de chaque réservation (acceptée ou refusée par l'ingénieur structure), d'attribuer des commentaires et de renseigner le propriétaire de la demande de réservation

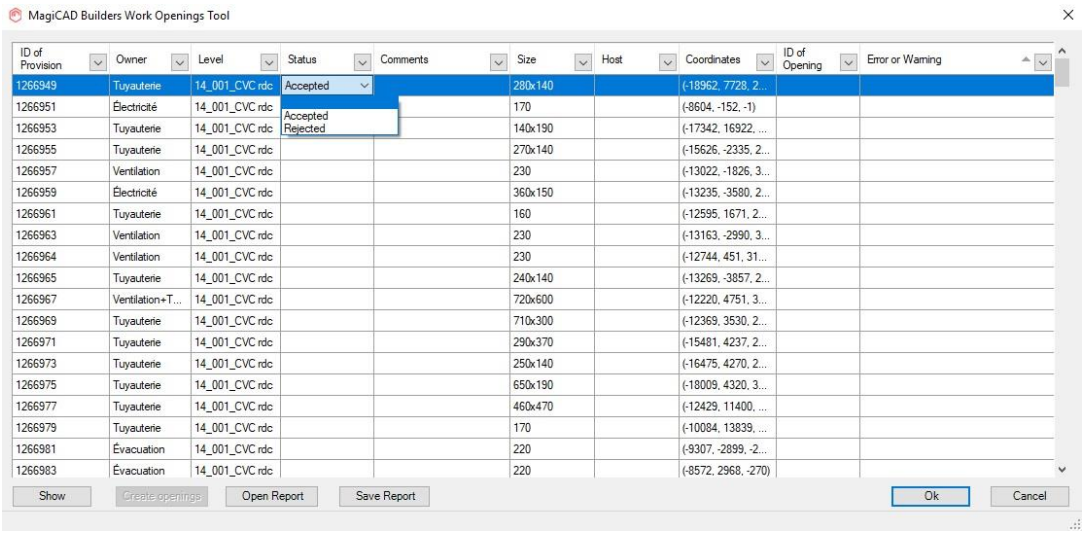


Figure 51 : Module MagiCAD, génération de réservations en passage de dalle

Les réservations créées pour la partie technique peuvent ensuite être transmises à l'ingénieur structure pour validation, suivant la méthodologie suivante :

- Les dispositions relatives aux réservations sont exportées et transmises à l'ingénieur structure.
- L'ingénieur structure importe les demandes de réservation dans la maquette structure
- Il renseigne le statut et des commentaires à chaque réservation
- Les réservations acceptées sont créées dans la maquette structure sous forme de vides
- Le projet structure est à son tour exporté pour import dans la maquette MEP, les commentaires sont alors visibles, les modifications nécessaires à la conception peuvent être réalisées et le processus redémarre

3.10.4. Détection de conflits

Les conflits entre réseaux peuvent être facilement contrôlés à l'aide de l'outil logiciel. La figure 52 représente l'interface de gestion.
Sur la partie gauche, on peut voir le choix de catégories que l'on souhaite contrôler (gaines, tuyauteries, chemins de câble). Sur la partie droite de la figure, les conflits sont listés dans un rapport. Il est également possible du visualiser les conflits sur la maquette, directement depuis le rapport.

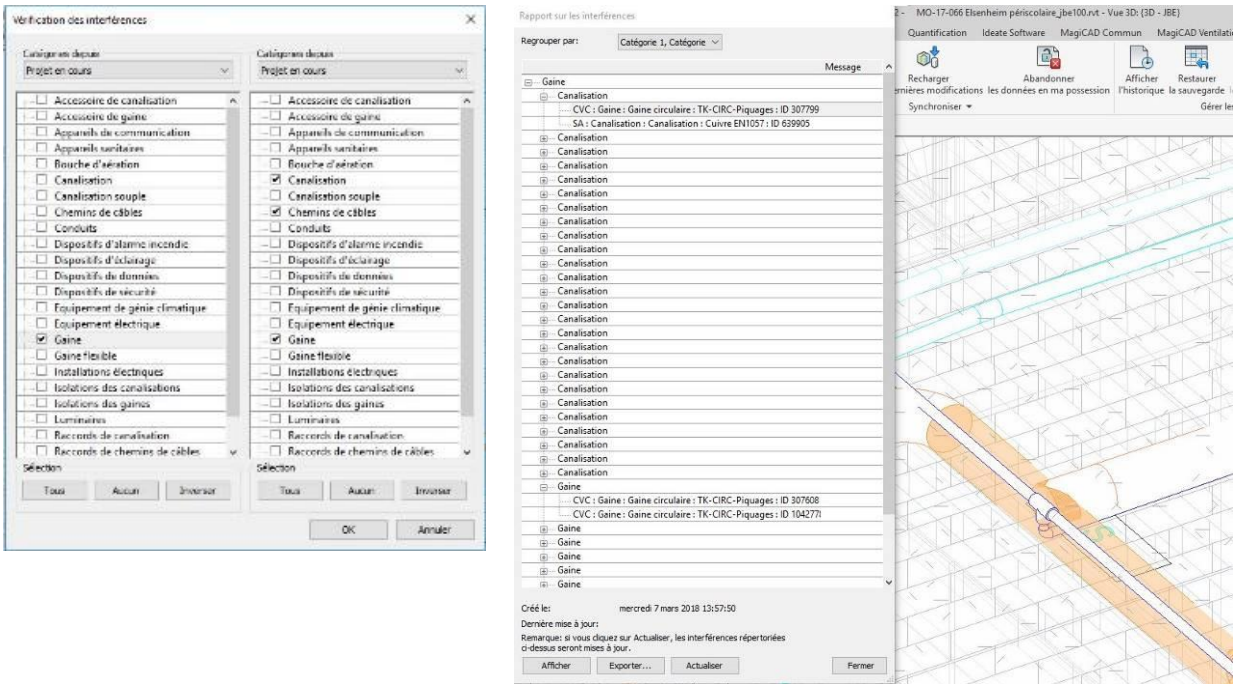


Figure 52 : Logiciel Revit, détection de conflits

Cet exemple traite d'une détection de conflits directement dans REVIT. Il est également possible d'effectuer cette opération à l'aide de visualiseurs, à partir d'exports IFC. Cette seconde méthodologie est indispensable lorsque les modeleurs utilisent des logiciels différents, les formats natifs n'étant pas compatibles entre eux.

3.10.5. Echanges BCF

Le format BCF a pour vocation de séparer la communication des messages décrivant les problèmes découverts sur la maquette numérique du modèle lui-même. Cette méthode permet alors d'échanger sur les problèmes (détection de conflits, demandes de modifications) sans transmission du modèle au complet.

La figure 53 représente un exemple d'édition de commentaires au format BCF, pour la synthèse technique d'une zone de faux-plafond. L'interface permet de créer une capture d'écran et d'éditer des commentaires dans une fenêtre de texte. Ces commentaires sont géolocalisés et, une fois exportés, ils pourront être exploités dans un visualiseur IFC par exemple, sans passer par le format natif.

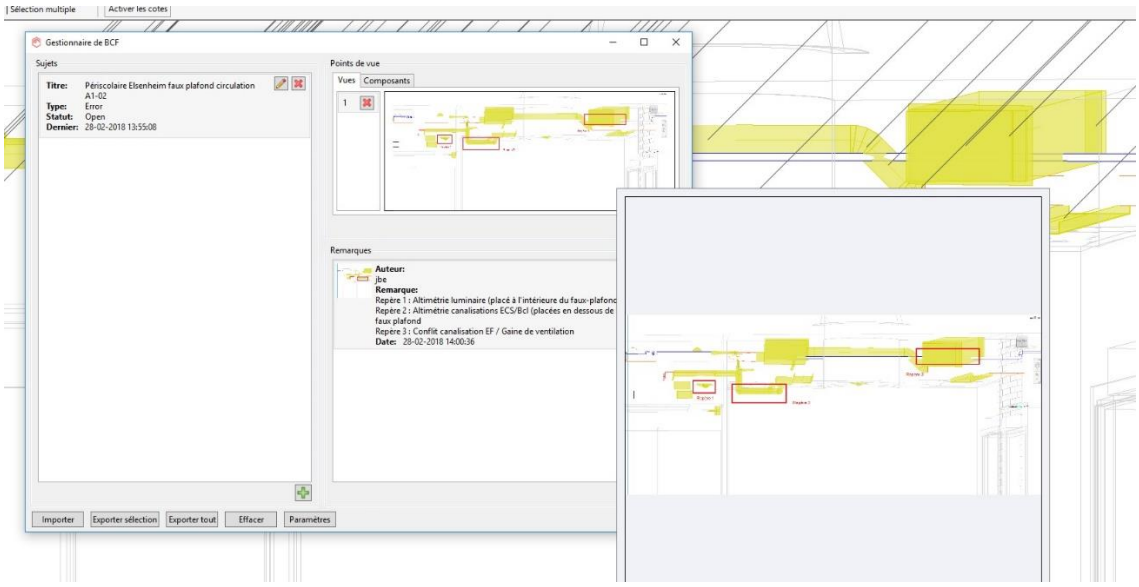


Figure 53 : Module MagiCAD, gestionnaire BCF

3.11. Retour d'expérience

3.11.1. Conception CVC

Les outils disponibles pour la sélection des terminaux et accessoires présentent un intérêt important pour la conception. La liaison des outils de sélection avec les systèmes préalablement configurés (cf. chap. 2.3.3.4.3 du présent document) assure la concordance des hypothèses de dimensionnements avec le matériel choisi (exemple régime de température pour les émetteurs de chauffage).
La richesse de la banque de données fabricants rend aisée la recherche du produit adapté à l'usage souhaité, tout en assurant une cohérence entre le modèle sélectionné et la réalité, d'un point de vue dimensionnel d'une part, mais également au niveau des paramètres techniques. De plus ces paramètres, sont facilement consultables (courbes de fonctionnement, caractéristiques acoustiques…).
Nous avons vu que le dimensionnement du plancher chauffant est réalisé à partir d'espaces (le logiciel Revit, considère les locaux sous forme d'espaces au sens de la conception HVAC). L'outil ne permet pas de scinder ces espaces. Ainsi, dans le cas de grands locaux où il est nécessaire de créer plusieurs circuits, le dimensionnement réalisé n'est pas pertinent.

Le calcul des pertes de charge s'appuie sur une méthode éprouvée : la détermination du coefficient de perte de charge à l'aide du nombre de Reynolds et la prise en compte des singularités. Les hypothèses de calcul sont directement issues des paramètres des systèmes (température, viscosité du fluides), des paramètres renseignés sur les équipements du réseau (pertes de charge singulières, puissance de l'émetteur, débit du diffuseur…), mais également du type de matériaux utilisé pour les réseaux (rugosité).
Cependant l'outil ne permet pas encore de considérer le foisonnement des débits de ventilation. Le dimensionnement des gaines et le calcul des pertes de charge aéraulique s'en trouvent impactés.

3.11.2. Conception Sanitaire

La méthode de dimensionnement des réseaux sanitaires s'appuie sur le DTU.60.11., en fonction des paramètres renseignés dans les familles d'appareils sanitaires, le nombre d'unités (jusqu'à 15 unités) puis par calcul du coefficient de simultanéité.
Le coefficient de simultanéité est calculé par la formule $y = 0{,}8/\sqrt{(x-1)}$. La valeur du numérateur de cette équation (0,8) est fixée par le DTU. Dans la pratique, nous avons l'habitude pour les cas courant, de considérer un numérateur égal à 1 pour marge de sécurité. De plus, pour les cas de forte simultanéité (casernes, internats…), certains fabricants de robinetterie préconisent de considérer un numérateur égal à 2. L'outil de dimensionnement ne permet pas ces adaptations, la valeur du numérateur n'étant pas modifiable.

Pour les WC équipés de robinets de chasse, le DTU prévoit des dispositions déférentes. En effet, ces robinets ne fonctionnant que pendant quelques secondes, ils ne sont pas comptabilisés dans le calcul au même titre que les autres appareils. Le DTU.60.11. précise :

- pour 3 robinets installés : 1 seul robinet en fonctionnement
- pour 4 à 12 robinets installés : 2 robinets en fonctionnement
- pour 13 à 24 robinets installés : 3 robinets en fonctionnement
- pour 25 à 50 robinets installés : 4 robinets en fonctionnement
- pour plus de 50 robinets installés : 5 robinets en fonctionnement

Le débit ainsi obtenu pour les robinets de chasse est à ajouter à la somme des débits obtenus pour les autres appareils après application du coefficient de simultanéité. Cette spécificité n'est pas intégrée dans l'outil de dimensionnement.

