

## **Équilibre entre le respect des normes actuelles et la conservation des structures patrimoniales : Méthodologie**

**Auteur :** Quittelier, Elisa

**Promoteur(s) :** Paquet, Pierre

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil architecte, à finalité approfondie

**Année académique :** 2015-2016

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/1648>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# Équilibre entre le respect des normes actuelles et la conservation des structures patrimoniales : Méthodologie

Mémoire réalisé en vue de l'obtention du grade de master Ingénieur Civil Architecte.

Elisa QUITTELIER

Promoteur : Pierre Paquet

Lecteurs : Jean-Marie Bleus, Luc Courard, André Lejeune

Université de Liège – Faculté des sciences appliquées

Année académique 2015-2016

QUITTELLIER  
ELISA

Promoteur : Pierre  
Paquet

Lecteurs : Jean-Marie  
Bleus, Luc Courard,  
André Lejeune

Master ingénieur civil  
architecte

Année académique  
2015-2016

Équilibre entre le respect des normes actuelles et la  
conservation des structures patrimoniales : Méthodologie.

## Résumé

La question qui sous-tend l'étude qui sera menée au travers de ce mémoire concerne l'intervention de l'ingénieur sur un bâtiment patrimonial : comment un ingénieur doit-il procéder lorsqu'il intervient sur un bâtiment patrimonial afin de garder un équilibre entre le respect des normes actuelles et la conservation de la structure portante ? Ce travail se concentre sur l'aspect structurel car c'est l'un des plus contraignants. Ce mémoire se fixe l'objectif d'établir une proposition de méthodologie générale que pourrait suivre un ingénieur lorsqu'il aborde la structure d'un bâtiment du patrimoine. Pour ce faire, des praticiens, ayant déjà abordé ce problème, ont été rencontrés et interrogés sur leur méthode et sur les projets qu'ils ont menés sur des bâtiments du patrimoine. Ensuite, des méthodologies déjà existantes et les textes de référence (principalement les Chartes ICOMOS) ont été analysés.

De ces recherches, une méthodologie générale et applicable à tout type de structure a pu être établie. Elle ne se concentre pas sur la phase de calculs de stabilité mais commence dès les premières phases de projet. En effet, les études préalables sont primordiales pour comprendre l'existant et réaliser des choix raisonnés pour l'intervention sur une structure d'un bâtiment patrimonial.

Il en ressort que travailler sur une structure du patrimoine n'est pas un travail totalement différent du projet d'architecture traditionnel. Il faut réaliser une analyse poussée du fonctionnement structural et bien comprendre l'existant. Le chef de projet doit définir une philosophie d'intervention pour mettre en valeur les valeurs patrimoniales de l'édifice et poser un cadre, une ligne de conduite que l'ingénieur doit suivre. Ces deux intervenants doivent travailler ensemble pour trouver des solutions. Pour illustrer la proposition de méthodologie établie dans ce travail, des projets réalisés par les différents intervenants ont été analysés. L'objectif était de relever si les intervenants suivaient leurs principes et si la méthodologie établie dans ce travail pouvait correspondre au travail mené en cas d'intervention sur une structure. Il en ressort, qu'en général, les praticiens suivent les principes qu'ils se sont définis et la proposition de méthodologie établie dans ce travail est relativement proche des démarches suivies par les professionnels.

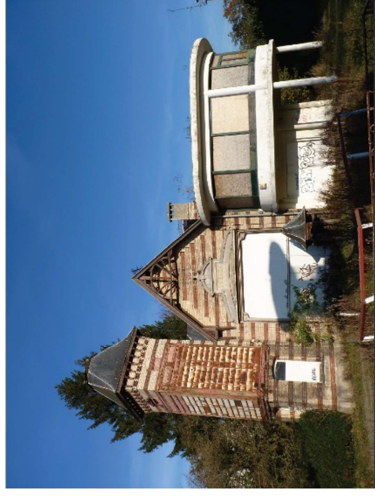
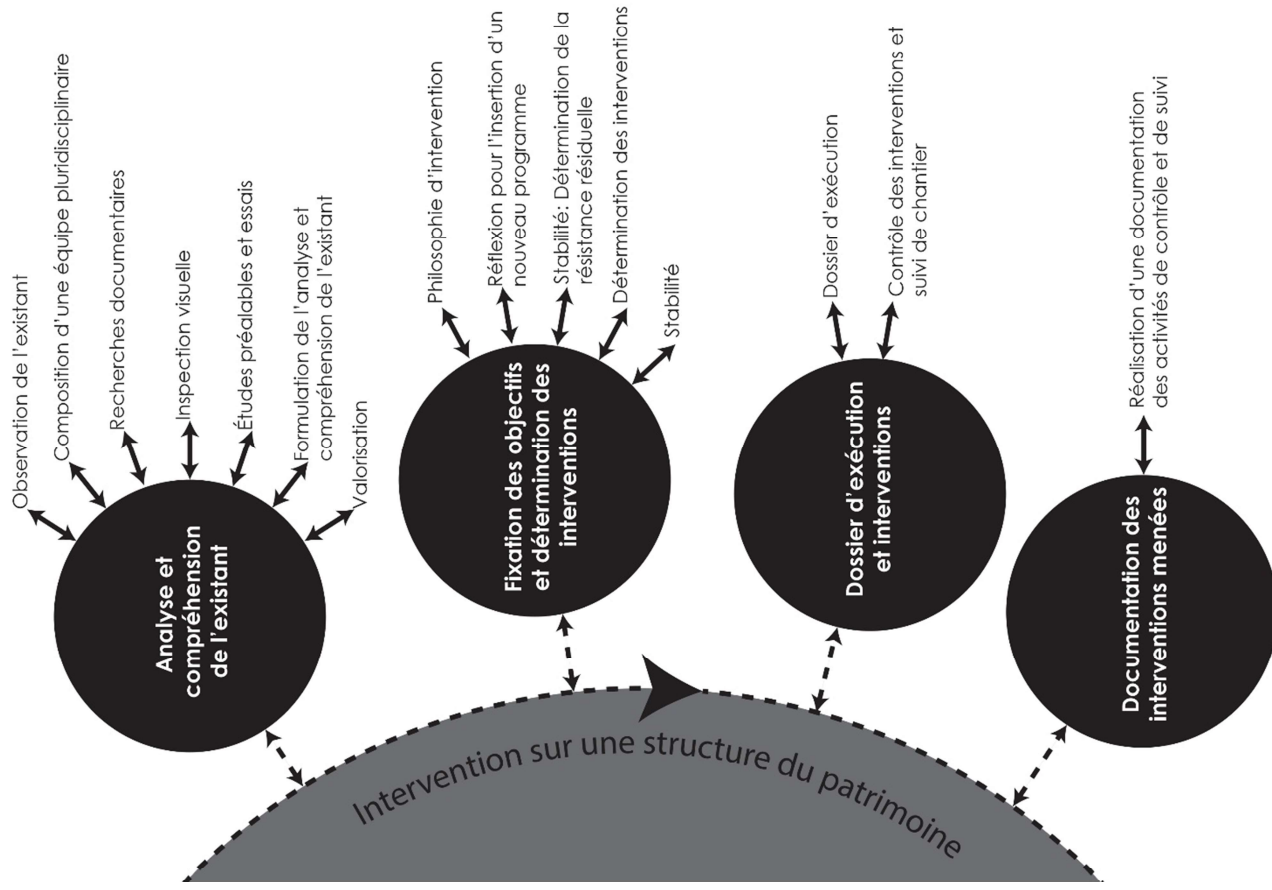
# Summary

The question studied in this paper concerns the intervention of the engineer on a heritage building: how should an engineer operate in a heritage building in order to keep a balance between current standards and conservation of the structure? This work focuses on the structural aspect because it is one of the more restricting. The goal of this paper is to establish a general methodology proposal that could follow an engineer when working on the heritage building structure. To achieve this target this, patricians were interviewed about their method and the projects they have carried on heritage buildings. Then, existing methodologies and reference texts (mainly ICOMOS Charters) were analysed.

A general methodology could be established. It does not focus on the stability calculations phase but begins in the early project phases. Indeed, preliminary studies are essential to understand the existing building and make reasoned choices for intervention on a heritage building structure.

It appears that work on a heritage structure is not a completely different work of traditional architecture project. It is necessary to perform a complete analysis of the structure and to well understand the existing building. The project manager needs to define a philosophy of intervention to highlight the heritage values of the building and “to put a frame” that the engineer must follow. These two patricians must work together to find solutions. To illustrate the proposed methodology established in this work, several projects were analysed. The goal was to demonstrate if the patricians followed their principles and if the methodology established in this work could match the work of patricians. It appears that, in general, patricians follow the principles they have established and the proposed methodology established in this work is relatively close from approaches by professionals.





Hippodrome de Boitsfort (Bruxelles)



Théâtre Royal de Liège



Maison à pan de bois (Exbomont)



Hôtel Desoër de Solières (Liège)



Cathédrale de Tournai



Habitation à Chapon-Seraing

# REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements à Monsieur Pierre Paquet pour m'avoir permis de réaliser ce travail.

Mes remerciements les plus sincères vont également à Messieurs Jean-Marie Bleus et Luc Courard pour leurs conseils et pour avoir pris le temps de lire ce mémoire.

Je remercie également Mesdames Françoise Dupperoy et Chantal Dassonville ainsi que Messieurs André Lejeune, Michel Provost, Alain Dirix, Daniel Dethier, Philippe Samyn, Thibaut Brogneaux, David de Wolf et Ghislain Clearbout pour le temps qu'ils m'ont consacré lors des interviews, ainsi que Monsieur Dehuysser pour le temps qu'il m'a consacré sur le chantier de la cathédrale de Tournai.

J'aimerai aussi remercier Madame Aurélie Vermijlen, Messieurs Yves Jacques, Philippe Greisch et Philippe Closset pour le temps qu'ils m'ont consacré pour expliquer leur projet et leurs interventions.

Je tiens également à remercier Mesdames Carine Gérard et Lucile Smirnov, responsable du centre de documentation de l'ICOMOS, pour leur aide.

Je voudrais remercier ensuite Mesdames Jehanne Seghers et Julie Scandolo pour leur accompagnement dans la réalisation de ce travail, Marie-Pascale Bonaventure, Clémentine Schelings, Murielle et Eddy Hanot pour leur lecture attentive, ainsi que ma famille pour leur soutien lors de l'élaboration de ce travail.