L'outil de calcul ne permet pas d'imposer une vitesse maximale dans la tuyauterie. Lors du dimensionnement, le diamètre nominal de tuyauterie choisi est sélectionné au plus proche du diamètre calculé (rapport débit probable/vitesse). Ainsi, il arrive que le tronçon soit dimensionné au diamètre nominal inférieur, avec une vitesse supérieure à celle désirée.

Le dimensionnement des tuyauteries de bouclage est réalisé de manière simplifiée, uniquement en fonction du débit et de la vitesse. L'outil ne tient donc pas compte des pertes de chaleur sur le réseau et ne permet pas de vérifier les conditions imposées par le DTU.60.11., à savoir une température supérieure ou égale à 50 °C en tout point du système de distribution.

Conclusion

Le BIM est un sujet vaste, il regroupe une multitude de notions, de possibilités, d'objectifs différents, et concerne l'ensemble des acteurs du projet. Ces notions font l'objet de travaux de normalisation, à l'échelle nationale, européenne et mondiale.
Pour le bureau d'étude l'appropriation de ces notions, est indispensable, car celles-ci conditionneront l'ampleur de la mission de maitrise d'œuvre, avec par exemple le choix des dimensions BIM demandées, les niveaux de détail de la maquette numérique exigés...

L'adoption de la démarche BIM, pour un bureau d'étude, représente un bouleversement de ses méthodes de travail. En cohérence avec la démarche d'amélioration continue de SERUE Ingénierie, plusieurs standards et procédures ont été créés. Ces outils sont évolutifs, ils font l'objet d'un suivi régulier, et leur exploitation permet de faciliter les tâches à accomplir.
Un modèle de convention a été rédigé. Cette convention contractualise les procédures BIM, elle est indispensable au bon déroulement du projet, mais permet également de garantir un livrable cohérent avec les attentes du Maitre d'ouvrage.
Des standards ont également été créés, pour la modélisation de la maquette. Si l'on parle de bouleversement des méthodes de travail, la mutation d'un logiciel de DAO en 2D vers un logiciel de CAO en 3D en est l'aspect le plus concerné. L'apprentissage du logiciel REVIT est long et fastidieux, et l'exploitation de ces standards est un atout pour optimiser le travail des BIM modeleurs confirmés d'une part, mais également pour accompagner les BIM modeleurs débutants.

Les conséquences de la conduite d'un projet BIM se retrouvent à plusieurs niveaux.
Nous avons vue à travers la courbe de Patrick MacLeamy, que l'exploitation d'une maquette permettait de détecter les incohérences, plus en amont dans les études, et d'ainsi limiter les coûts et le temps liés à leur correction.
La modélisation d'une maquette numérique, par son niveau de détail demande un investissement supplémentaire en termes de temps, par rapport à un processus classique. Nous avons cependant pu voir que l'utilisation des outils de dimensionnement, de calcul et de métrés, offre un gain de temps permettant de contrebalancer cet écart, qui prend tout son sens pour les projets de grande ampleur.
Toutefois, il est tout de même indispensable pour le bureau d'étude, de maitriser le temps nécessaire à la conception, tant pour estimer les honoraires, que pour garder le contrôler du planning de charge.
L'outil développé dans le cadre de ce mémoire, permet d'estimer le temps de modélisation, en fonction de la surface du bâtiment construit mais également de la complexité du projet. Cet outil s'appuie sur les informations collectées, cependant l'expérience est aujourd'hui encore faible, beaucoup de paramètres sont estimés. Cet instrument n'en est qu'à ses débuts mais est destiné à évoluer au fil de l'expérience accumulée.

A travers un exemple de projet traité en BIM, nous avons pu voir que la maquette numérique permet l'utilisation de nombreux outils d'aide à la conception. Ces outils s'appuient sur des conventions éprouvées, les règlementations, les normes ou les informations techniques établies par les industriels. Cependant il est important de garder un esprit critique. En effet ces outils ont des limites et il est nécessaire de les identifier en analysant les modes de calcul, afin de mesurer la pertinence de leur utilisation.

Le processus BIM permet d'améliorer la qualité de la conception. Son intégration dans les méthodes de travail du bureau d'étude, si elle est maitrisée, offre une réelle plus-value.

Bibliographie

[1]	Riedo, P. (2012). *Objectif BIM*. Consulté en octobre 2017, sur : http://www.objectif-bim.com
[2]	Dispenza, K. (2010, juin). The Daily Life of Building Information Modeling (BIM). Récupéré en octobre 2017, sur buildipedia : http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim
[3]	De Maestri, A. (2017). *Premiers pas en BIM*. PARIS: EYROLLES. 108 pages.
[4]	Valente, C. (2017, 12). *Le BIM dans le monde*. Consulté en janvier 2018, sur bimbtp.com : https://bimbtp.com/decouvrir-le-bim/le-bim-dans-le-monde/
[5]	Bleyenheuft, V. (2015, 02). *Les niveaux du BIM ou Level of BIM - Partie 1*. Récupéré en décembre 2017, sur hexabim : https://www.hexabim.com/blog/les-niveaux-du-bim-ou-level-of-bim-partie-1
[6]	Sarathi Chowdhury, P. (2016). *BIM Dimension Terminology*. Récupéré en décembre 2017, sur bimnited : http://bimnited.com/dimension.html
[7]	Fleischmann, A. (2016, 08). *"Are you ready for BIM?"*. Récupéré décembre 2017 sur digipara : https://www.digipara.com/are-you-ready-for-bim-bim-and-the-elevator-industry/
[8]	Trehen, J.-P., Boissieu, A., Valette, J.-B., Teissier, S., & Cornu, J. (2016). *Guide méthodologique de rédaction d'une convention BIM*. PARIS. 50 pages. Récupéré sur mediaconstruct.fr : http://www.mediaconstruct.fr/travaux/guide-de-convention-bim
[9]	Celnik, O., & Lebègue, E. (2014). *BIM & Maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*. Paris: EYROLLES. 767 pages.
[10]	Methodes btp. (2015, 04). Le BIM (maquette numérique) et la préparation de chantier. Récupéré en janvier 2018, sur methodesbtp : https://methodesbtp.com/articles/bim-preparation-chantier-batiment/
[11]	Grand, F., Ridgway, P., & Soubra, S. (2017, Avril). *Stratégie française pour les travaux de pré-normalisation et normalisation BIM appliquées au Bâtiment*. Paris : Plan de transition numérique dans le bâtiment. 32 pages.
[12]	ASa Conseil. (2015). *PDCA : démarche d'amélioration continue*. Consulté en janvier 2018, sur L'ISO 9001 Facile!: http://www.certification-iso-9001.fr/definitions/pdca/

[13]	Lasnier, S. (2013, 03). *PDCA - Plan Do Check Act : la qualité en 4 étapes*. Récupéré en janvier 2018, sur webstrat : https://www.webstrat.fr/blog/pdca-plan-do-check-act-qualite-4-etapes
[14]	Renou, J. (2015, octobre). *Le BIM sujet de l'année 2015 ; faisons le point !* Récupéré en mars 2018, sur conseils.xpair.com : https://conseils.xpair.com/actualite_experts/bim-2015-faisons-le-point.htm
[15]	MOP. (2008). *Guide à l'intention des maitres d'ouvrage publics pour la négotiation des rémunérations de maitrise d'œuvre.* PARIS : Les éditions des journaux officiels. 134 pages.
[16]	Ministère de l'égalité des territoires et du logement. (2012, 12). Arrêté du 28 décembre 2012. *relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques*. Paris. 79 pages.
[17]	CSTB. (2010, 07). Réglementation Thermique 2012. Paris. Consulté en février 2018, sur http://www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2012/presentation.html
[18]	CSTB. (2010). *Méthode de calcul Th-BCE 2012*. Paris. 1377 pages. Récupéré sur http://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/fiches/BO201114/met_20110014_0100_0007%20annexe.pdf
[19]	AFNOR. (2004, 03). NF EN 12831. *Systèmes de chauffage dans les bâtiments, Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base*. Paris. 72 pages.
[20]	AFNOR. (2010, 12). NF P 52-612/CN. *Complément national à la norme NF EN 12831 - Valeurs par défaut pour les calculs des articles 6 à 9*. Paris. 22 pages.
[21]	Ministère de l'égalité des territoires et du logement. (2012, 12). Arrêté du 28 décembre 2012, *relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques*. Paris. 79 pages.
[22]	Minne, C. (2015). *Détermination du renouvellement d'air neuf hygiénique selon le taux de CO2 souhaité dans les locaux de bâtiments tertiaires.* Mémoire d'ingénieur, Institut National des Sciences Appliquées, STRASBOURG. 55 pages
[23]	Journal officiel. (2004, 10). Règlement sanitaire départemental type. Paris. 53 pages.
[24]	AFNOR. (1996, 04). NF EN 442. *Radiateurs et convecteurs - Partie 1 : Spécifications et exigences techniques*. Paris. 22 Pages
[25]	AFNOR. (1974, 12). NF S30-010. *Acoustique - Courbes NR d'évaluation du bruit*. Paris.

[26]	AFNOR. (2007, 08). NF EN 15251. *Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique*. Paris. 52 pages.
[27]	AFNOR. (2013, 08). NF DTU 60.11. *Règles de calcul des installations de plomberie sanitaire et d'eaux pluviales*. Paris. 16 pages.
[28]	Progman. (2018). *MagiCAD pour Revit 2018 UR-3*. Consulté le 03 2018, sur help.magicad : http://help.magicad.com/mcrev/2018-UR-3/FR/annexes.html?ms=AkAAAEAACAAgIAJA&st=MA%3D%3D&sct=MA%3D%3D&mw=Mzcw

Table des annexes

Annexe 1 Sommaire convention BIM SERUE Ingénierie 100
Annexe 2 Liste des usages BIM [8] (TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016) 101
Annexe 3 Catalogue de taille pour la tuyauterie cuivre 104
Annexe 4 Tableau de propriétés physique de l'eau 105
Annexe 5 Calcul réglementaire, catalogue des parois 106
Annexe 6 Calcul réglementaire, catalogue des ponts thermiques 108
Annexe 7 Calcul réglementaire, caractéristiques détaillées des menuiseries extérieures 110
Annexe 8 Notice de bonnes pratiques pour la modélisation architecturale 112
Annexe 9 Valeurs par défaut du coefficient d'exposition ([20] AFNOR, 2010) 113
Annexe 10 Valeurs par défaut du facteur correctif de hauteur ([20] AFNOR, 2010) 114
Annexe 11 Facteur de relance, pour les bâtiments non résidentiels ([20] AFNOR, 2010) 115
Annexe 12 Détermination de l'indice NR du diffuseur ([25] AFNOR, 1974) 116
Annexe 13 Niveaux de pression acoustique à respecter suivant le type de local ([26] AFNOR, 2007) .. 117
Annexe 14 Valeurs des coefficients de pertes de charges singuliers, pour les circuits hydrauliques ([28] Progman, 2018) 118
Annexe 15 Valeurs des coefficients de pertes de charges singuliers, pour les circuit aérauliques ([28] Progman, 2018) 120

Annexe 1
Sommaire convention BIM SERUE Ingénierie

1 - PROJET 2
1.1 - Présentation du projet 2
1.2 - Avancement du projet 2
1.3 - Suivi d'indice 2
1.4 - Localisation du projet 2
1.5 - Entités intervenantes 2
2 - OBJECTIFS BIM 3
2.1 - Objectifs BIM 3
2.2 - Usages BIM 3
2.3 - Hiérarchisation des usages 4
3 - EQUIPE BIM 5
3.1 - Cellule BIM du projet 5
3.2 - Répartition des tâches au sein de l'équipe BIM 6
3.3 - Membre de l'équipe BIM 7
3.4 - Documentation BIM produite 7
3.5 - Parc logiciels 7
4 - STANDARDISATION DE LA MODELISATION 8
4.1 - Classification et codification 8
4.2 - Convention de nommage des documents 8
4.3 - Convention de nommage des éléments de la maquette 8
4.4 - Unités de mesures 8
4.5 - Géoréférencement du projet et coordonnées locales 8
4.6 - Niveau de développement 8
4.7 - Découpage des modèles 8
4.8 - Règles particulières de modélisation 9
5 - PROCESSUS BIM 10
5.1 - Plateforme collaborative 10
5.2 - Processus de diffusion 10
5.3 - Échanges de données 10
5.4 - Réunions et fréquence 10
5.5 - Les contrôles 11
5.6 - Jalons BIM 12
5.7 - Production des livrables 12
5.8 - Plateforme collaborative 12
6 - GLOSSAIRE 14

Annexe 2
Liste des usages BIM [8] (TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016)

	Intitulé	*Description* (rend compte succinctement du processus, ses particularités et ses objectifs.)
01	DEFINITION, ANALYSE ET VERIFICATION DU PROGRAMME	Processus durant lequel un programme de construction peut être défini, analysé, et utilisé en lien avec la (les) maquette(s) numérique(s) pour évaluer les performances du projet en cours ou réalisé. (analyse des exigences spatiales, contrôle de l'adéquation entre projet conçu et programme ...).
02	ANALYSE DU SITE	Un processus dans lequel les outils BIM / SIG sont utilisés pour évaluer les propriétés d'une zone donnée, ceci en vue de déterminer l'emplacement du site la plus optimale pour un projet futur. Ce processus de recueil et d'analyse de données peut avoir comme objectif de sélectionner le site et/ou de positionner le bâtiment dans son environnement.
03	MODÉLISATION DU SITE / DONNÉES EXISTANTES	Ce processus concerne l'acquisition, la collecte et le traitement de données sous forme de maquette numérique décrivant l'environnement existant d'un projet. L'environnement existant peut être constitué d'un site (contexte du projet), d'une installation existante, sur sa totalité ou sur une zone spécifique ou encore d'un projet futur à long terme (ZAC…) En fonction du cahier des charges défini, trois types de données de sortie sont possibles : • Modèle 3D : information géométrique réalisée à partir de relevés ; • Maquette Numérique : modèle 3D contenant des informations structurées sur l'existant ; • Base de données alphanumériques : base de données d'informations de l'existant sans données géométriques. Suivant les intervenants et en fonction de la demande, ces données pourront être utilisées pour : • Base pour la conception d'une nouvelle construction, • Base pour la conception d'un projet de restructuration, • En gestion de patrimoine (fourniture de la documentation de l'environnement pour des utilisations futures par exemple), • En avancement de chantier (contrôle qualité), • Pour anticiper la déconstruction,…
04	COMMUNICATION DU PROJET	Un processus durant lequel la maquette numérique est utilisée pour s'immerger virtuellement dans le projet. Ce processus BIM permet, même à des non experts de la lecture de certains documents techniques (maître d'ouvrages, riverains, futurs usagers, pompiers…) de s'approprier le projet (en termes d'espace, d'ergonomie, de confort d'utilisation, etc.). Il peut permettre de faciliter la prise de décisions dès les premières phases de conception et tout au long du projet, de tester virtuellement des variantes, des choix de matériaux, des procédures, …
05	REVUE DE PROJET	Un processus dans lequel les parties intéressées s'appuient sur des maquettes numériques pour évaluer (en vue de valider) plusieurs aspects du projet. Ces aspects du projet sont évalués en fonction des métiers impliqués dans le processus. Le processus de revue de projet, et en particulier les rôles des contributeurs, doit être défini en prenant en compte les types de contrats et les phases de développement. Les rôles des contributeurs peuvent donc évoluer en fonction des phases.
06	PRODUCTION DES LIVRABLES	Un processus dans lequel une maquette numérique est utilisée pour créer des livrables (dessins, jeux de dessins, fichiers d'l'impression 3D, etc) tout au long du cycle de vie de l'ouvrage. Ces livrables sont donc cohérents entre eux et avec la maquette numérique dont ils sont issus. La saisie d'informations complémentaires sur ces livrables peut être nécessaire si elles ne sont pas contenues dans la maquette numérique: détails de construction, épaisseur de modèle STL (impression 3D), etc. La traçabilité des livrables ainsi que le statut contractuel des données (visa, etc.) devront être précisés pour chaque projet.
07	ETUDES ANALYTIQUES (STRUCTURE, LUMIÈRE, PERFORMANCES ENV., etc …)	Processus par lequel la maquette numérique est utilisée comme donnée d'entrée de simulations ou d'analyses thermiques, énergétiques, structurelles, environnementales, sismiques, etc. Ce processus peut impliquer d'enrichir la maquette numérique avec des informations analytiques.
08	PLANIFICATION 4D ET 5D	Processus par lequel une maquette numérique est associée à un planning. La dimension temps est utilisée pour planifier la phase d'exécution d'un projet de déconstruction, de rénovation ou de construction. La planification 4D est un outil de visualisation et de communication qui peut fournir à une équipe de projet, y compris le propriétaire, une meilleure compréhension des étapes du projet global, d'une zone particulière, voire même de l'aménagement d'un quartier. Ce processus consiste en un rapprochement numérique d'un modèle de données BIM et d'un planning pour un projet déterminé ; le modèle de données BIM pouvant contenir les matériels et les ouvrages provisoires liés à l'exécution du chantier. Les niveaux de détails et la décomposition en objets de la maquette numérique correspondent au niveau de détail du planning qui est associé à cette maquette numérique. (Par exemple, pour un planning jour par jour, un plancher béton est découpé en autant d'objets que de jours de coulage, ce qui ne sera pas nécessaire pour un planning 4D mois par mois) Les données BIM sont structurées pour être facilement associées aux données plannings, via par exemple une codification (comme WBS - Work Breakdown Structure). Ces associations peuvent être dans ce cas automatisables. La planification 4D peut être complétée avantageusement par la planification des ressources. Exemples : courbe de main d'œuvre sur le chantier, planning des volumes de béton coulés. Il s'agit alors de planification 5D. La planification 5D n'est possible que si les objets du modèle 3D sont enrichis ou liés à des ressources associées enregistrées directement dans le BIM ou bien dans d'autres bases de données. Ces ressources sont « statiques » (nature des matériaux, produits manufacturés, …), « dynamiques » (volumes, surfaces,…) ou bien « calculées » (main d'œuvre, coûts, …).

09	**EXTRACTION DES QUANTITES ET VALEURS SIGNIFICATIVES**	Processus par lequel des quantités sont extraites des éléments de la maquette numérique. Ces extractions prennent la forme de bases de données organisées en nomenclatures, structurées par catégories d'objets (lots…) et par valeurs significatives. Ces extractions peuvent s'appuyer sur des jeux de propriétés (PSET), des attributs, une composition, une référence à un type et des quantités de base. Les valeurs significatives sont les données permettant de caractériser le projet (ces valeurs peuvent être spécifiques à un acteur), on retrouve notamment : • Toutes les types de surfaces : Surface de plancher (PC), surface hors œuvre totale (SHOT), surface utile (SU), surface habitables (SHAB), Surface dans Œuvre (SDO), Emprise au sol du bâtiment (EAS), surface du terrain • Hauteur d'étage de dalle à dalle (hors plancher technique), hauteur totale • SDO par entité de programme (définition commune à proposer) • Surfaces développées façades y compris acrotères : plein, châssis, mur rideau, double façades, etc… • Surfaces développées façades enterrées • Surfaces de couverture et toiture • Nombre d'entité spécifique au programme (de logements, de lits et places, de salles d'opération – nb logements- Nb de place de parking extérieures, enterrées et aériens La documentation des propriétés des éléments via des nomenclatures adaptées permet de structurer la base de données. Cette base données est visible sur un tableur, ou peut être importée dans des logiciels métiers spécifiques de métré, tout au long du cycle de vie de la maquette pour l'étude, la réalisation, la planification, la programmation, la gestion du patrimoine etc.
10	**GESTION DE CONFLITS À PARTIR DE MAQUETTES NUMÉRIQUES (SYNTHÈSE GÉOMÉTRIQUE ET TECHNIQUE)**	Processus par lequel sont vérifiées la coordination et la cohérence spatiale, réglementaire, technique et temporelle de plusieurs éléments d'une même discipline et de plusieurs disciplines entre elles, au moyen des maquettes numériques. Le processus doit permettre de déterminer les conflits en confrontant les modèles 3D, les données programmatiques, les propriétés système, les méthodes de construction, les contraintes de maintenance et d'exploitation… Le but de ce processus est de détecter les conflits et d'accompagner leur gestion jusqu'à leur résolution (avec les acteurs concernés).

11	**ORGANISATION ET COORDINATION TOUS CORPS D'ETAT POUR L'EXECUTION**	Processus par lequel sont assurées la synthèse et la coordination des méthodes de construction des différents Corps d'Etat en intégrant leurs maquettes numériques respectives. Ce processus peut impliquer : Coordonner et organiser entre eux les différents Corps d'Etat, en intégrant les ouvrages provisoires, ainsi que leurs méthodologies de construction (Chaque Corps d'Etat reste responsable de ses propres méthodologies de construction) Mettre en place des cotations entre les éléments de différents métiers pour faciliter l'industrialisation et l'assemblage des composants et des produits manufacturés fabriqués en usine. Mettre en place des contrôles qualité par des rapprochements entre la géométrie des ouvrages exécutés et les géométries prévues dans les modèles BIM. Usage BIMs liés : Revue de projet, Modélisation de l'existant, Planification 4D,…
12	**SYSTEMES CONSTRUCTIFS - PREFABRICATION TOUS CORPS D'ETATS**	Processus par lequel sont définis les modes constructifs des ouvrages TCE, et par lequel sont identifiés les moyens correspondants à mettre en place. Ce processus pourra définir les modalités de préfabrication des composants.
13	**SUPPORT À LA LOGISTIQUE**	Processus par lequel sont assurées la synthèse et la coordination de la logistique des différents Corps d'Etat en intégrant leurs maquettes numériques respectives. Ce processus peut impliquer de : • Assurer le suivi logistique des différents Corps d'Etat et des matériels nécessaire à leur mise en œuvre, comprenant la commande, le suivi de la fabrication, du transport, de la réception sur chantier et du stockage. • (Chaque Corps d'Etat reste responsable de ses propres commandes/fabrication et approvisionnement) • Assurer le suivi du tri et de l'évacuation des déchets de chantier. • Assurer le suivi de l'évacuation des matériels nécessaire au chantier. • Mettre en place des revues de projet BIM entre les différents métiers sur les aspects logistiques. • Assurer le suivi des facturations. La gestion en maquette numérique de la logistique peut impliquer de centraliser dans la base de données des informations de suivi des composants (« en cours de fabrication », « en commande », « livré sur chantier »…). Usage BIM liés : Revue de projet, Planification 4D,…
14	**ANALYSE DES PERFORMANCES EFFECTIVES DE L'OUVRAGE (ET COMPARAISON AUX PERFORMANCES SIMULÉES)**	Un processus qui confronte la performance d'un ouvrage à celle qui était spécifiée. Cela comprend le fonctionnement des systèmes et la consommation d'énergie de l'ouvrage. Cette analyse peut aussi comprendre, sans que ce soit exhaustif, les performances environnementales, les études de façades ventilées, l'analyse de l'éclairage, la simulation des mouvements d'air internes et externes à l'aide de logiciels de Mécanique des Fluides Numériques (MFN) ou CFD (Computational Fluid Dynamics), et l'analyse solaire, etc.