# TABLE DES MATIÈRES

Introduction .....	3
1. Définition de la problématique et objectifs du travail.....	3
2. Description de la problématique .....	3
3. Méthodologie de travail.....	4
Préalables.....	6
1. Définitions .....	6
2. Textes de référence .....	6
3. Réglementations et normes.....	6
4. Présentation des praticiens.....	10
Chapitre 1 : Bases théoriques .....	12
1. Analyser - Mesurer – Estimer – Procéder .....	12
2. Références internationales (Chartes ICOMOS).....	16
Chapitre 2 : Rencontres avec des praticiens .....	22
1. Méthodologie suivie pour la mise en place des interviews .....	22
2. André Lejeune .....	23
3. Alain Dirix .....	24
4. Thibaut Brogneaux.....	24
5. Philippe Samyn.....	25
6. David de Wolf (Greisch) .....	26
7. Daniel Dethier .....	28
8. Ghislain Clearbout.....	29
9. Origin.....	30
10. Tableau récapitulatif des interviews .....	32
11. Question de recherche.....	33
Chapitre 3 : Analyse des rencontres .....	34
1. Sensibilité .....	34
2. Prise de risque.....	34
3. Expérience.....	35
4. Difficulté pour les intervenants d’expliquer leur méthodologie .....	35
5. Documentation .....	36
6. Nécessité d’équipes pluridisciplinaires .....	36
7. Conclusion.....	37
Chapitre 4 : Proposition de méthodologie.....	38
1. Méthodologie.....	38
2. Facteurs influençant la méthodologie .....	43

3. Schéma récapitulatif .....	45
4. Apport de l'ingénieur stabilité .....	46
5. Conclusion .....	46
Chapitre 5 : Analyse d'exemples .....	48
1. Méthode.....	48
2. Hippodrome de Boitsfort : Bâtiment de pesage et petite tribune.....	49
3. Théâtre Royal de Liège .....	61
4. Maison à pan de bois à Exbomont.....	72
5. Hotel desoër de Solières .....	79
6. Charpentes du transept de la cathédrale de Tournai .....	86
7. Étable transformée en habitation à Chapon-Seraing .....	96
8. Conclusion des analyses d'exemples .....	103
Conclusion .....	105
1. Conclusion.....	105
2. Limites .....	106
3. Perspectives .....	107
Table des figures .....	108
Bibliographie .....	110
Annexes.....	114

# INTRODUCTION

## 1. DÉFINITION DE LA PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DU TRAVAIL

La question qui sous-tend l'étude qui sera menée au travers de ce mémoire concerne l'intervention de l'ingénieur sur un bâtiment patrimonial : comment un ingénieur doit-il procéder lorsqu'il intervient sur un bâtiment patrimonial ? Quelle est la démarche que tout ingénieur sera amené à adopter s'il travaille dans le domaine de la conservation et de la restauration du patrimoine ?

Cette question est à la fois très vague et très large. Pour tenter d'apporter une réponse partielle à celle-ci, l'analyse portera sur la structure portante, élément primordial du bâtiment : en effet, un bâtiment est ce qu'il est s'il tient. La problématique devient alors : comment un ingénieur doit-il procéder lorsqu'il intervient sur un bâtiment patrimonial afin de garder un équilibre entre le respect des normes actuelles et la conservation de la structure portante ?

Travailler sur un bâtiment patrimonial fait appel à une vaste gamme de techniques d'ingénierie (stabilité, techniques spéciales, performance thermiques du bâtiment, ...). Tous ces postes sont très contraignants lorsqu'il s'agit d'intervenir sur un bâtiment classé. Ils influencent les interventions et la manière dont celles-ci sont réalisées. Dans un premier temps, l'ensemble de ces problématiques a été abordé mais il a fallu rapidement réduire le champ des recherches. Ce travail se concentre donc sur l'aspect structurel. En effet, celui-ci est l'un des plus contraignants. Ce choix a pour conséquence que la proposition de méthodologie établie ici se focalisera essentiellement sur l'aspect structurel.

Pour répondre à la question posée plus haut, ce travail se fixe l'objectif d'établir une proposition de méthodologie que pourrait suivre un ingénieur lorsqu'il aborde la structure d'un bâtiment ancien et qui permettrait de faire un compromis entre le respect des valeurs patrimoniales de la structure et le respect des normes actuelles. Cette méthodologie se veut générale et pouvant être applicable à tout type de structure (quel que soit le type de bâtiment, de matériau, d'époque,...). Ce type de méthodologie complète n'existe pas : il existe bien des références internationales donnant des principes pour intervenir sur une structure ancienne (Charte de Victoria Falls, ...) et des méthodologies pour l'évaluation des structures.

Cette méthodologie fait le lien entre deux disciplines de nature différente : les sciences de l'ingénieur et la conservation du patrimoine. Il sera dès lors nécessaire d'assurer le lien entre ces deux aspects afin de trouver la solution la plus pertinente, respectant le bâti existant et les exigences techniques actuelles.

Pour des raisons de faisabilité, la réflexion menée dans ce travail a été limitée géographiquement et se concentre sur le territoire de la Wallonie.

## 2. DESCRIPTION DE LA PROBLÉMATIQUE

De nos jours, on assiste à une multiplication des normes dans tous les domaines, induite par un problème sociétal : nous sommes de plus en plus judiciarisés (Dassonville, 2016).

Appliquer les normes actuelles à un bâtiment patrimonial manque de sens. Si on suivait simplement les normes actuelles, la plupart des bâtiments patrimoniaux ne sauraient y répondre. Un bâtiment tenant depuis plusieurs siècles ne répondant pas aux normes devraient par conséquent être détruit.

Cette problématique nécessite donc une approche différente de l'approche traditionnelle.

Malgré cet état de fait, les codes modernes ne traitent pas des matériaux et techniques de construction des bâtiments historiques. Les Eurocodes donnent une méthode de conception pour de nouvelles

structures et ils n'expliquent pas comment évaluer une structure existante et en déterminer sa résistance résiduelle (Rammer, 2014).

### 3. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Trouver l'information pour répondre à la question définie ci-avant n'a pas été aisé. Ensuite, définir comment procéder à cette analyse s'est avéré compliqué : notre formation théorique dans le domaine n'étant pas suffisamment étendue. De plus, les ouvrages de référence en la matière sont peu répandus. Enfin, il était nécessaire de ne pas s'attarder sur les problèmes d'authenticité, sur les méthodes de restauration,...

Une des premières étapes, a été d'effectuer des demandes d'informations auprès de grandes institutions telles que :

- ICOMOS : Conseil International des Monuments et des Sites – Il s'agit d'une organisation internationale non-gouvernementale qui œuvre pour la conservation des monuments et des sites dans le monde (ICOMOS, s.d.).
- ICCROM : Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels - Il s'agit d'une organisation intergouvernementale dont le mandat est de promouvoir la conservation du patrimoine culturel sous toutes ses formes et dans le monde entier (ICCROM, 2016).
- École de Chaillot : Fondée en 1887 à Paris, l'école est un établissement public d'enseignement supérieur ouvert sur concours à des architectes déjà diplômés, ayant une reconnaissance internationale dans le domaine de l'expertise et la restauration du patrimoine (École de Chaillot, 2012).

Ensuite, le stage organisé dans le cadre du master ingénieur civil architecte a été l'occasion de découvrir le bureau d'architecture et d'ingénierie Origin, spécialisé en restauration, de mettre « les pieds dans le plat » et comprendre concrètement le domaine de la restauration et de la conservation du patrimoine.

Initialement, il était prévu d'analyser plusieurs exemples d'interventions réalisées par différents bureaux et d'en retirer des principes et une méthodologie que suivent les architectes et les ingénieurs lorsqu'ils interviennent sur un bâtiment classé et sa structure.

Pour ce faire, des praticiens ont été rencontrés et interrogés sur leur méthode pour aborder une structure du patrimoine. Ils ont été conseillés par Monsieur Pierre Paquet et choisis car ils ont déjà travaillé à la problématique abordée ici.

Toutefois, il s'est avéré difficile de déterminer la direction dans laquelle orienter mes recherches et d'autre part, les intervenants ont pour la plupart éprouvé des difficultés à expliquer leur méthode. En effet, ils se définissent tous des principes qu'ils suivent mais on ne peut pas vraiment parler de méthodologie dans la plupart des cas.

Ces rencontres ont permis de récolter un ensemble d'approches pour travailler sur une structure d'un bâtiment du patrimoine plutôt que de réels exemples d'application.

A ce premier éclairage vient s'ajouter celui des méthodologies existantes déjà établies (essentiellement les chartes ICOMOS, telle que Victoria Falls, et la méthodologie donnée dans le cours de Pierre Paquet : Conservation et restauration du patrimoine culturel immobilier).

À partir de ces éléments, une première proposition de méthodologie a pu être créée. Ensuite, sont venus s'ajouter les apports des praticiens et les manquements de ces derniers par rapport à ces

méthodologies existantes pour créer une méthodologie applicable à tout type de structure et ainsi répondre à la question posée.

Pour illustrer et vérifier la méthodologie établie, plusieurs exemples traités par les bureaux rencontrés ont été choisis. Les informations ont également été recueillies lors d'interviews avec les intervenants. Le but de ces analyses était de mettre en évidence les méthodologies des bureaux, leur réelle application dans l'exécution des travaux et si les principes de la méthodologie établie dans ce travail sont appliqués.

# PRÉALABLES

## 1. DÉFINITIONS

Pour des raisons de faisabilité, la réflexion menée dans ce travail se concentre sur la Wallonie. Ainsi, le travail se base sur les définitions du décret relatif à la conservation et à la protection du patrimoine du 01 avril 1999.

Notons que les notions peuvent fluctuer selon les pays et que la réflexion menée ici se voulant globale, elle devrait s'ouvrir à des concepts plus diffus.

Ces définitions doivent être connues par les différents intervenants, architectes et ingénieurs, car elles sous-tendent leur travail. Néanmoins, les rencontres avec les intervenants ont mis en évidence le fait qu'elles ne sont pas forcément connues ou tout du moins correctement utilisées (il arrive qu'elles soient confondues). Or, certaines méthodologies abordées plus loin mettent en évidence la nécessité de connaître un vocabulaire spécifique au patrimoine (Cf. Chapitre 1 : Bases théoriques).

## 2. TEXTES DE RÉFÉRENCE

Plusieurs documents doivent être pris en compte lors d'une intervention sur un bâtiment patrimonial. Certains ont valeur légale tandis que d'autres sont des guides.

### 2.1 CHARTES ICOMOS

Ces chartes sont adoptées par les assemblées générales de l'ICOMOS et rédigées par des comités spécialisés, regroupant des spécialistes de plusieurs pays différents. Les chartes sont des guides pour la restauration et la conservation. Elles n'ont pas un caractère obligatoire mais les législations nationales concernant la conservation et la protection du patrimoine se basent sur ces dernières. En Wallonie, il s'agit du CWATUP et de son décret du 1<sup>er</sup> avril 1999 ainsi que de ses décrets d'application.

Les chartes utilisées dans ce travail sont reprises ci-dessous :

- la Charte de Venise datant de 1964
- la Charte reprenant les « Principes à suivre pour la Conservation des Structures Historiques en Bois » de 1999
- la Charte regroupant les « Principes pour l'analyse, la conservation et la restauration des structures du patrimoine architectural » qui donne des principes de bases pour intervenir sur les structures d'édifice patrimoniaux » datant de 2003.  
Dans ce travail, l'appellation de la charte est réduite pour plus de facilité au terme de « charte de Victoria Falls »
- la Charte Nizhny Tagil pour le patrimoine industriel de 2003
- la Charte de Cracovie datant de 2000

## 3. RÉGLEMENTATIONS ET NORMES

### 3.1 CWATUP

Le décret du 1<sup>er</sup> avril 1999 du CWATUP (ou Code Wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et du patrimoine) doit être pris en compte pour tout bien classé et situé sur le territoire de la Wallonie. Ce décret régit la gestion du patrimoine en Wallonie et fixe les normes pour la restauration et la protection. Ce décret aurait dû faire l'objet de décrets d'application à posteriori. Il



en existe fixant certaines modalités mais certains sont manquants ou sont antérieurs au décret ce qui complique les démarches (Paquet, 2013-2014).

### 3.2 LOI SUR LES MARCHÉS PUBLICS

Pour toute intervention sur un monument classée, la loi sur les marchés publics et ses modalités sont d'application.

La réglementation actuellement applicable est entrée en vigueur le 1 juillet 2013. Les normes en matière de marché public sont édictées par le gouvernement fédéral (Paquet, 2013-2014).

Pour intervenir sur une structure, il est également nécessaire de tenir compte de normes complémentaires :

### 3.3 EUROCODES

Il s'agit d'un ensemble de normes européennes de conception et de dimensionnement des structures de bâtiment. La rédaction des premiers documents a commencé dès les années 1980 et ces normes sont revues à intervalle régulier.

Ces normes sont d'application volontaire, s'y conformer n'est donc pas obligatoire. Les intervenants interrogés dans le cadre de ce travail parlent de « code de bonne pratique ». Ces normes ont le statut de normes belges mais elles ne peuvent être utilisées en Belgique qu'en combinaison avec leurs annexes nationales (CSTC, 2007).

Ces normes sous-tendent également les normes nationales, notamment en matière d'incendies.

---

## PROBLÉMATIQUE

Appliquer les normes actuelles à un bâtiment patrimonial manque de sens. Avant d'intervenir sur les structures existantes, « la vie » de la structure doit être prise en compte (altérations, détériorations, ...) et les informations disponibles sont plus détaillées pour une structure spécifique : c'est une différence fondamentale par rapport à la méthodologie suivie pour la conception de nouvelles structures (CEN/TC250/WG2, 2013).

De plus, les normes actuelles sont très exigeantes, elles ont plusieurs objectifs : tout d'abord la sécurité mais également le confort. Cette volonté de confort rend les exigences encore plus strictes et n'amène pas forcément de sécurité complémentaire. La question est de savoir si les appliquer dans le cadre du patrimoine est utile et c'est sans doute pourquoi des dérogations sont parfois mises en œuvre.

Cette problématique nécessite donc une approche différente de l'approche traditionnelle.

Malgré cet état de fait, les codes modernes ne traitent pas des matériaux et techniques de construction des bâtiments historiques. Les Eurocodes donnent une méthode de conception pour de nouvelles structures et ils n'expliquent pas comment évaluer une structure existante et en déterminer sa résistance résiduelle ou capacité portante (Rammer, 2014).

Des recommandations ont été créées pour guider les ingénieurs pour les inspections et les interventions sur des structures existantes, notamment la NIT (Note d'Information Technique) 231 du CSTC (Réparation et Protection des ouvrages en béton) et le CSTC Magazine 1998-4 (Stratégie d'essai et d'évaluation des structures en béton). Ces deux articles se concentrent toutefois sur les structures en béton. Des normes pour l'évaluation des structures ont également été publiées, notamment la norme ISO 13822 : Bases for design of structures – Assessment of existing structures (Rammer, 2014).

Pour pallier aux lacunes des Eurocodes, le CEN/TC250/W2 (CEN/TC250 désigne le comité technique développant les Eurocodes et W2 le groupe de travail s'intéressant aux structures existantes) travaille également pour la création de normes pour l'évaluation des structures existantes. Les normes ne donnent donc qu'une partie de la méthodologie, l'évaluation. Il n'y a pas d'indications sur les interventions et la suite de celles-ci.

De plus, ces normes se basent sur le fait que, les informations disponibles étant plus détaillées pour une structure existante et une fois la fiabilité de la structure déterminée, on pourra réduire certaines incertitudes liées à la conception (principalement les caractéristiques du matériau) et donc réduire également certains coefficients de sécurité partiels sous réserve de respecter certaines conditions, notamment l'utilisation des informations recueillies lors d'une inspection de la structure (Rammer, 2014).

L'application de ces normes adaptées aux structures du patrimoine paraît être plus adaptée.

### 3.4 NORMES INCENDIES

Les normes de base en matière de prévention « incendies » sont fixées par l'arrêté du 7 juillet 1994 et ses modifications. Elles sont édictées par le gouvernement fédéral (CSTC, 2014).

Les interventions sur des bâtiments existants ne relèvent pas du domaine d'application de l'arrêté royal depuis la modification de l'arrêté du 4-4-2003, art 1. Néanmoins, la sécurité ne peut pas régresser et les nouveaux éléments doivent satisfaire autant que possible à l'arrêté royal. Un bâtiment existant est un bâtiment pour lequel la demande de permis d'urbanisme a été introduite avant l'entrée en vigueur des normes de base (CSTC, 2013).

### 3.5 TABLEAU RECAPITULATIF DES RÉFÉRENCES ET DES RÉGLEMENTATIONS UTILISÉES AINSI QUE LEURS IMPLICATIONS

	<b>Pour qui ?</b>	<b>Date de création</b>	<b>Par qui ?</b>	<b>Statut</b>
<b>Charte de Venise</b>	Tous les intervenants	1964	ICOMOS	Guide pour la conservation et la restauration
<b>Charte de Victoria Falls</b>	Ingénieur stabilité	2003	ISCARSAH (International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage - ICOMOS)	Guide pour la conservation et la restauration des structures
<b>Charte pour le patrimoine industriel</b>	Tous les intervenants	2003	TICCIH (the International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage - conseiller pour le patrimoine industriel pour ICOMOS)	Guide pour la conservation et la restauration du patrimoine industriel
<b>Charte de Cracovie</b>	Tous les intervenants	2000	ICOMOS	Guide pour la conservation et la restauration du patrimoine bâti
<b>CWATUP</b>	Architecte restaurateur	01-04-1999 + décrets d'application	Gouvernement de la région wallonne	Caractère obligatoire pour les bâtiments classés situés en région wallonne
<b>Lois sur les marchés publics</b>	Tous les intervenants	01-07-2013	Gouvernement fédéral	Caractère obligatoire pour les bâtiments classés
<b>Eurocodes</b>	Ingénieur stabilité	1998-.... (transformation des ENV en EN)	CEN (comité européen de normalisation)	Application volontaire
<b>Normes incendies</b>	Tous les intervenants	07-07-1994 + modifications	Gouvernement fédéral	Caractère obligatoire pour tout type de bâtiment

## 4. PRÉSENTATION DES PRATICIENS

### 4.1 ANDRÉ LEJEUNE

Professeur Émérite à l'université de Liège dans le département Argenco, André Lejeune est un ingénieur hydraulicien spécialisé dans les barrages. Il a également travaillé sur des bâtiments classés tels que la salle académique de l'Université de Liège. Il était membre, en tant que spécialiste structure, au CRMSF, la Commission royale des Monuments, Sites et Fouilles (Lejeune, 2015).

### 4.2 ALAIN DIRIX

L'ingénieur architecte Alain Dirix a fondé le bureau « Architecture Alain Dirix - A.A.D. SCPRL » en 2002 à Seraing (Dirix, 2015). Il s'est occupé de rénovation de bâtiments tels que l'abbatiale de la Paix Dieux à Amay, le val Benoit à Liège et la salle académique à l'Université de Liège.

### 4.3 THIBAUT BROGNEAUX

Ingénieur architecte, Thibaut Brogneaux a fondé Brogneaux Architectures en 1999 à Flémalle. Il a acquis son expérience principalement dans le cadre de rénovations de logements (Brogneaux, 2015).

### 4.4 PHILIPPE SAMYN

Philippe Samyn and Partners sprl, société d'envergure internationale, a été fondé en 1980 par l'ingénieur Philippe Samyn. Avec ses différentes filiales (FTI, Ingenieursbureau Jan MEIJER, DAE et AirSr) ses compétences couvrent tous les secteurs de l'architecture et de l'ingénierie du bâtiment. La bureau s'est chargé de projets de restauration comme la ferme Stassart (siège de Philippe Samyn and Partners) la Maison de la radio située à la Place Flagey et la réaffectation de la brasserie Lamot en espace de bureaux.

Philippe Samyn est titulaire d'un diplôme d'ingénieur civil des constructions de l'Université libre de Bruxelles (ULB) obtenu en 1971, d'un Master of Sciences in Civil Engineering du Massachusetts Institute of Technology (MIT), en 1973, d'un diplôme d'urbanisme de l'ULB en 1973, d'un post-graduat en gestion de la Solvay Business School en 1985. En 1985, il est diplômé architecte au Jury d'État et devient docteur en sciences appliquées à l'Université de Liège en 1999. Il débute son activité comme architecte et ingénieur conseil en 1972 (Samyn and partners, 2014).

### 4.5 GREISCH ET DAVID DE WOLF

D'envergure internationale, le bureau Greish, situé à Liège et à Bruxelles a été créé en 1959 par l'ingénieur et architecte René Greish. Durant quarante ans, il développera la conception, le calcul et la réalisation d'ouvrages d'art et de génie civil. Parmi les nombreux chantiers de restauration menés par le bureau Greisch, on peut mentionner le beffroi et l'église Saint-Nicolas à Mons, l'Abbatiale de la Paix-Dieu à Amay, le théâtre royal de Liège, l'hôtel Desoër de Solières à Liège et la cathédrale Saint-Paul de Liège (Greisch, s.d.).

Pour ce bureau, le responsable des rénovations, David de Wolf a été interviewé.

### 4.6 DANIEL DETHIER

Diplômé ingénieur civil architecte, Daniel Dethier travaille à partir de 1979 en tant qu'architecte indépendant et assure en même temps un poste d'assistant à la chaire de composition du professeur Englebert. En 1982, il obtient le diplôme d'ingénieur urbaniste.

En 1992, Daniel Dethier fonde le bureau Dethier Architecture, situé à Liège. Le bureau compte 5 à 10 collaborateurs et collabore régulièrement avec des intervenants issus de différents domaines (artistes, agronomes, sociologues, ingénieurs, scientifiques, ...) aussi bien en Belgique qu'à l'étranger.

Leur démarche se caractérise une volonté d'apporter des solutions innovantes et répondant aux besoins actuels.

Dethier Architecture a réalisé la rénovation de l'ancien couvent des Ursulines à Liège, du manège de la caserne Fonck, de la réhabilitation des anciens abattoirs d'Eupen et de la réhabilitation des résidences Curtius et Brahy dans l'ensemble muséal du Grand Curtius à Liège (Dethier architecture, s.d.).

#### 4.7 MONUMENT ET GHISLAIN CLEARBOUT

Monument est l'une des principales entreprises de construction en Belgique spécialisée dans la restauration. Elle réunit toute une série d'entreprises spécialisées en restauration du patrimoine architectural. Cette entreprise a été créée en il y a plus de 100 ans, elle a donc acquis une longue expérience dans la restauration et la rénovation de monuments non seulement en Belgique mais également à l'étranger (France, Allemagne, Pays-Bas, ...). La branche Monument Hainaut, situé à Tournai depuis 1996, s'est occupée de la restauration de bâtiments historiques tels que la Cathédrale et le Beffroi de Tournai, l'Hôpital Notre-Dame à la Rose de Lessines et l'abbaye d'Aulne.

Ghislain Clearbout, ingénieur civil en construction est l'administrateur délégué de Monument Hainaut S.A (Monument, s.d.).

#### 4.8 ORIGIN ET MICHEL PROVOST

La société Origin Architecture & Engineering a été créée en 2001 et se compose aujourd'hui de 28 collaborateurs. Située à Bruxelles, elle est spécialisée en restauration et rénovation de monuments et de sites (souvent classés).

Origin prend en charge toutes les études et le suivi de la restauration ainsi que les études de stabilité et la coordination des équipements techniques. Le fait que le bureau combine l'architecture et la stabilité est assez rare dans le milieu et fait sa spécificité. Les bâtiments classés étant principalement publics, le bureau a une bonne connaissance des marchés publics et travaille régulièrement avec les institutions publiques. Il s'associe également souvent avec d'autres bureaux (pour la conception contemporaine par exemple qui n'est pas prise en charge par le bureau).

Les projets de restauration et de rénovation concernent tant des monuments publics que privés, des logements, des lieux de culte, ... tels que l'hippodrome de Boitsfort à Bruxelles, le théâtre royal de Liège, l'église Sainte-Croix à Liège, les remparts de la citadelle de Namur, l'église Saint-Jean-Baptiste du Béguinage à Bruxelles,... que des sites (la cascade d'Hyon, le Bois de la Cambre, ...).