15	OPERATIONS PREALABLES A LA RECEPTION	Processus par lequel les OPR (Opérations Préalables à la Réception) sont effectuées en s'appuyant sur les maquettes numériques de l'ouvrage pour formaliser, suivre et lever les réserves en vue de la Réception de l'ouvrage par le MOA.
16	CONSOLIDATION DES DOE ET DIUO	Processus par lequel le DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés) et le DIUO (Dossier d'Interventions Ultérieures sur l'Ouvrage) sont produits (totalement ou partiellement) à partir des maquettes numériques et diffusés à la MOA. Ce processus s'appuie sur la consolidation des maquettes.
17	GESTION DES OUVRAGES ET ÉQUIPEMENTS	Processus par lequel les ouvrages physiques, systèmes techniques, équipements et éléments de l'environnement sont définis, maintenus, mis à jour en cas de modification, et servent la gestion opérationnelle et maintenance préventive. Le système de gestion et de maintenance (GMAO) du bâtiment est lié à un modèle BIM « as-built » des ouvrages et équipements, de manière bidirectionnelle. Ces données doivent servir efficacement les besoins du maître de l'ouvrage et des utilisateurs pour optimiser les coûts, le confort d'utilisation tout en maîtrisant les usages et consommations énergétiques. Ce processus de gestion de données pour l'exploitation et la maintenance assiste les prises de décision financière, la planification de l'exploitation à court et long terme, et la génération de planning opérationnel pour les équipes de maintenance. Ce processus peut également impliquer la Gestion des Actifs avec les maquettes numériques. Ce processus utilise les données pour alimenter un système de gestion de l'actif, dont l'objectif est de : • déterminer les incidences financières de la modification ou la mise à niveau des actifs de construction, • séparer les coûts des immobilisations à des fins fiscales financiers, • et maintenir une base de données complète et à jour qui peut produire la valeur des actifs d'une entreprise.
18	GESTION DES ESPACES	Un processus dans lequel la maquette numérique est utilisée pour répartir efficacement, gérer et suivre les espaces appropriés et les ressources connexes dans une installation. Ce processus permet d'analyser l'utilisation actuelle de l'espace, de planifier des transitions vers des changements applicables, gestion des emménagements et déménagements. Ce processus est alors particulièrement utile lors de la rénovation d'un projet où des segments de construction resteront occupés. La gestion de l'espace assure la répartition appropriée des ressources spatiales tout au long du cycle de vie de l'ouvrage. Usage BIM liés : Consolidation du DOE et DIUO, Gestion des ouvrages et équipements, …

19	CONTRÔLE DE CONFORMITÉ AUX EXIGENCES RÉGLÉMENTAIRES À PARTIR DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE	Processus dans lequel la maquette numérique est utilisée afin de contrôler si le projet conçu respecte des exigences, notamment celles contenues dans le programme du maître d'ouvrage (surfaces, courbes de visibilité de spectateurs, nombre de sièges, hauteurs minimales sous plafond, nombre de places de parking, …) et/ou à des contraintes réglementaires (code d'urbanisme, accessibilité handicapés, sécurité incendie, etc).
20	MODELISATION DE CONCEPTION	Un processus par lequel une ou plusieurs solutions logicielles sont utilisées pour développer un modèle d'information du bâtiment en fonction des critères importants pour la traduction de la conception du bâtiment. Les outils de création créent des modèles tandis que les outils d'audit et d'analyse et de calculs ajoutent le niveau d'exigence de l'information du modèle requis pour le projet. La plupart des outils d'audit et d'analyse peuvent être utilisés pour la Revue de Conception et la Modélisation Analytique. Ce processus est une condition sine qua non à tous les autres processus d'usage BIM.
21	MODELISATION DES OBJETS	Un processus par lequel on intègre des familles de composants de types génériques et/ou de fabricants. Ces Objets serviront, dans les étapes du projet, à recueillir, de la part des contributeurs, les valeurs d'exigences ou projets pour chacune des propriétés indexées. Ils serviront également dans ce même processus à définir les niveaux de détail attendus.
22	CONSULTATION, MISE AU POINT ET PASSATION DES MARCHES	Processus par lequel la maquette numérique est exploitée pour la consultation des entreprises, l'établissement du marché de travaux et les propositions de variantes.
23	MODELISATION DE LA CONSTRUCTIBILITE DES OUVRAGES	Processus par lequel, en préparation de chantier, une solution logicielle 3D est utilisée pour développer un modèle d'information du bâtiment en fonction des critères pour la traduction de la constructibilité des ouvrages.

Annexe 3
Catalogue de taille pour la tuyauterie cuivre

Segment: Cuivre EN1057

Propriétés

Rugosité: 0.00150 mm

Description du segment: Tube cuivre - EN1057

Catalogue de tailles

Nouvelle taille... | Supprimer la taille

Nominal	ID	OD
14.000 mm	12.000 mm	14.000 mm
18.000 mm	16.000 mm	18.000 mm
22.000 mm	19.600 mm	22.000 mm
28.000 mm	25.600 mm	28.000 mm
35.000 mm	32.000 mm	35.000 mm
42.000 mm	39.000 mm	42.000 mm
54.000 mm	50.000 mm	54.000 mm
64.000 mm	60.000 mm	64.000 mm
76.000 mm	72.000 mm	76.000 mm
89.000 mm	85.000 mm	89.000 mm
108.000 mm	103.000 mm	108.000 mm
133.000 mm	127.000 mm	133.000 mm
159.000 mm	153.000 mm	159.000 mm
219.000 mm	213.000 mm	219.000 mm
267.000 mm	261.000 mm	267.000 mm

Source : Logiciel REVIT, paramètres de génie climatique

Annexe 4
Tableau de propriétés physique de l'eau

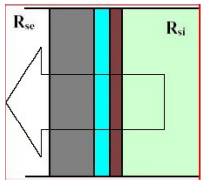
Nom du fluide: Eau

Nouvelle température... | Supprimer la température

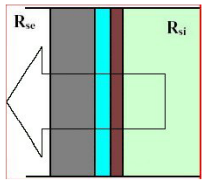
Température	Viscosité dynamique	Densité
-1.00 °C	0.00179 Pa-s	999.8725 kg/m³
4.44 °C	0.00156 Pa-s	999.8725 kg/m³
7.00 °C	0.00143 Pa-s	999.9600 kg/m³
10.00 °C	0.00131 Pa-s	999.7123 kg/m³
12.00 °C	0.00124 Pa-s	999.5800 kg/m³
14.00 °C	0.00117 Pa-s	999.3300 kg/m³
15.56 °C	0.00112 Pa-s	998.9114 kg/m³
16.00 °C	0.00111 Pa-s	999.0300 kg/m³
18.00 °C	0.00105 Pa-s	998.6800 kg/m³
19.00 °C	0.00103 Pa-s	998.4900 kg/m³
21.11 °C	0.00098 Pa-s	997.9503 kg/m³
26.67 °C	0.00086 Pa-s	996.5086 kg/m³
30.00 °C	0.00080 Pa-s	995.7100 kg/m³
32.22 °C	0.00076 Pa-s	994.9068 kg/m³
35.00 °C	0.00072 Pa-s	994.0800 kg/m³
37.78 °C	0.00068 Pa-s	992.9845 kg/m³
43.33 °C	0.00061 Pa-s	990.9021 kg/m³
48.89 °C	0.00056 Pa-s	988.4994 kg/m³
50.00 °C	0.00055 Pa-s	988.0200 kg/m³
54.44 °C	0.00051 Pa-s	985.9364 kg/m³
55.00 °C	0.00050 Pa-s	985.6500 kg/m³
60.00 °C	0.00047 Pa-s	983.2133 kg/m³
65.56 °C	0.00043 Pa-s	980.1698 kg/m³
70.00 °C	0.00040 Pa-s	977.6300 kg/m³
71.11 °C	0.00040 Pa-s	977.1263 kg/m³
76.67 °C	0.00037 Pa-s	973.7624 kg/m³
80.00 °C	0.00036 Pa-s	971.6000 kg/m³

Source : Logiciel REVIT, paramètres de génie climatique

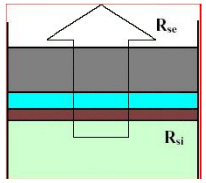
Annexe 5
Calcul réglementaire, catalogue des parois

Caractéristiques générales		Caractéristiques détaillées		Valeurs calculées		Schéma
Nom	MEXT- Mur extérieur isolé	**Paroi chauffante**	Chauffante	**Sété**	0.013	
Inclinaison	Paroi verticale ou angle > 60°	**Surf. tot.**	1.00 m²	**Rsi**	0.130 m².K/W	
Méthode	Détaillée	**Gr. Ashrae mur**	Groupe A	**Rse**	0.040 m².K/W	
Contact	L'extérieur	**Réf CTS**	32	**Uété**	0.288 W/(m².K)	
Uhiver	0.290 W/(m².K)	**Couleur**	Moyen	**UAshrae**	0.288 W/(m².K)	
Épaisseur	0.400 m	**Alpha**	0.60	**Rparoi**	5.087 m².K/W	
Masse	497.000 kg/m²	**Brise-soleil**	Absent	**Rtotale**	5.257 m².K/W	
Etat	-			**Uc**	0.190 W/(m².K)	
				Up	0.290 W/(m².K)	

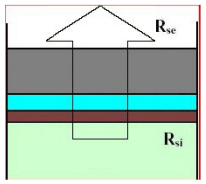
Nature	Désignation	Certif.	Ep. m	Lambd. W/m.K	Résist. m².K/W	Masse kg/m³	Mu	Cp J/(kg.K)
Béton	Béton plein armé (1 < % d'acier < ou = 2%)		0.200	2.300	0.087	2350	130	1000
Isolant	masse volumique sèche (p) inférieure à 150		0.200	0.040	5.000	135	1	1030
Singularité	Fixation de l'isolant par chevilles nylon (5u/m²)			0.100				

Caractéristiques générales		Caractéristiques détaillées		Valeurs calculées		Schéma
Nom	MINT- Mur intérieur sur LNC	**Paroi chauffante**	Non chauffante	**bmax**	10.000 W/(m².K)	
Inclinaison	Paroi verticale ou angle > 60°	**Surf. tot.**	1.00 m²	**Rsi**	0.130 m².K/W	
Méthode	Détaillée	**Réf CTS**	32	**Rse**	0.130 m².K/W	
Contact	L'intérieur (un autre local)	**Séparation**	Oui	**Uété**	0.317 W/(m².K)	
Uhiver	0.320 W/(m².K)			**UAshrae**	0.326 W/(m².K)	
Épaisseur	0.300 m			**Rparoi**	2.865 m².K/W	
Masse	473.000 kg/m²			**Rtotale**	3.125 m².K/W	
Etat	-			**Uc**	0.320 W/(m².K)	
				Up	0.320 W/(m².K)	

Nature	Désignation	Certif.	Ep. m	Lambd. W/m.K	Résist. m².K/W	Masse kg/m³	Mu	Cp J/(kg.K)
Isolant	Référence GM		0.100	0.036	2.778	30	60	1450
Béton	Béton plein armé (1 < % d'acier < ou = 2%)		0.200	2.300	0.087	2350	130	1000

Caractéristiques générales		Caractéristiques détaillées		Valeurs calculées		Schéma
Nom	DH- Plafond béton sous locaux tech	**Paroi chauffante**	Non chauffante	**Umax**	0.300 W/(m².K)	
Inclinaison	Toiture ou angle <=60°	**Surf. tot.**	1.00 m²	**Rsi**	0.100 m².K/W	
Méthode	Détaillée	**Réf CTS**	18	**Rse**	0.100 m².K/W	
Contact	L'intérieur (un autre local)	**Séparation**	Oui	**Uété**	0.291 W/(m².K)	
Uhiver	0.294 W/(m².K)			**UAshrae**	0.294 W/(m².K)	
Épaisseur	0.400 m			**Rparoi**	4.965 m².K/W	
Masse	475.000 kg/m²			**Rtotale**	5.165 m².K/W	
Etat	-			**Uc**	0.194 W/(m².K)	
				Up	0.294 W/(m².K)	

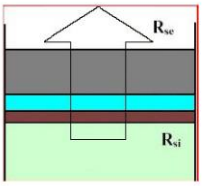
Nature	Désignation	Certif.	Ep. m	Lambd. W/m.K	Résist. m².K/W	Masse kg/m³	Mu	Cp J/(kg.K)
Isolant	masse volumique sèche (p) inférieure à 30		0.200	0.041	4.878	25	1	1030
Singularité	Fixation isolant suspente nylon (5u/m²)			0.100				
Béton	Béton plein armé (1 < % d'acier < ou = 2%)		0.200	2.300	0.087	2350	130	1000

Caractéristiques générales		Caractéristiques détaillées		Valeurs calculées		Schéma
Nom	DH- Plafond bois sous combles ventilés	**Paroi chauffante**	Non chauffante	**Umax**	0.300 W/(m².K)	
Inclinaison	Toiture ou angle <=60°	**Surf. tot.**	1.00 m²	**Rsi**	0.100 m².K/W	
Méthode	Détaillée	**Réf CTS**	3	**Rse**	0.100 m².K/W	
Contact	L'intérieur (un autre local)	**Séparation**	Oui	**Uété**	0.191 W/(m².K)	
Uhiver	0.192 W/(m².K)			**UAshrae**	0.192 W/(m².K)	
Épaisseur	0.200 m			**Rparoi**	5.000 m².K/W	
Masse	5.000 kg/m²			**Rtotale**	5.200 m².K/W	
Etat	-			**Uc**	0.192 W/(m².K)	
				Up	0.192 W/(m².K)	

Nature	Désignation	Certif.	Ep. m	Lambd. W/m.K	Résist. m².K/W	Masse kg/m³	Mu	Cp J/(kg.K)
Isolant	Isolant déroulé sur platelage		0.200	0.040	5.000	25	1	1030

Caractéristiques générales		Caractéristiques détaillées		Valeurs calculées	
Nom	DH- Toiture tuiles	**Paroi chauffante**	Non chauffante	**Sété**	0.018
Inclinaison	Toiture ou angle <=60°	**Surf. tot.**	1.00 m²	**Rsi**	0.100 m².K/W
Méthode	Détaillée	**Gr. Ashrae plaf.**	Groupe 7	**Rse**	0.040 m².K/W
Contact	L'extérieur	**Réf CTS**	16	**Uété**	0.310 W/(m².K)
Uhiver	0.313 W/(m².K)	**Couleur**	Sombre	**UAshrae**	0.307 W/(m².K)
Épaisseur	0.150 m	**Alpha**	0.80	**Rparoi**	3.055 m².K/W
Masse	283.500 kg/m²	**Faux plaf.**	Sans	**Rtotale**	3.195 m².K/W
Etat	-			**Uc**	0.313 W/(m².K)
				Up	0.313 W/(m².K)

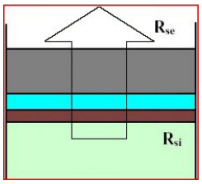
Schéma



Nature	Désignation	Certif.	Ep. m	Lambd. W/m.K	Résist. m².K/W	Masse kg/m³	Mu	Cp J/(kg.K)
Isolant	Isolant		0.120	0.040	3.000	2000	15	1000
Terre cuite	Masse volumique nominale 1500		0.030	0.550	0.055	1450	16	1000

Caractéristiques générales		Caractéristiques détaillées		Valeurs calculées	
Nom	DH- Toiture terrasse	**Paroi chauffante**	Non chauffante	**Sété**	0.007
Inclinaison	Toiture ou angle <=60°	**Surf. tot.**	1.00 m²	**Rsi**	0.100 m².K/W
Méthode	Détaillée	**Parking coll.**	Non	**Rse**	0.040 m².K/W
Contact	L'extérieur	**Type toiture**	Béton ou maçonnerie	**Uété**	0.116 W/(m².K)
Uhiver	0.117 W/(m².K)	**Gr. Ashrae plaf.**	Groupe 12	**UAshrae**	0.116 W/(m².K)
Épaisseur	0.450 m	**Réf CTS**	18	**Rparoi**	8.420 m².K/W
Masse	477.500 kg/m²	**Couleur**	Sombre	**Rtotale**	8.560 m².K/W
Etat	-	**Alpha**	0.80	**Uc**	0.117 W/(m².K)
		Faux plaf.	Avec	**Up**	0.117 W/(m².K)

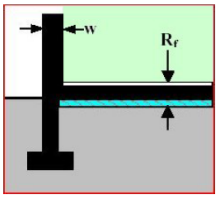
Schéma



Nature	Désignation	Certif.	Ep. m	Lambd. W/m.K	Résist. m².K/W	Masse kg/m³	Mu	Cp J/(kg.K)
Béton	Béton plein armé (1 < % d'acier < ou = 2%)		0.200	2.300	0.087	2350	130	1000
Isolant	Plaques moulées en continu		0.250	0.030	8.333	30	60	1400

Caractéristiques générales		Caractéristiques détaillées		Valeurs calculées	
Nom	DB- Dallage sur terre plein	**Paroi chauffante**	Non chauffante	**Rsi**	0.170 m².K/W
Inclinaison	Plancher (horiz. à flux descendant)	**Surf. tot.**	500.00 m²	**Rse**	0.040 m².K/W
Méthode	Détaillée	**Périm. int.**	132.00 m	**Uété**	0.116 W/(m².K)
Contact	Le sol	**Ép. mur sup.**	0.200 m	**UAshrae**	0.117 W/(m².K)
Uhiver	0.117 W/(m².K)	**Pos. plancher**	Sur terre-plein	**Rparoi**	5.920 m².K/W
Épaisseur	1.000 m	**Isolation**	Continue	**Rtotale**	6.130 m².K/W
Masse	1764.500 kg/m²	**Conduc. sol non gelé**	1.5 W/(mK)	**Uc**	0.163 W/(m².K)
Etat	-	**Nappe phréat.**	Plus de 1 m	**Up**	0.163 W/(m².K)
		Réf CTS	18	**Rf**	5.920 m².K/W

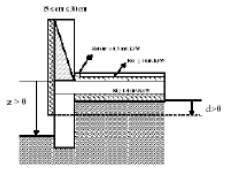
Schéma



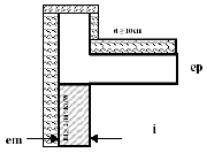
Nature	Désignation	Certif.	Ep. m	Lambd. W/m.K	Résist. m².K/W	Masse kg/m³	Mu	Cp J/(kg.K)
Béton	Chape		0.600	1.650	0.364	2150	120	1000
Isolant	Isolant Plancher chauffant		0.100	0.033	3.030	30	150	1450
Béton	Dalle basse		0.200	2.300	0.087	2350	130	1000
Isolant	Isolant sous dalle		0.100	0.041	2.439	15	60	1450

Annexe 6
Calcul réglementaire, catalogue des ponts thermiques

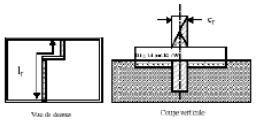
Linéique Dallage sur terre plein

Caractéristiques		Paramètres		Schéma
Type	Horizontale	Origine	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		ITE. Isolation par l'extérieur	
Nature régl.	L8		ITE.1. Liaison avec un plancher bas	
Nom	Linéique Dallage sur terre plein		ITE.1.1. Dallage sur terre-plein	
Psi	0.240 W/K		ITE.1.1.5. Dallage en béton isolé en sous-face et sous chape flottante sur isolant	
			-70 cm <= z < -40 cm	
			d : (Non borné) = 50.00 cm	

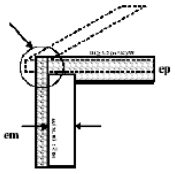
Linéique accrotère TT

Caractéristiques		Paramètres		Schéma
Type	Horizontale	Origine	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		ITE. Isolation par l'extérieur	
Nature régl.	L10		ITE.3. Liaison avec un plancher haut	
Nom	Linéique accrotère TT		ITE.3.1. Liaison d'un plancher haut avec un mur extérieur	
Psi	0.770 W/K		Acrotère de toiture terrasse	
			ITE.3.1.3. Mur bas en maçonnerie courante de même épaisseur et plancher en béton plein	
			20 <= em <= 25	

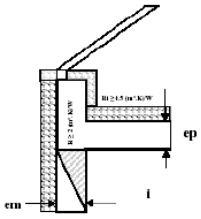
Linéique dallage réfend

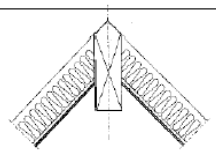
Caractéristiques		Paramètres		Schéma
Type	Horizontale	Origine	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		DC. Détails en commun	
Nature régl.	---		DC.1. Liaison avec un plancher bas	
Nom	Linéique dallage réfend		DC.1.1. Liaison d'un dallage sur terre-plein avec un refend	
Psi	0.240 W/K		DC.1.1.2. Refend tout matériau, soubassement en maçonnerie courante et plancher isolé en sous-face	
Psi1	0.120 W/K		5 < Longueur refend <= 10 m	
Psi2	0.120 W/K		er : (Entre 10 et 20) = 20.00 cm	

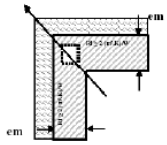
Linéique bas de pente plancher bois

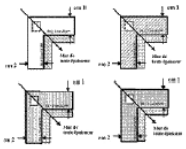
Caractéristiques		Paramètres		Schéma
Type	Horizontale	Origine	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		ITE. Isolation par l'extérieur	
Nature régl.	L10		ITE.3. Liaison avec un plancher haut	
Nom	Linéique bas de pente plancher bois		ITE.3.1. Liaison d'un plancher haut avec un mur extérieur	
Psi	0.060 W/K		Mur d'appui de toiture en bas de pente de comble	
			ITE.3.1.9. Mur de façade en béton avec un plancher léger	

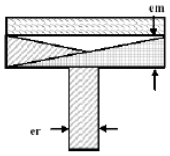
Linéique bas de pente plancher béton

Caractéristiques		Paramètres		Schéma
Type	Horizontale	Origine	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		ITE. Isolation par l'extérieur	
Nature régl.	L10		ITE.3. Liaison avec un plancher haut	
Nom	Linéique bas de pente plancher béton		ITE.3.1. Liaison d'un plancher haut avec un mur extérieur	
Psi	0.330 W/K		Mur d'appui de toiture en bas de pente de comble	
			ITE.3.1.5. Mur d'appui en béton avec remontée d'isolant, mur bas béton ou en maçonnerie courante de même épaisseur, plancher en béton plein	
			20 < em <= 25	
			ep : (Entre 10 et 35) = 20.00 cm	

Faitière				
Caractéristiques		**Paramètres**		**Schéma**
Type	Horizontale	**Origine**	Ponts thermiques ossature bois	
Bibliothèque	Ossature bois		OB.7 Toiture inclinée	
Nature régl.	L10		Charpente traditionnelle, chevrons autoportants, faîtière	
Nom	Faitière		OB.7.38 Version 2	
Psi	0.070 W/K			

Angle sortant, murs en maçonnerie courante				
Caractéristiques		**Paramètres**		**Schéma**
Type	Verticale	**Origine**	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		ITE. Isolation par l'extérieur	
Nature régl.	---		ITE.4. Liaison entre parois verticales	
Nom	Angle sortant, murs en maçonnerie courante		ITE.4.1. Angle sortant entre deux murs donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé	
Psi	0.130 W/K		ITE.4.1.2. Murs en maçonnerie courante	
			20 < em1 <= 25	
			20 < em2 <= 25	
			Ri = 2,5 m².K/W	

Angle rentrant				
Caractéristiques		**Paramètres**		**Schéma**
Type	Verticale	**Origine**	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		ITE. Isolation par l'extérieur	
Nature régl.	---		ITE.4. Liaison entre parois verticales	
Nom	Angle rentrant		ITE.4.2. Angle rentrant entre deux murs sur l'extérieur ou sur un local non chauffé	
Psi	0.030 W/K		ITE.4.2.1. Murs de toute nature	

Liaison en T, refend en maçonnerie courante				
Caractéristiques		**Paramètres**		**Schéma**
Type	Verticale	**Origine**	Ponts thermiques Th-U 2012	
Bibliothèque	Th-U 2012		ITE. Isolation par l'extérieur	
Nature régl.	---		ITE.4. Liaison entre parois verticales	
Nom	Liaison en T, refend en maçonnerie courante		ITE.4.3. Liaison en T entre un mur sur l'extérieur ou sur un LNC et un refend intérieur	
Psi	0.060 W/K		ITE.4.3.2. Refend en maçonnerie courante	
Psi1	0.030 W/K		R isolant = 2,5 m².K/W	
Psi2	0.030 W/K		er : (Entre 10 et 20) = 20.00 cm	

Annexe 7
Calcul réglementaire, caractéristiques détaillées des menuiseries extérieures

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Fenêtre	Approche complète type Th-Bat 2012	Fenêtre	0.14	0.00	0.00

Caractéristiques de la menuiserie

Appellation de la menuiserie		Données EDIBATEC		Type de menuiserie	
Méthode ThBat utilisée		Poucentage de clair (RCL moyen)	90.00 %	Structure de la menuiserie	Menuiserie en PVC
Rupteur de pont thermique	Menuiserie avec rupteur	U moyen de la partie opaque	Menuiserie avec rupteur	Espaceur	Thermiquement amélioré
Coefficient psi_g du profilé	0.06	Niveau couleur menuiserie	Sombre	Alpha menuiserie	0.80
Informations réglementaires spécifiques	0.80	Appellation de la menuiserie	Menuiserie double vitrage	Type de menuiserie	Fenêtre avec protection extérieure
Informations réglementaires spécifiques	Fenêtre avec protection extérieure	Appellation de la menuiserie	4(16)4 SGG PLANITHERM DUAL 1.0 faces 3 et 4	Type de menuiserie	2
Informations réglementaires spécifiques	Pas de lame d'air ventilée	Appellation de la menuiserie	Sans protection mobile	Appellation de la menuiserie	Pas de coffre
Appellation de la menuiserie	Ouvrable pour ventiler				