Pour Origin, le fait d'intervenir sur un bâtiment existant nécessite de mener des études historiques, architecturales et techniques afin de connaître et respecter toutes ses particularités, c'est pourquoi la plupart des associés, chefs de projet et collaborateurs d'Origin sont détenteurs d'un Master complémentaire en Restauration du Patrimoine (Origin, 2014).

Michel Provost est associé et responsable de projet dans le bureau Origin. Il est ingénieur civil des constructions de formation.

# CHAPITRE 1 : BASES THÉORIQUES

## 1. ANALYSER - MESURER – ESTIMER – PROCÉDER

La première méthodologie abordée retrace les étapes que devrait suivre tout architecte/ingénieur restaurateur. Celle-ci devrait être la démarche de tout architecte/ingénieur lorsqu'il aborde un bâtiment patrimonial, elle sert donc de première base pour établir la méthodologie recherchée dans ce travail.

Cette méthodologie étant générale, il s'agit ici d'en ressortir les principes nécessaires lors d'une intervention sur structure.

La méthodologie se structure en 5 étapes :

- Analyser
- Mesurer
- Estimer
- Procéder
- Diriger/surveiller (Paquet, 2013-2014)

Chaque étape est abordée selon 3 points :

- Présentation de l'étape
- Analyse des interviews : les praticiens suivent-ils cette étape lors de leurs interventions sur le patrimoine ?
- Conclusion

### 1.1 ANALYSER

Cette première étape consiste à observer l'édifice existant afin d'en prendre connaissance, ainsi que de son environnement et de son contexte et, dans le cas qui nous occupe, de sa structure. Il ne s'agit pas simplement de regarder, il faut s'imprégner de l'existant. Cette observation doit être attentive et critique pour permettre, à terme, de comprendre le bâtiment existant et le fonctionnement de sa structure.

Cette observation associée à une bonne connaissance du contexte et à l'expérience de l'observateur conduit à une approche globale de l'état sanitaire du bâtiment. Elle permet donc de déterminer quelles seront les études préalables nécessaires par la suite, celles-ci constituant la deuxième étape de l'analyse.

Les études préalables regroupent des domaines très étendus, dépassant les compétences de l'ingénieur architecte ou de l'architecte. Celui-ci doit donc s'en remettre à des experts et une équipe pluridisciplinaire devra être constituée dès cette première phase d'étude.

La compréhension du bâtiment existant découlera donc de l'observation attentive réalisée et des informations recueillies suite aux études préalables.

Comprendre l'édifice permettra de réaliser des choix pertinents pour la restauration. Cette compréhension dépend non seulement des facultés d'observation de l'observant, mais également de sa maîtrise des études préalables et de son bagage de références (Paquet, 2013-2014).

Cette première étape met en évidence qu'il faut de l'expérience pour travailler sur le patrimoine et pour réaliser cette première étape d'observation et de compréhension correctement et de façon

efficace. Ce point est également réapparu lors des entrevues avec les professionnels rencontrés. Il en est ressorti une « règle » : tant qu'on n'a pas compris le bâtiment existant, on n'intervient pas.

La formation d'ingénieur architecte peut présenter l'avantage (par rapport à la formation d'architecte) d'offrir des connaissances plus scientifiques : un ingénieur pourrait avoir plus de facilités pour identifier les différentes analyses à effectuer et pour comprendre les rapports fournis (étant donné le caractère scientifique des données). Par contre, cette formation ne donne pas les clés pour l'analyse des caractéristiques historiques.

## 1.2 FORMULER L'ANALYSE

Il s'agit ici de formuler une analyse critique suite aux premières observations et aux résultats des études préalables. Celle-ci devra ensuite être transmise à tous les acteurs intervenant sur le projet. Les capacités de formulation de l'analyse de l'observateur sont donc importantes pour assurer la compréhension des lecteurs.

Pour formuler cette analyse, l'intervenant a besoin d'un certain bagage de base :

- Des références culturelles : c'est-à-dire une certaine connaissance d'interventions déjà réalisées, de la façon de faire à l'époque de la réalisation, d'exemples concrets... L'observation, les études préalables et ces références peuvent permettre de guider les premiers choix pour la restauration.
- Des connaissances théoriques (vocabulaire spécifique) : la restauration nécessite d'acquérir un vocabulaire spécifique à ce domaine.
- Des connaissances pratiques : afin de réaliser des choix raisonnés, il est nécessaire de connaître les pratiques et les techniques de restauration (Paquet, 2013-2014).

Cette étape n'est pas du tout ressortie lors des interviews. Elle est sans doute évidente pour les praticiens ou ils ne voient pas de réelles difficultés dans celle-ci. Ils englobent cette formulation dans les études préalables.

Formuler une analyse n'est pas une matière enseignée dans les formations, elle s'acquiert par l'expérience. Toutefois il serait intéressant d'en acquérir les bases au cours d'un cursus de formation. Ce point souligne l'importance de la formation et des connaissances de base à avoir pour intervenir sur un bâtiment patrimonial.

Suite à ces deux premiers points, il en ressort qu'il faut une formation adéquate et de l'expérience dans le domaine pour intervenir sur le patrimoine. Ces deux aspects sont indissociables, l'un complétant l'autre.

## 1.3 MESURER

Il s'agit ici de réaliser des documents qui supportent l'analyse critique (élévations, coupes, master plan, détails techniques,...) (Paquet, 2013-2014). L'architecte restaurateur ou une équipe pluridisciplinaire pourra également réaliser un plan directeur pour la restauration (comme celui réalisé pour la restauration de la cathédrale de Tournai).

Ce travail constitue une première partie du dossier d'exécution.

Ce point n'est pas non plus ressorti lors des entrevues car il est similaire au travail traditionnel d'un architecte ou d'un ingénieur.



Figure 1: Cathédrale de Tournai

#### 1.4 ESTIMER

Les intervenants doivent proposer des mesures de restauration ayant une validité financière et ensuite, ils doivent réaliser un métré reprenant les coûts estimatifs des interventions proposées et un cahier des charges. Ce travail est similaire au travail traditionnel d'un architecte ou d'un ingénieur.

Cette estimation est primordiale. Il existe des mercuriales de prix mais elles ne sont pas applicables à la restauration car elles ne prennent pas en compte ses spécificités. Pour compenser ce manque, des mercuriales de prix et une formation spécifique ont été créées par l'administration du patrimoine de la région wallonne et l'institut du patrimoine de Wallonie. Toutefois, l'expérience de l'intervenant reste indispensable pour assurer cette étape (Paquet, 2013-2014).

Ce point n'a pas non plus été abordé lors des entrevues (excepté par Yves Jacques). Il est peu probable qu'il s'agisse d'un défaut dans la pratique, c'est sans doute par pudeur et non par méconnaissance.



## 1.5 PROCÉDER EN CONNAISSANCE DES RÉGLEMENTATIONS

Il faut tenir compte des différents documents guides et des normes exposées auparavant (cf. Préalables) :

- Les références internationales (Charte de Venise,...)
- Le CWATUP (Code wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et du patrimoine)
- La loi sur les marchés publics
- Les Eurocodes
- Les normes incendies

La plupart des acteurs interrogés parlent de la Charte de Venise et du principe de réversibilité. Cependant, un seul acteur a abordé la charte de Victoria Falls (Michel Provost du bureau Origin) décrivant les principes de base pour la conservation des structures. Aucun acteur n'a abordé la charte reprenant les principes pour la conservation des structures historiques en bois, ni la charte de Cracovie regroupant des principes pour intervenir sur le patrimoine bâti.

Ces chartes sont accessibles et sont censées être appliquées car elles sous-tendent la réglementation.

On peut en déduire qu'elles sont mal connues : certains acteurs m'ont stipulé que ces philosophies changeaient constamment. Toutefois, la charte de Venise date de 1964. Il est vrai qu'elle est complétée au fur et à mesure par un ensemble de chartes. Néanmoins, la charte de Victoria Falls, établie en 2003, est la dernière en date concernant les structures.

Les règles concernant l'aménagement du territoire ne changent pas régulièrement non plus. Le décret qui nous intéresse date du premier avril 1999.

Un manque de formation ou une méconnaissance est probablement à l'origine de cette perception.

On pourrait également penser à un manque d'investissement de la part des acteurs qui ne les connaissent pas, mais c'est difficile à imaginer, car la plupart sont passionnés.

Une chose importante à souligner est qu'ils appliquent malgré tout la plupart des principes des chartes (importance des études préalables afin de prendre connaissance de la structure, réversibilité des interventions, ...).

Beaucoup d'acteurs soulignent qu'ils font souvent jouer des dérogations lorsqu'ils interviennent sur le patrimoine : ils partent du principe que les normes ne sont pas des lois mais plutôt un code de bonne pratique. Ainsi, des dérogations sont possibles dans la mesure où on met en place des principes de sécurité équivalents (Samyn, 2015).

## 1.6 DIRIGER / SURVEILLER TRAVAUX

Le travail de l'architecte-restaurateur ne s'arrête pas à la production d'un projet de restauration. Il doit piloter le chantier et contrôler la mise en œuvre. En effet, malgré la réalisation d'études préalables, des découvertes fortuites peuvent se produire en cours de chantier (Paquet, 2013-2014).

Cet aspect du travail sera illustré plus loin, dans le cadre de l'analyse de l'intervention effectuée sur l'hippodrome de Boitsfort (Cf : Chapitre 5 : Analyse d'exemples).

Ce point n'a été abordé que par le bureau Origin. Ce travail est similaire à celui d'un architecte traditionnel.

## 2. RÉFÉRENCES INTERNATIONALES (CHARTES ICOMOS)

Il ne s'agit pas de réaliser ici une analyse critique des chartes, ce n'est pas l'objet de ce travail.

Les chartes et leurs principes sont abordés ici car elles viennent en quelque sorte « perturber » le travail habituel de l'ingénieur, celui-ci doit tenir compte des contraintes de la restauration, en plus des contraintes d'un travail traditionnel. En effet, le travail de l'ingénieur vient s'intégrer dans un projet général de restauration et les contraintes de restaurations liées au projet doivent être prises en compte dès les premières phases d'étude afin de réaliser des choix de restauration pertinents et raisonnés.

Pour chaque charte, les principes importants pour intervenir sur une structure d'un bâtiment patrimonial sont repris dans les paragraphes ci-dessous. Ils concernent à la fois le chef de projet et l'ingénieur stabilité.

### 2.1 CHARTE DE VENISE

Cette charte a été adoptée en 1964 lors de la deuxième assemblée générale de l'ICOMOS. Cette assemblée regroupe des experts de différents pays. Les membres du conseil d'administration sont choisis de telle façon que diverses spécialités soient représentées (ICOMOS, s.d.).

Cette charte donne plusieurs recommandations et éléments qui doivent être pris en compte lorsqu'on intervient sur une structure d'un bâtiment patrimonial :

En effet, le deuxième article précise que la conservation et la restauration des monuments impliquent « toutes les sciences et toutes les techniques qui peuvent contribuer à l'étude et la sauvegarde du patrimoine » (ICOMOS, 1964). Il sous-entend donc que les équipes travaillant sur ce genre de problème devraient être des équipes pluridisciplinaires.

Le cinquième article concerne la réaffectation : donner une nouvelle fonction à un bâtiment et les différentes interventions qui en découlent ne peuvent altérer l'édifice.

L'article 9 précise que la restauration doit se baser « sur des documents authentiques » (ICOMOS, 1964) et « sera toujours précédée et accompagnée d'une étude archéologique et historique du monument » (ICOMOS, 1964), afin de conserver et respecter les valeurs patrimoniales du bâtiment, « elle s'arrête là où commence l'hypothèse » (ICOMOS, 1964). Pour respecter au mieux le bâtiment existant, il doit être connu et compris. Cela implique que la restauration doit toujours être précédée d'études préalables (études archéologiques, historiques, ...) qui permettront de comprendre l'édifice et sa structure.