Composition vitrière

Référence	Verre			Gaz		
	Caractéristiques	Epaisseur	Résistance	Nature	Epaisseur	Concentration
SGG PLANICLEAR	Tau lum : 0.91 Tau'lum : 0.91 Rho lum : 0.08 Rho' lum : 0.08 Tau sol : 0.87 Tau' sol : 0.87 Rho sol : 0.08 Rho' sol : 0.08 Tau th : 0.00 Epsilon : 0.89 Epsilon' : 0.89	4.0 mm	1.0 m.K/W	Argon	16.0 mm	95.0 %
SGG PLANITHERM DUAL 1.0	Tau lum : 0.82 Tau'lum : 0.82 Rho lum : 0.08 Rho' lum : 0.10 Tau sol : 0.59 Tau' sol : 0.59 Rho sol : 0.28 Rho' sol : 0.19 Tau th : 0.00 Epsilon : 0.03 Epsilon' : 0.17	4.0 mm	1.0 m.K/W	-	-	-

Transmission thermique de la dimension (W/(m².k))

		Sans protection				Avec protection			
Uj/n	Umax	Uwhor	Uwvert	Uf	Ug	Uwshor	Uwsvert	Uf	Ug
1.22	0.00	1.75	1.22	2.00	0.00	1.75	1.22	2.00	0.00

Transmission lumineuse et facteurs solaires

Sans protection									Avec protection					
	Condition hiver				Condition été									
Tlw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Tlws	Tlws,n-diff	Sw1s	Sw2s	Sw3s	Sws
0.68	0.47	0.09	0.00	0.56	0.47	0.09	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Fenêtre	Approche complète type Th-Bat 2012	Fenêtre de toit	0.20	0.20	0.20

Caractéristiques de la menuiserie

Appellation de la menuiserie		Données EDIBATEC		Type de menuiserie	
Méthode ThBat utilisée		Poucentage de clair (RCL moyen)	80.00 %	Structure de la menuiserie	Menuiserie en PVC
Rupteur de pont thermique	Menuiserie avec rupteur	U moyen de la partie opaque	Menuiserie avec rupteur	Espaceur	Aluminium
Coefficient psi_g du profilé	0.08	Niveau couleur menuiserie	Clair	Alpha menuiserie	0.40
Informations réglementaires spécifiques	0.40	Appellation de la menuiserie	Menuiserie double vitrage	Type de menuiserie	Fenêtre avec protection extérieure
Informations réglementaires spécifiques	Fenêtre avec protection extérieure	Appellation de la menuiserie	6(16)6 SGG COOL-LITE XTREME 60/28 face 2	Type de menuiserie	2
Informations réglementaires spécifiques	Pas de lame d'air ventilée	Appellation de la menuiserie	Sans protection mobile	Appellation de la menuiserie	Pas de coffre
Appellation de la menuiserie	Ouvrable pour ventiler				

Composition vitrière

Référence	Verre			Gaz		
	Caractéristiques	Epaisseur	Résistance	Nature	Epaisseur	Concentration
SGG COOL-LITE XTREME 60/28	Tau lum : 0.66 Tau'lum : 0.66 Rho lum : 0.11 Rho' lum : 0.11 Tau sol : 0.29 Tau' sol : 0.29 Rho sol : 0.41 Rho' sol : 0.53 Tau th : 0.00 Epsilon : 0.89 Epsilon' : 0.01	6.0 mm	1.0 m.K/W	Argon	16.0 mm	95.0 %
SGG PLANICLEAR	Tau lum : 0.90 Tau'lum : 0.90 Rho lum : 0.08 Rho' lum : 0.08 Tau sol : 0.85 Tau' sol : 0.85 Rho sol : 0.08 Rho' sol : 0.08 Tau th : 0.00 Epsilon : 0.89 Epsilon' : 0.89	6.0 mm	1.0 m.K/W	-	-	-

Transmission thermique de la dimension (W/(m².k))

		Sans protection				Avec protection			
Uj/n	Umax	Uwhor	Uwvert	Uf	Ug	Uwshor	Uwsvert	Uf	Ug
1.56	0.00	2.08	1.56	2.00	0.00	2.08	1.56	2.00	0.00

Transmission lumineuse et facteurs solaires

Sans protection									Avec protection					
	Condition hiver				Condition été									
Tlw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Tlws	Tlws,n-diff	Sw1s	Sw2s	Sw3s	Sws
0.48	0.21	0.03	0.00	0.24	0.21	0.04	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Porte	Approche complète type Th-Bat 2012	Portes extérieures opaques	0.35	0.00	0.00

Caractéristiques de la menuiserie					
Appellation de la menuiserie		Données EDIBATEC		Type de menuiserie	
Méthode ThBat utilisée		Poucentage de clair (RCL moyen)	0.00 %	Structure de la menuiserie	Menuiserie en métal
Rupteur de pont thermique	Menuiserie avec rupteur	U moyen de la partie opaque	Menuiserie avec rupteur	Espaceur	Aluminium
Coefficient psi_g du profilé	0.11	Niveau couleur menuiserie	Sombre	Alpha menuiserie	0.80
Informations réglementaires spécifiques	0.80	Appellation de la menuiserie	Menuiserie double vitrage	Type de menuiserie	Fenêtre avec protection extérieure
Informations réglementaires spécifiques	Fenêtre avec protection extérieure	Appellation de la menuiserie	Vitrage	Type de menuiserie	2
Informations réglementaires spécifiques	Pas de lame d'air ventilée	Appellation de la menuiserie	Sans protection mobile	Appellation de la menuiserie	Pas de coffre
Appellation de la menuiserie	Non ouvrable pour ventiler				

Dimension : Porte chaufferie								
Code	Largeur	Hauteur	Prof. horiz.	Dist horiz.	Prof. gauche	Dist. gauche	Prof. droite	Dist. droite
Porte chaufferie	1.40 m	2.00 m	0.20 m	0.00 m	0.20 m	0.00 m	0.20 m	0.00 m

Caractéristiques de la dimension			
Surface opaque	2.80 m²	Surface opaque	2.00 W/m².K

Transmission thermique de la dimension (W/(m².k))									
		Sans protection				Avec protection			
Uj/n	Umax	Uwhor	Uwvert	Uf	Ug	Uwshor	Uwsvert	Uf	Ug
2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00

Transmission lumineuse et facteurs solaires														
Sans protection									Avec protection					
	Condition hiver				Condition été									
Tlw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Tlws	Tlws,n-diff	Sw1s	Sw2s	Sw3s	Sws
0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Type	Méthode	Appellation	Lin appui	Lin linteau	Lin tableau
Porte	Approche complète type Th-Bat 2012	Porte entrée vitrée	0.35	0.04	0.04

Caractéristiques de la menuiserie					
Appellation de la menuiserie		Données EDIBATEC		Type de menuiserie	
Méthode ThBat utilisée		Poucentage de clair (RCL moyen)	70.00 %	Structure de la menuiserie	Menuiserie en métal
Rupteur de pont thermique	Menuiserie avec rupteur	U moyen de la partie opaque	Menuiserie avec rupteur	Espaceur	Thermiquement amélioré
Coefficient psi_g du profilé	0.08	Niveau couleur menuiserie	Sombre	Alpha menuiserie	0.80
Informations réglementaires spécifiques	0.80	Appellation de la menuiserie	Menuiserie double vitrage	Type de menuiserie	Fenêtre avec protection extérieure
Informations réglementaires spécifiques	Fenêtre avec protection extérieure	Appellation de la menuiserie	6(16)6 SGG COOL-LITE SKN 154 face 2	Type de menuiserie	2
Informations réglementaires spécifiques	Pas de lame d'air ventilée	Appellation de la menuiserie	Sans protection mobile	Appellation de la menuiserie	Pas de coffre
Appellation de la menuiserie	Non ouvrable pour ventiler				

Dimension : Dim porte n°1								
Code	Largeur	Hauteur	Prof. horiz.	Dist horiz.	Prof. gauche	Dist. gauche	Prof. droite	Dist. droite
Dim porte n°1	1.75 m	2.15 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m

Caractéristiques de la dimension			
Surface opaque	1.13 m²	Surface opaque	1.80 W/m².K

Transmission thermique de la dimension (W/(m².k))									
		Sans protection				Avec protection			
Uj/n	Umax	Uwhor	Uwvert	Uf	Ug	Uwshor	Uwsvert	Uf	Ug
1.34	0.00	1.80	1.34	2.00	0.00	1.80	1.34	2.00	0.00

Transmission lumineuse et facteurs solaires														
Sans protection									Avec protection					
	Condition hiver				Condition été									
Tlw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Sw1	Sw2	Sw3	Sw	Tlws	Tlws,n-diff	Sw1s	Sw2s	Sw3s	Sws
0.36	0.17	0.04	0.00	0.22	0.17	0.05	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Annexe 8
Notice de bonnes pratiques pour la modélisation architecturale

Modélisation architecturale :

Afin de garantir l'exploitation de la maquette, par toutes les spécialités, il est demandé :

- de saisir la totalité de l'enveloppe architecturale et ceux dès l'avant-projet pour permettre l'exploitation de la maquette en vue de la réalisation des calculs thermiques
- de définir les parois opaques du bâtiment conformément à leur usage : « paroi extérieure » « paroi intérieure ».
- d'utiliser à bon escient les outils dédiés : outil « mur » pour créer des murs, outil « dalle » pour créer des dalles ou des planchers, etc.
- de saisir les parois opaques sous forme de composition multiple (exemple : revêtement intérieure + élément structurant + isolation + revêtement extérieur) et non une superposition de plusieurs familles de mur monocomposition.
- de ne pas détourner l'usage d'un outil en modélisant par exemple un poteau avec l'outil mur ou une fenêtre avec l'outil « Mur rideau ».
- d'éviter les opérations booléennes (découpage d'un élément par un autre) et les modifications de profils de murs, qui peuvent fausser l'exploitation de la maquette.

Annexe 9
Valeurs par défaut du coefficient d'exposition ([20] AFNOR, 2010)

Le Tableau suivant présente des valeurs par défaut pour le coefficient d'exposition ei, utilisé pour la détermination du débit d'infiltration d'un bâtiment. Cette valeur se détermine au niveau du bâtiment. Le terme de façade n'impose pas la présence d'une ouverture.

Classe d'exposition	e_i		
	Espace chauffé sans façade exposée	Espace chauffé à simple exposition	Espace chauffé avec expositions multiples
Site non abrité (constructions isolées en bord de mer ou en rase campagne).	0,01	0,03	0,05
Site modérément abrité (constructions situées dans les villes petites et moyennes ou à la périphérie des grands centres urbains).	0,01	0,02	0,03
Site très abrité (constructions situées à l'intérieur des grands centres urbains).	0,01	0,01	0,02

Annexe 10
Valeurs par défaut du facteur correctif de hauteur ([20] AFNOR, 2010)

Le Tableau suivant présente les valeurs par défaut pour le facteur correctif de hauteur εi, utilisé pour la détermination du débit d'infiltration d'un bâtiment.

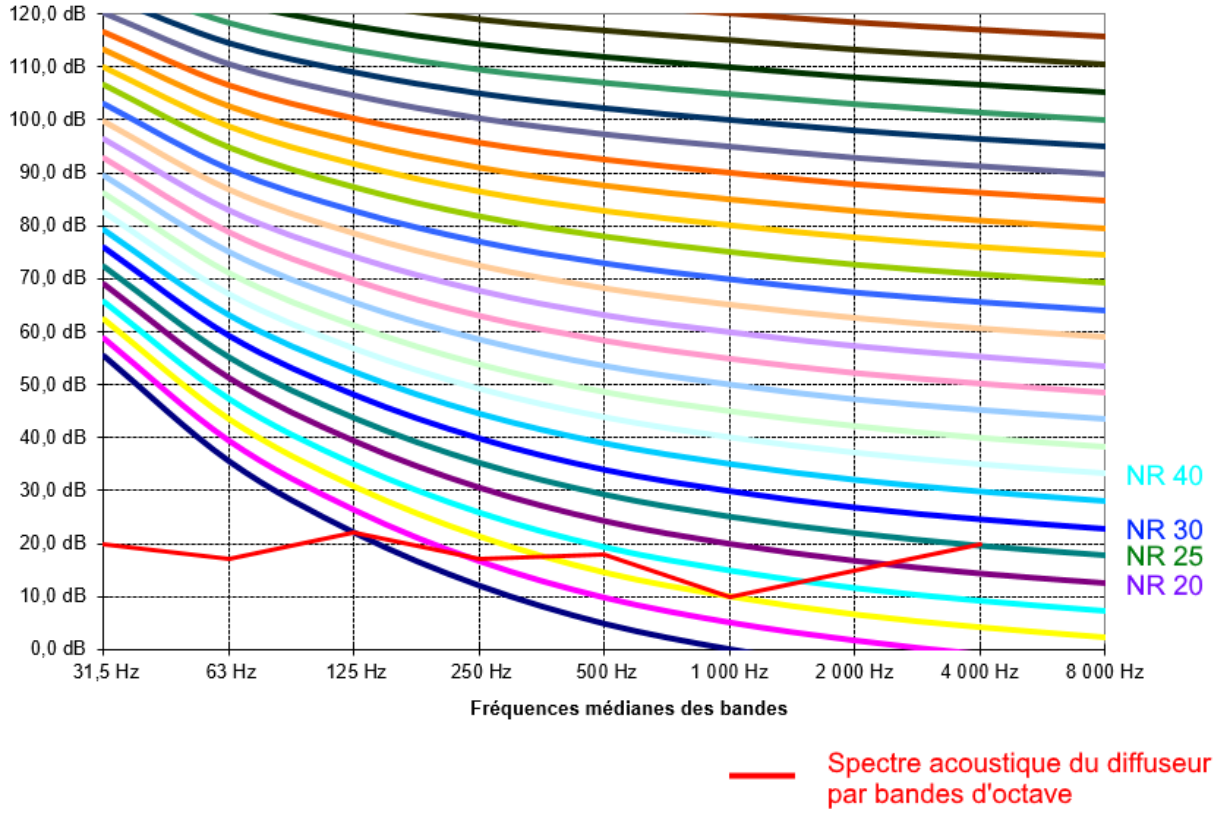
Hauteur de l'espace chauffé au-dessus du sol (du centre du local au niveau du sol)	ε
0 — 10 m	1,0
> 10 — 30 m	1,2
> 30 m	1,5

Annexe 11
Facteur de relance, pour les bâtiments non résidentiels ([20] AFNOR, 2010)

Temps de relance h	f_{RH} W/m²								
	Chute prévue de la température intérieure lors du ralenti [1)]								
	2 K			3 K			4 K		
	Inertie du bâtiment			Inertie du bâtiment			Inertie du bâtiment		
	Faible	Moyenne	Forte	Faible	Moyenne	Forte	Faible	Moyenne	Forte
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

Annexe 12

Détermination de l'indice NR du diffuseur ([25] AFNOR, 1974)



Annexe 13
Niveaux de pression acoustique à respecter suivant le type de local
([26] AFNOR, 2007)

Type de bâtiment	Type de local	dB(A)
Garderies	école maternelle	30/40/45
	crèche	30/40/45
Bureaux	petit bureau	30/35/40
	salle de réunion	30/35/40
	bureau paysager	35/40/45
	box à usage de bureau	35/40/45
Restauration	cafétérias	35/40/50
	restaurant	35/45/50
	cuisine	40/55/60
Enseignement	salle de cours	30/35/40
	couloir	40/45/50
	salle de sports	35/40/45
	salle des enseignants	33/35/40
Tous types	toilettes	40/45/50
	vestiaire	40/45/50

Annexe 14
Valeurs des coefficients de pertes de charges singuliers, pour les circuits hydrauliques ([28] Progman, 2018)

Coudes

$$r_c = \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) * l$$

$$dp = \left(\frac{-0,6}{6} * \frac{r_c}{d} + 0,6\right) * \frac{\rho}{2} * v^2 \qquad [Pa]$$

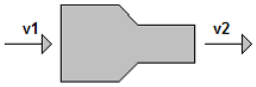
Si l'angle est petit (<= 5°), seule la perte de charge linéique est calculée.

rc	m	rayon du coude
j	rad	angle
l	m	« longueur »
d	m	diamètre intérieur
r	kg/m^3	densité du fluide
v	m/s	vitesse du fluide

Si l'angle est différent de 90°, les valeurs sont divisées par 90/angle. Ainsi, pour 45 degrés, ils sont divisés par 2 et pour des coudes de 30 degrés, ils sont divisés par 3.

La perte de charge linéique causée par la longueur du coude est ajoutée au résultat. Voir la perte de charge de la canalisation.

Réduction

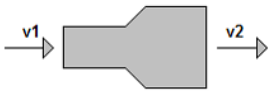


$$\xi = -0,42\frac{A_2}{A_1} + 0,42$$

$$dp = \xi * \frac{\rho}{2} * v_2^{\,2} \qquad [Pa]$$

x	-	coefficient de résistance seule
A_1	m^2	surface à l'extrémité la plus grande
A_2	m^2	surface à l'extrémité la plus petite
r	kg/m^3	densité du fluide
v_2	m/s	vitesse du fluide

Extension



$$\xi = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2$$

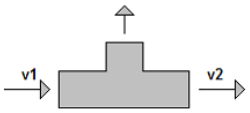
$$dp = \xi * \frac{\rho}{2} * v_2^{\,2} \qquad [Pa]$$

x	-	coefficient de résistance seule
A_1	m^2	surface à l'extrémité la plus grande
A_2	m^2	surface à l'extrémité la plus petite
r	kg/m^3	densité du fluide
v_2	m/s	vitesse du fluide

Tés

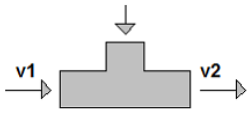
Flux divergents du flux direct

Calculés de la même manière que la réduction ou l'extension. Si les diamètres sont identiques, dp = 0.

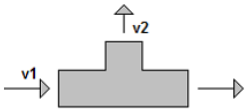


Flux convergents du flux direct

Calculés de la même manière que la réduction ou l'extension. Si les diamètres sont identiques, dp = 0.



Flux vers la branche

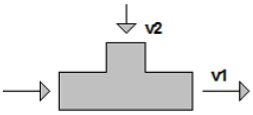


$\xi = 1$

$$dp = \xi * \frac{\rho}{2} * v_2^{\,2} \qquad [Pa]$$

x	-	coefficient de résistance seule
r	kg/m^3	densité du fluide
v_2	m/s	vitesse du fluide

Flux depuis la branche



$$sq_v = \frac{q_{v2}}{q_{v1}}$$

$\xi = 1 \quad if\ sq_v > 0{,}999$

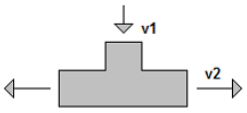
$\xi = 0 \quad if\ sq_v < 0{,}3$

$\xi = \frac{1}{0{,}7} * (sq_v - 0{,}3) \quad if\ \ 0{,}3 \le sq_v \le 0{,}999$

$$dp = \xi * \frac{\rho}{2} * v_1^{\,2} \qquad [Pa]$$

sqv	-	ratio des fluide volumiques
qv1	m^3/s	débit volumique
qv2	m^3/s	débit volumique
x	-	coefficient de résistance seule
r	kg/m^3	densité du fluide
v_2	m/s	vitesse du fluide

Flux divergent depuis la branche

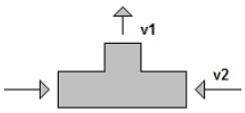


$\xi = 1$

$$dp = \xi * \frac{\rho}{2} * v_1^{\,2} \qquad [Pa]$$

x	-	coefficient de résistance seule
r	kg/m^3	densité du fluide
v_1	m/s	vitesse du fluide

Flux convergent vers la branche



$\xi = 1$

$$dp = \xi * \frac{\rho}{2} * v_1^{\,2} \qquad [Pa]$$

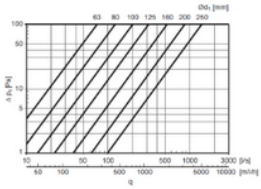
x	-	coefficient de résistance seule
r	kg/m^3	densité du fluide
v_1	m/s	vitesse du fluide

Annexe 15
Valeurs des coefficients de pertes de charges singuliers, pour les circuit aérauliques ([28] Progman, 2018)

Coudes circulaires

Source : Catalogue produits 2014 de Lindab

Pour les coudes circulaires, MagiCAD utilise les équations qui donnent les mêmes perte de charge que le catalogue produits 2014 de Lindab. Les valeurs R/D 0,6, 1,0 et 1,5 ainsi que différents angles de coude sont pris en compte. Les coudes sont calculés comme segmentés des taille 250 et supérieur. Les aubes de guidage ne sont pas prises en compte. Les valeurs intermédiaires pour R/D, l'angle et la taille sont interpolées de manière linéaire depuis les valeurs les plus proches.

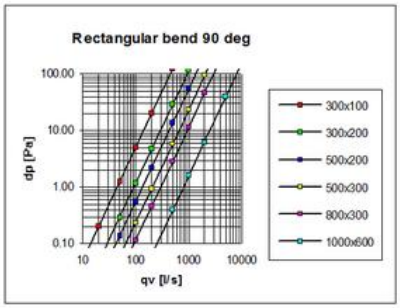


Un exemple de la perte de charge d'un coude lisse à 90 degrés avec R/D = 1

Coudes rectangulaires

Source : ITSO

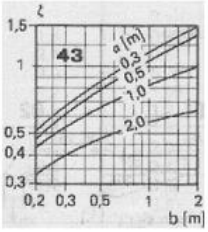
Pour les coudes rectangulaires à 90°, MagiCAD utilise l'équation qui donne les valeur



$$dp = \xi * 0{,}6 * v^2 \quad [Pa]$$

x coefficient de résistance seule
v vitesse du fluide [m/s]

Courbé à l'intérieur, arête vive à l'extérieur :
x 0,33...1,5 selon le diagramme ci-dessous.
a largeur
b hauteur



Coude courbé :

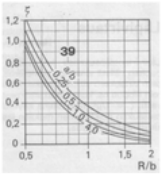
x 0...1.2 suivant diagramme ci-dessous.
a hauteur
b largeur
R rayon le long de l'axe centrale

Coude courbé :

x 0...1.2 suivant diagramme ci-dessous.
a hauteur
b largeur
R rayon le long de l'axe centrale

Dans MagiCAD, le coude peut avoir quatre classes de longueur: Court, moyen, long et par défaut. Le rayon est défini comme suit à ces courbes.

Coude court	R = 0.6 * b
Coude moyen	R = b
Coude long	R = 1.5 * b
Par défaut	R = 0.5 * b + 100



Arête vive à l'intérieur, courbé à l'extérieur :

x= 1,3

Coude à arête vive :

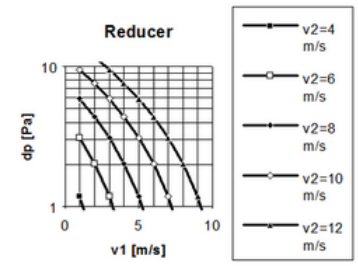
x= 1,5

Autre que les coudes à 90 degrés

Si l'angle est différent de 90°, les valeurs sont divisées par 90/angle. Ainsi, pour 45 degrés, ils sont divisés par 2 et pour des coudes de 30 degrés, ils sont divisés par 3.

Réduction

Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



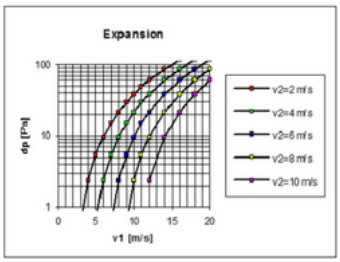
$$dp = 0{,}146 * (v_2 - v_1)^{1.9} \quad [Pa]$$

v2 vitesse du fluide à la sortie [m/s]
v1 vitesse du fluide à l'entrée [m/s]

Les formules sont valables pour les raccords courbés et correspondent bien aux courbes de Fläkt. Fläkt présente des courbes séparées pour les gaines circulaires et rectangulaires, mais elles ont des valeurs identiques.
La même équation est utilisée à la fois pour les réductions circulaires et pour les réductions rectangulaires.

Extension

Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



$$dp = 0{,}864 * (v_1 - v_2)^{1.8} \quad [Pa]$$

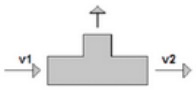
v2 vitesse du fluide à la sortie [m/s]
v1 vitesse du fluide à l'entrée [m/s]

Les formules sont valabels pour les raccords courbés et correspondent bien aux courbes de Fläkt. Fläkt présente des courbes séparées pour les gaines circulaires et rectangulaires, mais elles ont des valeurs identiques.
La même équation est utilisée à la fois pour les extensions circulaires et pour les extensions rectangulaires.