Ainsi, dans le cas d'une structure, on tentera de comprendre sa logique de fonctionnement et on évitera de la changer (Lejeune, 2015).

« Tout travail de complément portera la marque de notre temps » (ICOMOS, 1964). L'article 12 rejoint cette idée et stipule que les nouveaux éléments doivent s'intégrer à l'ensemble tout en se distinguant des parties anciennes. On ne fait pas de « faux vieux ». Tout ajout doit être clairement identifiable et la structure d'origine doit conserver sa lisibilité. Cela influencera les solutions qui seront choisies par les intervenants.

Finalement, l'article 16 met en évidence le fait qu'une documentation précise doit être constituée lors de tout travail de conservation ou restauration (ICOMOS, 1964), décrivant toutes les interventions réalisées (qui font désormais partie de l'histoire du bâtiment) et permettant ainsi à la postérité d'intervenir à nouveau sur le bâtiment.

## 2.2 PRINCIPES POUR L'ANALYSE, LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES STRUCTURES DU PATRIMOINE ARCHITECTURAL – VICTORIA FALLS

Cette charte a été adoptée en 2003 par la 14ème assemblée générale de l'ICOMOS se tenant à Victoria Falls. Contrairement à la charte de Venise qui est très générale, celle-ci s'intéresse spécifiquement aux structures. Elle a été rédigée par l'ISCARSAH ((International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage ou Comité international pour l'analyse et la restauration des structures du patrimoine architectural).

La charte donne toute une série de principes à suivre lorsqu'il s'agit d'intervenir sur une structure patrimoniale. Ces principes forment une ébauche de méthodologie pour assurer la conservation des structures.

---

### 2.2.1 GÉNÉRALITÉS

La charte donne tout d'abord des principes de base généraux :

#### 1. Démarche itérative

Dans l'article 1.6, la charte recommande de suivre une démarche itérative en trois étapes :

- L'anamnèse (c'est-à-dire comprendre comment le bâtiment en est arrivé là, dans son état),
- La thérapie
- Le contrôle.

Cette procédure est prônée par les auteurs de la charte car les structures et leurs histoires peuvent être complexes et leur fonctionnement difficile à comprendre.

On privilégie ainsi une approche progressive, plus encline à effectuer les bons choix pour la restauration.

Dans l'article 2.2, les auteurs stipulent également qu'une première étude approximative peut être effectuée pour pouvoir établir une ligne directrice appropriée.

#### 2. Conserver l'intégrité de la structure

Il s'agit de faire en sorte que la structure garde sa fonction première et donc son utilité. À cette fin, il est nécessaire de comprendre son fonctionnement. Il faut également entendre par-là de respecter le concept original de la structure, donc de ne pas ignorer la logique constructive originale pour la remplacer par une autre logique qui conviendrait mieux.

#### 3. Garder l'équilibre entre conservation de la structure et sécurité

L'article 1.4 spécifie qu'en cas de changement de fonction, « les exigences de conservation et les conditions de sécurité doivent être soigneusement prises en compte » (ICOMOS, 2003).

On doit donc trouver le moyen d'allier la conservation de la structure tout en assurant la sécurité. L'article parle bien de sécurité et ne dit pas explicitement que les normes actuelles doivent être respectées.

L'article 2.8 précise également que les exigences de sécurité actuelles sont très élevées voir trop. Il précise alors que diminuer le niveau de sécurité est possible mais doit être justifié (ICOMOS, 2003). En pratique, il peut s'agir d'utiliser des dérogations. Celles-ci sont possibles dans la mesure où on met en place des principes de sécurité équivalents (Samyn, 2015).

L'article 2.8 précise qu'il est possible de diminuer les niveaux de sécurité mais ne dit pas comment et ce qui doit être fait.

Les normes actuelles ont des objectifs de sécurité et de confort, rendant les exigences encore plus strictes et n'amenant pas forcément de sécurité complémentaire. La question est de savoir si les appliquer dans le cadre du patrimoine est utile. C'est pourquoi des dérogations sont parfois mises en œuvre. De plus, de nos jours, on cherche à mettre en place des normes pour revoir les coefficients de sécurité et pour l'évaluation de structures existantes.

La charte prône de respecter les exigences de sécurité actuelles mais ne parle nulle part du respect des réglementations (qui entourent la restauration) ou des contraintes budgétaires et de temps.

---

### 2.2.2 MÉTHODOLOGIE

Les étapes reprises dans la charte sont les suivantes :

1. Composition d'une équipe pluridisciplinaire (article 2.1)

Cette équipe doit être composée dès les premières phases d'étude et sa composition sera fonction du type et de l'échelle du projet ainsi que de son contexte.

Cette charte ne distingue pas les rôles des différents intervenants. Même si la composition d'une équipe dépend de beaucoup de facteurs, la restauration impose des équipes pluridisciplinaires et une intervention sur une structure implique obligatoirement un ingénieur.

La composition des équipes d'intervention est problématique en Belgique étant donné l'obligation de procéder à des marchés publics. En effet, la procédure de choix peut avoir pour conséquence de désigner des intervenants qui ne sont pas toujours les plus pertinents. Il serait appréciable dans certains cas que, l'architecte qui est chef de projet, puisse choisir lui-même ses partenaires.

De plus, les grandes entreprises générales obtiennent une grande majorité des marchés. Elles soustraient de petits artisans dans des conditions décriées par ceux-ci (Lejeune, 2015 ; Paquet, 2013-2014). Il faudrait donc travailler par marchés à lots séparés.

2. Recherches historiques et archéologiques (article 2.5) et étude du patrimoine dans son contexte (article 1.2)

3. Études préalables, observation et analyse des désordres et des dégradations (article 2.5)

Ces analyses doivent être « qualitatives et quantitatives » et consiste en des observations sur site et des tests.

4. Compréhension de la structure existante (article 2.3)

5. Déterminer les causes des désordres (article 2.6)

6. Évaluation de la résistance résiduelle ou « du niveau de sécurité » (ICOMOS, 2003) (article 2.7)

Cette étape se base sur les études réalisées précédemment et tient compte des observations et des tests réalisés auparavant.

7. Réalisation d'une documentation précise sur les observations et analyses réalisées (article 2.9)

8. Intervention en se basant sur le diagnostic (articles 3.3 - 3.6) et suivant plusieurs critères.

La compréhension de la structure permet de prendre des mesures pertinentes pour la conservation. La charte de Victoria Falls donne toute une série de critères que devraient respecter les interventions proposées :

- Les interventions doivent être « proportionnées aux objectifs de sécurité fixés » (ICOMOS, 2003) et être les moins envahissantes possible tout en assurant la sécurité et la durabilité (article 3.5)
- Les interventions doivent mettre en œuvre les techniques « les moins envahissantes et les plus respectueuses des valeurs patrimoniales » (ICOMOS, 2003) (article 3.7). Dans la même idée, le démontage doit rester exceptionnel (article 3.17)
- Les interventions doivent être réversibles ou tout du moins permettre une intervention ultérieure (article 3.9)
- Les matériaux utilisés lors des interventions doivent être connus (article 3.10)
- Les interventions doivent respecter la structure existante, c'est-à-dire le « concept originel, les techniques et la valeur historique des états précédents » (ICOMOS, 2003) (article 3.12)
- Il est préconisé de réparer plutôt que remplacer (article 3.15)

Ce critère n'est pas le plus pertinent, cela dépendra de la valeur patrimoniale de la structure. Dans le cas de l'hippodrome de Boitsfort présenté ci-après, les charpentes ont été complètement remplacées mais le bureau amène plusieurs justifications à cette intervention.

- Si l'édifice présente des altérations non réversibles, témoins de l'histoire de la structure, celle-ci devraient être conservées (article 3.16)

9. Contrôle et suivi des interventions (article 3.20 – 3.21)

10. Réalisation d'une documentation de toutes les activités de contrôle et de suivi (article 3.22) (ICOMOS, 2003).

## 2.3 PRINCIPES À SUIVRE POUR LA CONSERVATION DES STRUCTURES HISTORIQUES EN BOIS

Cette charte reprend plusieurs points déjà abordés par la charte de Victoria Falls. On peut également en retirer différentes étapes à suivre pour intervenir sur une structure, quel que soit son type et son matériau.

### 1. Inspection, relevés et documentation

Le premier article de la charte stipule que l'état de la structure et de ses éléments doit être documenté, conformément à l'article 16 de la Charte de Venise. D'abord, il faut rechercher de la documentation afin de prendre connaissance de la structure (informations sur les techniques traditionnelles, sur le matériau, ...). Une inspection visuelle doit être effectuée. Ensuite, une analyse de l'état physique de la structure doit être réalisée. Elle consiste en des mesures et des tests (on privilégiera les tests non destructifs).

Finalement, on réalisera un diagnostic des causes de détérioration se basant sur les résultats des études et des tests (article 2).

### 2. Interventions

En se basant sur les études et les observations réalisées au préalable (article 4), on peut déterminer quelles sont les interventions les plus pertinentes pour assurer la conservation des valeurs patrimoniales de la structure. Celles-ci devraient également suivre plusieurs critères :

- Maintenir l'authenticité et l'intégrité de la structure, ainsi que ses valeurs esthétiques et historiques (article 4).

- Conserver la fonction portante de la structure et assurer sa lisibilité par des interventions clairement identifiables (article 8).
  - Favoriser les méthodes traditionnelles (article 5.a).
  - Assurer la réversibilité ou tout du moins s'assurer que les interventions n'empêchent pas d'intervention ultérieure (article 5.b).
  - Conserver un maximum du matériau existant, les pièces retirées doivent être cataloguées et conservées, faisant partie de la documentation créée (article 7).
  - Utiliser un matériau similaire à l'existant. Néanmoins, les nouvelles pièces doivent se distinguer des anciennes (articles 9, 10 et 11).
  - Utiliser les matériaux modernes (résine epoxy, ...) de façon prudente et avoir une bonne connaissance de ces matériaux (article 13).
3. Documentation

Le premier article de la Charte insiste également sur la nécessité de documenter les travaux de conservation.

Finalement, la charte préconise la création de formations spécifiques et s'adressant à toutes les professions (ICOMOS, 1999) (article 15). Cet article met en évidence l'importance d'une formation appropriée pour intervenir sur le patrimoine.

#### 2.4 CHARTE NIZHNY TAGIL POUR LE PATRIMOINE INDUSTRIEL

Cette charte reprend plusieurs points déjà abordés par les Chartes citées précédemment.

Elle souligne d'abord l'importance de l'étape de valorisation à intégrer dans la marche à suivre afin de déterminer quelles sont les valeurs patrimoniales à mettre en avant (articles 5.1 et 5.2). Ensuite, elle met en évidence l'importance de la documentation à produire (article 3.2).

Comme déjà évoqué dans la Charte de Victoria Falls, la charte préconise :

- Des recherches archéologiques (article 3.4) et recherches historiques (article 3.5)
- Une réflexion pour l'insertion d'un nouveau programme (article 5.4)

Elle donne des principes à suivre pour les interventions :

- Les interventions doivent respecter l'intégrité et l'authenticité (article 4. 3)
- Il faut éviter le démantèlement et le déplacement (article 5.3)
- On privilégiera des interventions réversibles ayant un minimum d'impact (article 5.6). En cas de suppression d'un élément significatif, il est demandé de l'inventorier.

La Charte souligne l'importance d'une bonne formation pour intervenir sur le patrimoine et préconise de créer des formations appropriées (article 6.1) (ICOMOS, 2003).