Tés

Pour les Tés, les mêmes équations sont utilisées à la fois pour les branches circulaires et pour les branches rectangulaires :

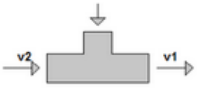
Té – soufflage – trajet principal
Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



c = abs(v2 - (v1 + 0,05*v2))
dp = 0,025*v2² + 0,25*c²

v1 vitesse du fluide à l'entrée [m/s]
v2 vitesse du fluide à la sortie [m/s]
Une réduction possible est incluse dans la valeur

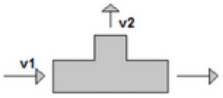
Té – extraction d'air – trajet principal
Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



c = abs(v2 - (v1 + 0,2*v2))
dp = 0,1*v2² + 0,4*c²

v2 vitesse du fluide à l'entrée [m/s]
v1 vitesse du fluide à la sortie [m/s]
Une réduction possible est incluse dans la valeur

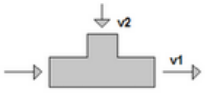
Té – soufflage – trajet de la branche
Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



dp = 0,6*v1² + 0,12*v2²

v1 vitesse du fluide à l'entrée [m/s]
v2 vitesse du fluide à la sortie [m/s]

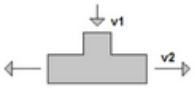
Té – extraction d'air – trajet de la branche
Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



If(v1 &B= v2) dp = 0,58*v2²
If(v1 &C v2) dp = 0,58*v2² – 0,5*(v1 – v2)²

v2 vitesse du fluide à l'entrée [m/s]
v1 vitesse du fluide à la sortie [m/s]

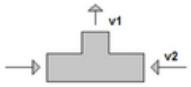
Té – soufflage – depuis la branche jusqu'aux gaines principales
Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



dp = 0,65*v1² + 0,12*v2²

v1 = vitesse du fluide à l'entrée [m/s]
v2 = vitesse du fluide à la sortie [m/s]

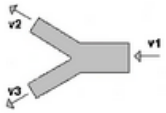
Té – extraction d'air – depuis les gaines principales jusqu'à la branche
Source : Fläkt Veloduct 1997 (édition suédoise)



c = abs(v2 - 0,25*v1)
dp = 0,25*v1² + 0,6*c²

v2 vitesse du fluide à l'entrée [m/s]
v1 vitesse du fluide à la sortie [m/s]

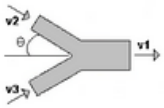
En Y – soufflage – divergent
Source : ASHRAE Fundamentals Handbook 1956, tables 6-34, page 33.47



Θ	v2/v1 v3/v1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
15	0,81	0,65	0,51	0,38	0,28	0,20	0,11	0,06	0,14	0,30	0,51	0,76	1,0	
30	0,84	0,69	0,56	0,44	0,34	0,26	0,19	0,15	0,15	0,30	0,51	0,76	1,0	
45	0,87	0,74	0,63	0,54	0,45	0,38	0,29	0,24	0,23	0,30	0,51	0,76	1,0	
60	0,90	0,82	0,79	0,66	0,59	0,53	0,43	0,36	0,33	0,39	0,51	0,76	1,0	
90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	

Les angles et vitesses intermédiaires sont calculés par interpolation linéaire

En Y – extraction d'air – convergent
Source : ASHRAE Fundamentals Handbook 1956, tables 6-34, page 33.47



Θ	v2/v1 v3/v1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
15	-2,6	-1,9	-1,3	-0,77	-0,3	0,10	0,41	0,67	0,85	0,97	1,0	
30	-2,1	-1,5	-1,0	-0,53	-0,1	0,28	0,69	0,91	1,10	1,40	1,6	
45	-1,3	-0,93	-0,55	-0,16	-0,2	0,56	0,92	1,30	1,60	2,00	2,3	

Les angles et vitesses intermédiaires sont calculés par interpolation linéaire

Liste des figures

Figure 1 : Le BIM pour quoi ? **([2] Dispenza, 2010)** ... 9
Figure 2 : Niveaux de BIM **([5] Bleyenheuft, 2015)** ... 11
Figure 3 : Dimensions du BIM **([6] Sarathi Chowdhury, 2016)** ... 12
Figure 4 : Les différents niveaux LOD **([7] Fleischmann, 2016)** ... 13
Figure 5 : Installation de chantier et phasage **([10] Methodes btp, 2015)** ... 16
Figure 6 : exemple d'organisation et rôles dans un processus BIM **([3] De Maestri, 2017 chapitre 3)** ... 21
Figure 7 : Triangle des normes buildingSMART International **([11] Grand, Ridgway, & Soubra, 2017 chapitre 2.1)** ... 22
Figure 8 : Organigramme hiérarchique de la société SERUE Ingénierie (source livret d'accueil de la société) ... 25
Figure 9 : Cartographie du système de management de la qualité de la société SERUE Ingénierie (source livret d'accueil de la société) ... 27
Figure 10 : Roue de Deming, transposition graphique de la méthode de gestion de la qualité dite **PDCA ([13] Lasnier, 2013)** ... 28
Figure 11 : Exemple de synoptique, pour le choix des processus **([8] TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016 chapitre 3.1)** ... 31
Figure 12 : Classification des éléments dans le logiciel REVIT ... 36
Figure 13 : Logiciel REVIT, fenêtre de gestion des sous-projets ... 37
Figure 14 : Logiciel REVIT, arborescence du projet ... 37
Figure 15 : Logiciel REVIT, propriétés des gabarits de vue ... 39
Figure 16 : Logiciel Revit, étape de création d'une centrale de traitement d'air simple flux ... 40
Figure 17 : Logiciel REVIT, fenêtre de propriétés pour un système de canalisation ... 41
Figure 18 : Décomposition du coût global d'un bâtiment en fonction de ses étapes de **vie ([14] RENOU, 2015)** ... 43
Figure 19 : Bâtiment HAV, maquette technique, vue 3D ... 43
Figure 20 : Courbe de Patrick MacLeamy **([14] RENOU, 2015)** ... 45
Figure 21 : Eléments de complexité **([15] MOP, 2008, première partie tableau A)** ... 47
Figure 22 : Coefficient de complexité **([15] MOP, 2008, première partie tableau B)** ... 47
Figure 23 : Estimation de la durée de modélisation en fonction de la complexité et de la surface utile du bâtiment ... 49
Figure 24 : Comparatif de la durée de modélisation, entre une méthode classique et une méthode BIM . 50
Figure 25 : Optimisation de la durée de conception fluides, par l'utilisation du logiciel Revit, en fonction de la complexité et de la surface utile du bâtiment ... 51
Figure 26 : Périscolaire d'Elsenheim, vue en plan du rez-de-chaussée ... 53
Figure 27 : Périscolaire d'Elsenheim, vue extérieure depuis la rue principale ... 53
Figure 28 : Répartition des déperditions brutes par poste ... 67
Figure 29 : Périscolaire d'Elsenheim, schéma de principe hydraulique ... 70
Figure 30 : Module MagiCAD, dimensionnent de radiateur ... 72
Figure 31 : Module MagiCAD, dimensionnent de plancher chauffant ... 73
Figure 32 : CTA double flux générale (vue de côté) ... 74
Figure 33 : CTA compensation office (vue de dessus) ... 76
Figure 34 : Module MagiCAD, sélection de diffuseur ... 77
Figure 35 : Module MagiCAD, rapport de dimensionnement des tuyauteries hydrauliques ... 78
Figure 36 : Module MagiCAD rapport de dimensionnement des gaines de ventilation ... 79
Figure 37 : Graphique de détermination du diamètre intérieur minimal en fonction du nombre d'unités . 81
Figure 38 : Graphique de détermination du coefficient de simultanéité (DTU 60-11) ... 82
Figure 39 : Module MagiCAD, modélisation des appareils sanitaire ... 82
Figure 40 : Distribution des réseaux sanitaires ... 83
Figure 41 : Module MagiCAD, rapport de dimensionnement des tuyauteries d'eau froide sanitaire ... 83
Figure 42 : Donnés de dimensionnement des tuyauteries de bouclage (Module MagiCAD) ... 84
Figure 43 : Calcul de pertes de charge hydrauliques, réseau radiateur ... 86

Figure 44 : Module MagiCAD, rapport de calcul de pertes de charge hydrauliques 86
Figure 45 : Calcul de pertes de charge aéraulique, réseau de soufflage 87
Figure 46 : Module MagiCAD, Rapport de calcul de pertes de charge aérauliques 87
Figure 47 : Périscolaire d'Elsenheim, vue en plan, localisation coupe sur circulation 88
Figure 48 : Périscolaire d'Elsenheim, coupe sur circulation 89
Figure 49 : Périscolaire d'Elsenheim, local technique CTA périscolaire 89
Figure 50 : Module MagiCAD, configuration des réservations 90
Figure 51 : Module MagiCAD, génération de réservations en passage de dalle 90
Figure 52 : Logiciel Revit, détection de conflits 91
Figure 53 : Module MagiCAD, gestionnaire BCF 92

Liste des tableaux

Tableau 1. : Convention BIM liste des intervenants 30
Tableau 2. : Convention BIM liste des usages par phase 31
Tableau 3. : Répartition des tâches de l'équipe BIM ([8] TREHEN, BOISSIEU, VALETTE, TEISSIER, & CORNU, 2016 chapitre 4.3) 32
Tableau 4. : Inventaire des attributs à créer pour un diffuseur d'air 44
Tableau 5. : Suivi de la durée de modélisation 46
Tableau 6. : Estimation de la durée de modélisation d'un projet sur REVIT 48
Tableau 7. : Durée pour la réalisation des étapes de la conception fluides 51
Tableau 8. : Calcul règlementaire, liste des parois 55
Tableau 9. : Calcul règlementaire, liste des ponts thermiques 56
Tableau 10. : Calcul règlementaire, caractéristiques générales des menuiseries extérieures 57
Tableau 11. : Calcul règlementaire, résultats principaux 59
Tableau 12. : Températures ambiantes des locaux ([21] (Ministère de l'égalité des territoires et du logement, 2012) 60
Tableau 13. : Composition du bâti 61
Tableau 14. : Débit d'air neuf minimum à introduire en cuisine, en fonction du nombre de repas servis simultanément ([23] Journal officiel, 2004) 62
Tableau 15. : Taux de renouvellement d'air, considérés pour les autres locaux 62
Tableau 16. : Tableau récapitulatif des débits d'air et déperditions 66
Tableau 17. : Caractéristiques techniques de la chaudières gaz à condensation 68
Tableau 18. : Calcul prévisionnel des besoins journaliers en eau chaude sanitaire à 60°C 68
Tableau 19. : Caractéristiques techniques du préparateur ECS 68
Tableau 20. : Types de radiateur 71
Tableau 21. : Performances et caractéristiques techniques de la CTA double flux générale 75
Tableau 22. : Performances et caractéristiques techniques de la CTA compensation office 76
Tableau 23. : Débit des appareils sanitaires 80
Tableau 24. : Débit des appareils de cuisson 80
Tableau 25. : Nombre d'unités par appareils sanitaires 81

Maquette numérique, intégration de la démarche BIM dans la mission de maitrise d'œuvre et plus particulièrement dans le domaine technique du bureau d'étude.

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Strasbourg 2018

RESUME

Aujourd'hui, les progrès informatiques engendrent l'émergence d'outils d'aide à la conception dans le domaine du bâtiment, en adéquation avec la recherche d'optimisation des méthodes de travail, tout en assurant une qualité de travail optimale.

A ce titre, le BIM, est un ensemble de méthodes de travail associé à une maquette numérique paramétrique en 3 dimensions, qui contient des données intelligentes et structurées.

Ce modèle virtuel permet d'apporter un appui tout au long de la mission de conception du maitre d'œuvre et notamment dans le domaine énergétique. Cependant l'adoption d'une démarche BIM engage une adaptation des méthodes de travail.

Mots clés : BIM, maquette numérique, conception HVAC

SUMMARY

Today, advances in computing technology have led to the emergence of design assistance tools in the building sector, consistent with the search for optimization of working methods, while ensuring optimal quality of work.

As such, the BIM is a set of working methods associated with a 3-dimensional parametric numerical model, which contains intelligent and structured data.

This virtual model provides support throughout the design mission of the prime contractor and particularly in the energy field. However, the adoption of a BIM approach implies an adaptation of the working methods.

Mots clés : BIM, numerical model, HVAC conception