#### 2.5 CHARTE DE CRACOVIE : PRINCIPES POUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DE L'HÉRITAGE BÂTI

L'article 3 de la Charte précise que le projet de restauration doit être fondé sur une série d'options techniques et élaboré sur base d'une bonne connaissance et compréhension du bâtiment. Il souligne donc l'importance des études préliminaires et la nécessité de comprendre l'existant pour faire des choix pertinents pour la restauration.

Cet article met également en avant la nécessité de créer des équipes pluridisciplinaires, toutes les disciplines pertinentes devant participer au projet de restauration. La coordination de cette équipe doit être assurée par un coordinateur qualifié et bien formé pour la conservation et la restauration. Il

doit également avoir de bonnes connaissances et une bonne formation pour interpréter les différentes analyses.

Ce rôle de coordinateur est tenu par l'architecte (ou l'ingénieur architecte) qui doit coordonner et superviser le projet.

Selon l'article 6, le projet de restauration doit définir les méthodes et les objectifs pour assurer le maintien de l'intégrité et l'authenticité.

Dans les interviews, cela ressort comme la création d'un cadre ou d'une ligne de conduite que doit poser l'architecte et qui guidera les différents intervenants.

Une nouvelle utilisation de l'édifice doit être appropriée, compatible avec l'espace existant.

Pour les interventions (article 10), il faut :

- Respecter la fonction originale et assurer la compatibilité avec les matériaux existants, les structures et les valeurs architecturales.
- Connaître les nouveaux matériaux et technologies utilisées.
- Assurer la réversibilité.

La Charte s'attarde également sur l'enseignement.

Comme dit précédemment, le coordinateur doit être bien formé pour assurer le bon déroulement d'un projet de restauration. Il doit avoir des connaissances dans plusieurs domaines (histoire de l'architecture, techniques de restauration et conservation,...). Les formations doivent être maintenues à jour (tenir compte de l'évolution des techniques et des textes de références,...).

Finalement, la charte propose de mettre en place des dispositions légales afin qu'une période d'expérience pratique sous la supervision de professionnels de la restauration soit prévue : les restaurateurs nouvellement formés devraient obtenir un permis pour restaurer (ICOMOS, 2000).

Encore une fois, on met ici en évidence l'importance de la formation et de l'expérience nécessaire pour intervenir sur le patrimoine. Cet aspect ressort dans la plupart des interviews. Néanmoins, la proposition de stage évoquée par la charte paraît difficile à mettre en application : ajouter un stage en plus des formations complémentaires déjà prévues (durant 2 ans pour la plupart des masters complémentaires organisés en Belgique) entraînerait des périodes de formation encore plus longues.

# CHAPITRE 2 : RENCONTRES AVEC DES PRATICIENS

## 1. MÉTHODOLOGIE SUIVIE POUR LA MISE EN PLACE DES INTERVIEWS

Pour rappel, la question posée dans le cadre de ce travail est de savoir comment un ingénieur doit procéder lorsqu'il intervient sur un bâtiment patrimonial afin de garder un équilibre entre le respect des normes actuelles et la conservation de la structure portante. Afin de répondre à la question posée, des interviews de plusieurs professionnels ont été organisées. Ceux-ci ont déjà fait face à la problématique qui nous intéresse ici.

Ces praticiens ont été proposés par Monsieur Pierre Paquet et ont des profils assez variés : Alain Dirix, Daniel Dethier, Philippe Samyn, Thibaut Brogneaux dirigent leur bureau d'architecture, Ghislain Clearbout est entrepreneur, David de Wolf travaille en tant qu'ingénieur stabilité dans un bureau spécialisé (Greisch),... Ce qui permet de mettre en évidence les différents aspects du métier.

Contrairement aux autres bureaux dont les projets recouvrent plusieurs domaines, Origin est spécialisé en restauration. Les bureaux sont de différentes envergures : Thibaut Brogneaux travaille essentiellement sur des projets de la taille d'habitations, Philippe Samyn dirige un bureau d'envergure internationale. Ils travaillent donc sur des projets différents et ils ont donc des expériences différentes.

Cette variété a été favorisée dans l'optique de créer une méthodologie générale, applicable à tout type de structure ou de bâtiment.

Les questions posées ont été élaborées avec l'aide de Julie Scandolo, ingénieur civil architecte travaillant chez Origin, et donc connaissant bien la problématique abordée dans ce travail. Elles sont reprises ci-dessous :

1. Quelle méthodologie suivez-vous dans le cas d'étude structurelle d'un édifice patrimonial? Comment procédez-vous ?
2. Quelle est votre philosophie de restauration ?
3. Citer les cas rencontrés et les décrire.
4. Quelles ont été les difficultés rencontrées ?
5. Quels sont les intervenants (à qui ont-ils fait appel ?) pour analyser, et éventuellement proposer des pistes de solutions ?
6. Quelles ont été les solutions proposées ? Comment choisir entre les diverses solutions?
7. Y-a-t-il des cas où la solution adoptée s'est faite au détriment de certains aspects ?
8. Est-ce que le respect des normes a eu pour effet, dans certains cas, de devoir démolir entièrement la structure ?

Sept interviews ont été organisées afin d'interroger les praticiens sur leur méthode pour intervenir sur une structure d'un bâtiment patrimonial. Des interviews supplémentaires ont également été prévues pour discuter des exemples analysés plus loin (notamment pour l'hippodrome de Boitsfort et la cathédrale de Tournai, Cf. Chapitre 5 : Analyse d'exemples).

Les interviews ont duré entre 45 min et 60 min suivant l'intervenant. La plupart des praticiens ont été interrogés dans leur bureau et non sur le terrain de leur projet. Il n'y avait donc, en général, pas d'illustration en direct de leur propos, d'où la nécessité d'analyser la mise en œuvre de leur méthodologie dans les exemples rassemblés dans ce travail (cf. Chapitre 5 : Analyse d'exemples).



Les questions étant fort ouvertes, les intervenants ont décidé eux-mêmes de ce qui leur paraissait intéressant pour répondre à la question posée. Des notes ont été prises en direct, synthétisant la discussion. Les retranscriptions sont données en annexe.

## 2. ANDRÉ LEJEUNE

### 2.1 MÉTHODE

Il suggère notamment 4 points à suivre lors d'une intervention sur un bâtiment patrimonial :

#### 1. Relevé détaillé

Il s'agit d'observer en détail le bâtiment et plus spécifiquement la structure : Y-a-t-il des parties dégradées ? La structure a-t-elle été renforcée ? Ces renforcements sont-ils réversibles ?

On peut ainsi évaluer la stabilité dimensionnelle de l'élément.

#### 2. Consulter des historiens de l'art et les archives

Cette consultation permet de déterminer la manière dont a évolué le bâtiment et dans quel contexte, ainsi que la manière dont il a été construit. Cette analyse peut également expliquer « des zones d'ombre » et expliquer la manière dont certains éléments ont été réalisés.

#### 3. Étudier le comportement du bâtiment

Pour ce faire, plusieurs études préalables (dendrochronologie, ...) sont réalisées.

#### 4. Stabilité

Finalement, les études de stabilité peuvent commencer. Toutefois, les normes ont évolué et aujourd'hui, beaucoup de nouveaux facteurs doivent être pris en compte (notamment les études sismiques et les normes incendie).

La question qui se pose est de savoir si on peut reprendre les efforts autrement (greffes, résines, ...).

Monsieur Lejeune s'est déterminé également quelques règles mineures à suivre lors d'une recherche de solutions pour intervenir sur une structure :

- Selon lui, il est primordial de ne jamais changer le chargement d'une structure, passer d'une compression à une traction par exemple peut provoquer l'effondrement de la structure.
- Les monuments classés font également l'objet d'un régime particulier d'un point de vue législatif, des dérogations peuvent être obtenues.
- Il est primordial d'éviter les points durs et le blocage des appuis car ils induisent de nouveaux efforts.
- Les études préalables varient suivant le matériau rencontré.

Il a également souligné l'importance de la réversibilité lorsqu'on intervient sur un bâtiment classé.

D'autre part, il souligne la nécessité de faire travailler des artisans (ou petites entreprises) indépendants de l'entreprise, autrement dit, il est important d'éviter la sous-traitance. En effet, l'entreprise leur impose des contraintes (financières principalement) qui les empêchent de travailler « correctement », les conditions de travail sont dénoncées par ceux-ci.

Malheureusement, toute intervention sur un bâtiment classé implique la loi sur les marchés publics et l'organisation de ceux-ci génère donc la disparition des artisans spécialisés (Lejeune, 2015).

## 2.2 PHILOSOPHIE

André Lejeune suit les principes de la Charte de Venise (Lejeune, 2015).

## 3. ALAIN DIRIX

Cette rencontre a permis d'ajouter un point à la méthodologie précédente et de créer une distinction entre la conservation et la réaffectation des monuments. En effet, il s'occupe essentiellement de réaffectation (ou réhabilitation) lorsqu'il travaille sur des monuments historiques et laisse donc une place très importante au nouveau programme qui doit être intégré. Il suit le principe qu'il ne faut pas rester prisonnier de la structure existante puisque dans le cas d'une réaffectation, le programme ne correspond pas au bâtiment existant. Dans certains cas, il privilégiera le fait d'apporter quelque chose de nouveau et d'intéressant ainsi que de mettre en valeur l'architecture plutôt que de conserver absolument tous les éléments patrimoniaux. Il s'agit donc plutôt de conserver les éléments significatifs.

Le bureau ne s'occupe pas de stabilité et travaille avec d'autres bureaux, principalement Greisch. Il a également mis en évidence le fait qu'il travaille avec des ingénieurs ayant l'habitude de faire face à la problématique de conserver un équilibre entre le respect des normes actuelles et le respect des valeurs patrimoniales des structures. Ils ont donc une certaine sensibilité pour le patrimoine (Dirix, 2015).

### 3.1 MÉTHODE

- Études préalables (étude historique, relevés, sondages, ...).
- Réflexion pour intégrer un nouveau programme en conservant les éléments significatifs.
- Collaboration avec les ingénieurs s'occupant de la stabilité (Dirix, 2015).

### 3.2 PHILOSOPHIE

Il suit les principes de la Charte de Venise (Dirix, 2015).

### 3.3 NOTES

Alain Dirix (2015) souligne qu'il rencontre plus souvent des problèmes dus aux techniques spéciales plutôt qu'à la structure.

## 4. THIBAUT BROGNEAUX

Thibaut Brogneaux travaille sur des projets de plus petite taille que les architectes et les bureaux cités précédemment et par la suite. Il s'occupe principalement de maisons unifamiliales (et donc essentiellement de projets dans le secteur privé). Ces différences dans le programme entraînent des préoccupations et des contraintes différentes.

Sa préoccupation principale est de créer un logement agréable à vivre (la qualité de l'espace est essentielle). Il réfléchit particulièrement aux matériaux utilisés et aux ambiances qu'il veut créer dans l'habitation. Il fonctionne « au visuel », conservant par exemple des textures de briques donnant un aspect brut, (Brogneaux, 2015) ... Comme A. Dirix, il met l'accent sur le programme et, en fonction de cela, conserve ou non certains éléments. C'est ainsi que, dans le cas de la réaffectation de la Grange de Chapon-Seraing, la maison nécessitant un nouvel escalier, il a été nécessaire de sectionner des poutrelles existantes et des voussettes en briques pour faire passer la trémie de l'escalier.

Le programme a une influence sur ce qui est conservé ou non : si les locaux deviennent des locaux techniques (et donc plus des lieux de vie), il ne sera pas nécessaire de conserver absolument des éléments de structure s'ils ne répondent plus aux besoins actuels.

D'un point de vue structurel, l'architecte réalise une première étude et cherche des solutions qu'il fait ensuite calculer et vérifier par un ingénieur stabilité afin qu'il les valide (Brogneaux, 2015).

#### 4.1 MÉTHODE

1. Études préalables
2. Réflexion pour intégrer un nouveau programme en conservant les éléments significatifs et réflexion par rapport aux ambiances intérieures.
3. Conversation, échanges avec l'ingénieur s'occupant de la stabilité.

L'architecte a également souligné le fait que les normes ont évolué et qu'elles font office de loi.

Il a également parlé de « limites » financières et de planning : c'est-à-dire qu'il est nécessaire de conserver une quantité d'études, de calculs, ... acceptable (Brogneaux, 2015).

#### 4.2 PHILOSOPHIE

La démarche suivie est de conserver et respecter les éléments racontant une histoire du passé (voussettes, brique apparente, clefs en façade, encadrement en pierre bleue,...), tout en intervenant de manière contemporaine.

Il applique la démarche de l'architecte comme dans toute autre rénovation et la dimension patrimoniale n'est peut-être pas clairement mise en avant comme on pourrait le voir dans des chantiers sur des bâtiments classés, avec tout ce que cela peut comporter comme démarches administratives, archéologiques, ...

Il suit les principes définis dans la Charte de Venise (Brogneaux, 2015).

### 5. PHILIPPE SAMYN

#### 5.1 MÉTHODE

Lorsqu'il aborde un bâtiment patrimonial, Philippe Samyn suit plusieurs principes :

1. Les normes ne sont pas des lois

En effet, appliquer les normes actuelles à un bâtiment patrimonial perd de son sens : s'il ne répond pas aux normes, il faudrait le détruire. De plus, il faut prendre en compte la notion de rétroactivité, on ne modifie pas les règles à posteriori.

Pour lui, les normes sont en quelque sorte des facilités, une assurance. Il a fait le parallèle avec les « recettes de cuisine ». Or il y a plusieurs façons de faire la cuisine.

Le principe est que les normes permettent d'assurer la sécurité. Pour les contourner, il faut trouver des alternatives permettant d'assurer le même niveau de sécurité.

Ainsi, des dérogations sont possibles dans la mesure où on met en place des principes de sécurité équivalents.

2. Il faut du bon sens et de la compétence
3. Il faut une moralité constructive

L'architecte entend par là qu'il privilégie une architecture pratique privilégiant le fond et non l'image, et qu'il faut construire « le mieux possible ».

Plus spécifiquement pour le patrimoine, il procède comme suit :

### 1. Étudier la géométrie du bâtiment et de sa structure

On commence par étudier la morphologie structurelle afin de comprendre la géométrie du bâtiment. En effet, lorsque celle-ci est maîtrisée, on construit « au mieux » et on peut réaliser des économies. Il parle « d'intelligence constructive ».

Avant, cela faisait office de règle, aujourd'hui, c'est plutôt une exception. Il est donc relativement « facile » d'intervenir sur du patrimoine.

### 2. Prendre le temps d'apprendre et de comprendre la structure

Il faut bien regarder quel est le tracé régulateur, la façon dont le bâtiment est construit afin de comprendre comment fonctionne la structure.

### 3. Connaître le vécu du bâtiment,

Il faut se renseigner sur son histoire, sur ce qui s'est passé tout au long de la durée de vie du bâtiment. Cela consiste, entre autres, à faire des relevés afin de savoir de quoi on parle avant d'entamer les calculs.

### 4. Aller sur place, « gratter », « être voyeur »

Philippe Samyn donne l'exemple d'un plancher ne répondant plus aux normes. En se rendant sur place, il se rend compte qu'il est recouvert d'une chape de sable de 10 cm d'épaisseur (on considère que le sable correspond à une charge de 250 kg/m<sup>2</sup>). Enlever cette chape lui permet d'alléger le plancher qui peut alors reprendre une charge d'utilisation plus importante et donc respecter les normes.

Finalement, il souligne l'importance de rester humble lors de l'intervention sur une structure patrimoniale (Samyn, 2015).

## 5.2 PHILOSOPHIE

Comme dit précédemment, Philippe Samyn s'est défini différentes règles qu'il suit.

## 6. DAVID DE WOLF (GREISCH)

Pour ce bureau, le responsable des rénovations, David de Wolf a été interviewé.

Mettre en évidence une méthodologie d'approche est un peu plus compliqué ici dans la mesure où c'est l'architecte qui supervise les différents intervenants et que l'ingénieur stabilité est un de ceux-ci, fort important toutefois. La méthodologie qui en est ressortie est donc partielle puisque le bureau ne s'occupe en général pas des études propres à la restauration, à la partie architecturale et qu'il intervient directement sur la partie stabilité. Toutefois, il réalise dans certains cas à l'étude sanitaire.

### 6.1 MÉTHODE

Les ingénieurs reçoivent les informations des relevés, ... même si David de Wolf souligne la pertinence de participer à ces étapes de relevés afin de bien cerner le bâtiment sur lequel il doit travailler.

Le travail de l'ingénieur commence ensuite.

Avant toute intervention, il est primordial de comprendre la structure existante. L'ingénieur crée un modèle et vérifie qu'il correspond bien à la situation existante. Si ce n'est pas le cas, il recommence en affinant, en tenant compte de nouveaux paramètres, ... Soulignons toutefois que ce travail est limité par le temps et financièrement. Néanmoins, l'ingénieur souligne que l'expérience lui permet de

réaliser des modèles pertinents plus rapidement qu'à ses débuts. Il est important de souligner que le modèle obtenu n'est pas forcément « correct », ce qui compte c'est qu'il corresponde à la réalité et vérifie les observations réalisées. Il précise également qu'il arrive toujours à créer un modèle satisfaisant, ne serait-ce que par orgueil. Cette tâche nécessite de l'expérience et dans certains cas de la créativité.

L'ingénieur souligne qu'il faut prêter attention à la sensibilité des modèles : plus ils sont complexes, plus ils risquent d'être faux : c'est-à-dire que de très petites variations des paramètres d'entrée peuvent mener à des résultats très différents.

Selon lui, les normes sont un code de bonne pratique. Elles sont conseillées mais pas imposées car, en plus d'apporter la sécurité nécessaire, elles apportent également du confort (faibles déformations, peu de vibrations, ...) qui n'est pas forcément recherché dans le cadre d'une intervention sur une structure patrimoniale : ce qu'on cherche réellement dans le patrimoine c'est une résistance suffisante afin d'assurer la sécurité.

Il estime qu'il est impossible de jouer sur les matériaux (dans la mesure où leurs caractéristiques ne changent pas, elles sont ce qu'elles sont) et que c'est sur les charges qu'il faut intervenir, en réfléchissant au programme à mettre en place dans le bâtiment par exemple. Il a cité comme exemple le musée Horta, ancienne habitation reconvertie en musée. L'escalier ne correspond pas aux normes actuelles (notamment en terme de charges d'exploitation et d'échappée pour les normes incendies) pour les musées mais étant donné la configuration des lieux (il s'agit d'une ancienne habitation) le nombre de personnes sera limité et on a considéré qu'on pouvait y déroger.

Il faut toutefois faire attention à la norme incendie qui est régie par un arrêté royal (4-4-2003) et auquel il est donc difficile de déroger.

Il faut également tenir compte du fait que les normes de l'époque ne correspondent plus aux normes actuelles.

L'ingénieur indique également que sa démarche diffère suivant le matériau rencontré, tant au niveau des études préalables que des études de stabilité.

Il considère que l'acier est un matériau sur lequel il est facile d'intervenir :

- L'état de la structure est facilement déterminable, les assemblages et leur état sont également faciles à identifier.
- Les essais sont courants et faciles à réaliser.
- Les modèles réalisés sont précis car on connaît bien le comportement du matériau.

Le bois est plus compliqué :

- Les assemblages sont en général moins maîtrisés.
- Le matériau n'est pas homogène, ce qui rend les essais et les modèles difficiles à réaliser.
- Le matériau est sensible à des pathologies variées et aux insectes qu'il faut pouvoir identifier.

La maçonnerie est un matériau relativement difficile à appréhender :

- Les codes actuels ne traitent pas des anciens matériaux (ciment à la chaux, ...).
- Les caractéristiques du matériau sont très variables.

Le béton armé est très difficile à appréhender :

- La qualité du béton dépendra des matériaux utilisés pour les armatures et pour la pâte.

- Il est difficile d'identifier la position des armatures, d'autant plus qu'elles ne sont pas placées de la même façon suivant les époques de construction. De plus, on ne peut pas toujours accéder à toutes les parties de la structure pour effectuer les analyses nécessaires (De Wolf, 2015).

## 6.2 PHILOSOPHIE

Il se base sur la Charte de Venise et « d'autres » dont il n'a pas su donner les noms (Charte de Victoria Falls) mais précise que ces « règles » changent régulièrement.

Son approche est de mettre un minimum là où c'est nécessaire et d'éviter les structures massives comme les ingénieurs du bureau ont pu mettre en place lors de l'intervention qu'ils ont menée sur le Beffroi de Mons. Il privilégie donc l'usage de l'acier (parfois haute performance) qui permet de garder des structures fines. L'acier permet également d'assurer la réversibilité des interventions (De Wolf, 2015).

## 7. DANIEL DETHIER

### 7.1 MÉTHODE

Selon Daniel Dethier, l'architecte doit avoir une vision globale, par opposition à l'ingénieur, par exemple, qui a une vision beaucoup plus ciblée. C'est lui qui coordonne les différents acteurs, rassemble toutes les informations relatives au projet et oriente les différentes décisions qui seront prises tout au long de l'état d'avancement. Naturellement, l'architecte n'est pas omniscient et doit demander conseil et se baser sur l'avis de nombreux spécialistes mais c'est lui qui pose le cadre et impose les contraintes.

Il faut qu'il ait une idée de ce qu'il veut réaliser afin de convaincre les autres intervenants. Il y a toujours une solution quel que soit le problème.

1. Études préalables (analyse historique et descente de charge)
2. Réflexion sur le programme : limiter les charges par l'agencement du programme

Il propose plusieurs solutions. Dans le cas d'une surcharge sur un plancher, il réfléchit à l'agencement des différentes fonctions, en évitant par exemple de placer une salle d'archives sur un ancien plancher étant donné que la charge d'utilisation associée à ce genre de fonction est importante, environ 6 kN/m<sup>2</sup>, une autre solution est de mettre en place des éléments pour limiter l'accès.

3. Normes incendies

Dans le cas d'une structure ne respectant pas les normes incendies, il distingue également plusieurs choses : utiliser une peinture RF ou un traitement pour le bois, un système de détection, un réseau de sprinklers, ou même une nouvelle structure permettant la protection des utilisateurs si l'ancienne structure venait à s'effondrer.

Il faut donc d'abord déterminer les risques incendie et ensuite protéger.

4. Fonctionner au cas par cas

La pratique et l'imagination sont importantes ! Il est primordial de trouver une solution. Il faut souvent sortir du problème, l'aborder autrement (utiliser des moyens détournés). Il a illustré cette problématique par un exemple, l'ancienne porte de sa salle de réunion.

Il y a placé un tirant afin de soulager la porte qui s'affaisse. S'il avait fait appel à un menuisier, il lui aurait sûrement conseillé de remplacer la porte ou serait intervenu en détruisant les moulures. Le

tirant est une intervention réversible, il est facilement démontable. L'intervention moderne est clairement marquée. De plus, l'intervention est facile à mettre en œuvre et peu onéreuse.

Cela souligne également le fait qu'il vaut mieux que les éléments de renforts travaillent en traction plutôt qu'en compression, ils sont plus fins (Dethier, 2015).

## 7.2 PHILOSOPHIE

Il se base sur la Charte de Venise :

- Il faut que l'intervention contemporaine soit clairement identifiable.
- L'intervention doit être réversible ou même laisser en l'état car de nouvelles techniques pourraient amener une solution dans les années à venir.
- Il faut rester humble et discret.

Il se pose la question de savoir ce qui est important et donc ce qu'il faut sauvegarder (Dethier, 2015).

## 8. GHISLAIN CLEARBOUT

### 8.1 MÉTHODE

Il faut prendre en compte que les normes actuelles sont plus exigeantes que les normes anciennes. Il souligne également l'importance de la collaboration entre les différents acteurs (ingénieur stabilité– maître d'ouvrage – architecte).

Il met en évidence plusieurs étapes pour toute intervention sur une structure patrimoniale :

1. Comprendre la structure avant toute intervention.

Cette étape englobe les études préliminaires (étude historique, étude sanitaire, ...). Il faut étudier le bâtiment, effectuer des relevés précis, ... afin de comprendre comment la structure fonctionne.

On peut ainsi évaluer la résistance résiduelle, c'est-à-dire le chargement que peut reprendre l'élément tel qu'il est là.

2. Déterminer où intervenir et s'il faut renforcer.

On évalue alors la résistance de l'élément une fois renforcé.

3. Rester humble lors de l'intervention
4. Réversibilité des interventions

Par exemple, il vaut mieux renforcer les maçonneries avec du coulis de chaux et pas de la résine epoxy.

5. Création d'une seconde structure si les problèmes sont trop importants

On crée ainsi une structure indépendante et une intervention réversible.

6. Penser à l'exécution

Il faut concevoir quelque chose de faisable et éviter une intervention nécessitant de trop hautes qualifications pour être réalisée. L'expérience des chantiers lui a permis d'acquérir cette connaissance.

7. Il faut être, dans certains cas, « ingénieur bricoleur » (Clearbout, 2015), et donc être créatif.

Il estime également qu'il faut savoir prendre des risques (Clearbout, 2015).

## 8.2 PHILOSOPHIE

Il se base, lui aussi, sur la Charte de Venise (Clearbout, 2015).

## 9. ORIGIN

### 9.1 MICHEL PROVOST

Il faut se laisser le temps de faire le bon choix et procéder par approche progressive. Intervenir sur des structures du patrimoine culturel immobilier n'est pas fondamentalement différent du travail traditionnel de l'architecte. Il faut travailler soigneusement et avec précision, multiplier les études préalables et réaliser une analyse précise de la structure et de son fonctionnement. Dans l'idéal, il faudrait se détacher des contraintes budgétaires et de délais. Finalement, il faut être respectueux et modeste lors de ce type d'intervention et privilégier un travail progressif qui permettra de prendre les bonnes décisions pour la restauration (Provost, 2014).

### 9.2 LE BUREAU

Pour Origin, le fait d'intervenir sur un bâtiment existant nécessite de mener des études historiques, architecturales et techniques afin de connaître et respecter toutes ses particularités, c'est pourquoi la plupart des associés, chefs de projet et collaborateurs d'Origin sont détenteurs d'un Master complémentaire en Restauration du Patrimoine (Origin, 2014).

Le bureau a mis en place une méthodologie de restauration qui est suivie pour chaque projet. Elle comprend 5 étapes :

### 9.3 MÉTHODE

#### 1. Études préliminaires

Ces études permettent de prendre connaissance de l'ouvrage abordé et donc, par la suite, de mettre en valeur ses qualités.

Les termes « préalables » et « préliminaires » sont utilisés par les différents intervenants. Dans la retranscription des interviews, le terme utilisé par l'intervenant a été conservé. On privilégiera toutefois, dans le cadre de cette étude, l'utilisation du mot « préalable ».

#### 5.1 Élaboration de l'étude historique

Cette étude (intégrant l'histoire des bâtiments sous les aspects historiques, urbanistiques, architecturaux, structuraux et fonctionnels) permet de situer le contexte historique dans lequel le bâtiment et ses abords ont été réalisés.

L'étude permet également de mieux comprendre les principes constructifs de l'ouvrage et d'en identifier les éléments remarquables.

Une historienne de l'art intervient au cours de cette phase.

#### 5.2 Établissement d'une analyse de la situation existante

Il s'agit d'une analyse sanitaire comprenant des inspections visuelles, un reportage photographique et des relevés graphiques. Ces observations sont comparées à des documents d'archives afin de mieux comprendre le bâtiment (et parfois lever certaines « zones d'ombre » dans l'évolution du bâtiment).

Un audit technique est réalisé, dans lequel on retrouve l'analyse de la structure (état sanitaire des différents éléments, identification des éléments porteurs, de la capacité portante des planchers, de la



flexibilité du bâtiment au vu de la structure portante,...) et l'analyse de la stabilité générale de l'édifice (réalisée en interne).

### 5.3 Définition et suivi des sondages et essais préalables

Ceux-ci sont réalisés pour confirmer ou adapter l'analyse de la situation existante du bâtiment. Il s'agit d'analyser des matériaux, d'analyser la verticalité des murs, d'analyser le comportement des fissures au moyen de fissuromètres,...

Ces essais sont essentiels afin de préserver au maximum l'existant et d'éviter toute découverte imprévue lors du chantier. Ils permettent d'affiner les options d'intervention avec les techniques les plus réalistes.

#### 2. Détermination de la valorisation : conclusion de l'étude patrimoniale

L'étude patrimoniale se base sur les conclusions résultant des études préliminaires. Une fois la situation existante décrite, on peut déterminer les qualités spécifiques de l'ouvrage à mettre en valeur.

#### 3. Définition de la philosophie d'intervention

Le bureau définit une marche à suivre, une orientation des options de restauration qui seront spécifiques à la mission. Cette étape est primordiale et oriente les choix liés à la programmation. Ils feront en sorte que l'affectation du bâtiment ne nuise pas à ses qualités patrimoniales.

La philosophie de restauration et de rénovation est construite sur base de l'interprétation de l'étude historique, de l'évolution historique, des valeurs patrimoniales, de l'état des lieux propres au bâtiment et en tenant compte de la programmation du bâtiment.

Pour chaque nouvelle option de restauration à prendre pendant l'étude ou pendant le suivi des travaux, il est vérifié qu'elle se situe dans la continuité de cette philosophie.

#### 4. Élaboration du dossier d'exécution

Cette étape ainsi que la suivante sont similaires à un projet d'architecture traditionnel.

Les bâtiments classés étant principalement publics, le bureau travaille essentiellement en marchés publics et accorde une attention particulière aux procédures d'attribution du marché.

#### 5. Suivi de chantier

Le chef de projet se rend régulièrement (une fois par semaine) sur chantier (Origin, s.d.).

## 9.4 PHILOSOPHIE

Comme dit précédemment, le bureau établit une philosophie d'intervention spécifique à chaque projet. Il tient compte des principes établis par la Charte de Venise et la Charte de Victoria Falls.

# 10. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES INTERVIEWS

	André Lejeune	Alain Dirix	Thibaut Brogneaux	Philippe Samyn	Greisch (David de Wolf)	Daniel Dethier	Ghislain Clearbout	Origin
Méthode et principes	<b>Méthodologie :</b> 1. Relevé détaillé 2. Consulter des historiens de l'art et les archives 3. Étudier le comportement du bâtiment (études préalables) 4. Stabilité	<b>Méthodologie :</b> 1. Études préalables, historiques, sondages, ... 2. Réflexion pour l'insertion d'un nouveau programme en conservant les éléments significatifs (Distinction entre conservation et réhabilitation) 3. Conversation, échanges avec les ingénieurs s'occupant de la stabilité  L'architecte met l'accent sur le programme	<b>Méthodologie :</b> 1. Études préalables 2. Réflexion pour intégrer un nouveau programme en conservant les éléments significatifs et réflexion par rapport aux ambiances intérieures. 3. Conversation, échanges avec l'ingénieur s'occupant de la stabilité.	<b>Principes :</b> A. Les normes ne sont pas des lois B. Bon sens et compétence C. Moralité constructive  <b>Méthodologie pour intervenir sur le patrimoine :</b> 1. Étudier la géométrie 2. Comprendre la structure 3. Connaître le vécu du bâtiment 4. Aller sur place	<b>Principes :</b> A. L'architecte s'occupe des études préalables. L'ingénieur intervient plus tard. Néanmoins, il participe souvent au relevé. B. Les normes ne sont pas des lois. C. Jouer sur les charges mais pas les matériaux D. Stabilité : création de modèles	<b>Principes :</b> A. Fonctionner au cas par cas B. Trouver des solutions alternatives, faire preuve d'ingéniosité et d'imagination  <b>Méthodologie :</b> 1. Études préalables, historiques, sondages, ... 2. Descente de charges 3. Limiter les charges par l'agencement du programme	<b>Principes :</b> A. Comprendre la structure et évaluer la résistance résiduelle B. Déterminer ce qu'il faut renforcer C. Rester humble lors de l'intervention D. Réversibilité des interventions E. Création d'une seconde structure si les problèmes sont trop importants (indépendante et réversible) F. Penser à l'exécution G. Être dans certains cas « ingénieur bricoleur »	<b>Méthodologie :</b> 1. Études préliminaires (Étude historique, analyse de la situation existante, sondages et essais, étude patrimoniale) 2. Valorisation 3. Définition de la philosophie d'intervention 4. Dossier d'exécution 5. Suivi de chantier
Philosophie d'intervention suivie	Charte de Venise	Charte de Venise	- Charte de Venise - Conserver et respecter les éléments racontant une histoire du passé	- Charte de Venise - Suit les principes fixés	- Charte de Venise - Mettre le minimum là où c'est nécessaire, interventions minimalistes	- Charte de Venise - Intervenir de façon claire - Marquer l'intervention  - Se concentrer sur ce qui est important - Réversibilité ou permettre une intervention ultérieure (nouvelles techniques) - Rester humble, discret	- Charte de Venise - Souligne l'importance de la collaboration Ingénieur-maitre d'ouvrage-archi	- Charte de Venise - Charte de Victoria Falls (Michel Provost) - Déterminée sur bases des études préliminaires : philosophie respectant les aspects patrimoniaux et les aspects relatifs au programme
Projets	- Salle académique de l'université de Liège	- Abbatale de la Paix Dieu (1718-1720) - Val Benoit (bâtiment de génie civil) - Maisons en Hors-Château (Liège) - Hôpital du Val d'or (1889)	- Maison rue du pont 19 - Réhabilitation d'une grange en maison d'habitation (18 <sup>e</sup> )	- Ferme Stassart (1830) - Maison de la radio Flagey - Foyer Bruxellois - École supérieure Erasmus - Brasserie Lamot - Ferme à Gembloux	- Abbatale de la Paix-Dieux - Cuve de la piscine d'Ixelles - Théâtre royal de Liège	- Bruxelles : Tour Brunfaut - Manège de la caserne Fonck - Centre culturel à Eupen	- Charpentes de la cathédrale de Tournai : - Mauvais exemple : Prieuré de Godinne	- Hippodrome de Boitsfort - Théâtre royal de Liège

## 11. QUESTION DE RECHERCHE

Pour rappel, la question de recherche étudiée dans ce travail est :

Comment un ingénieur doit-il procéder lorsqu'il intervient sur un bâtiment patrimonial afin de garder un équilibre entre le respect des normes actuelles et la conservation de la structure portante ?

Suite aux interviews effectuées, plusieurs interrogations sont ressorties, elles forment un ensemble de sous-questions de recherche :

1. Qu'est-ce que la sensibilité dont parlent par les acteurs ? Quelle est son influence sur les solutions apportées lors d'une intervention sur un bâtiment patrimonial ?
2. La prise de risque est-elle permise lors d'un projet de patrimoine ?
3. Comment acquiert-on l'expérience dont parlent les intervenants ?
4. Pourquoi les acteurs ont-ils éprouvé des difficultés à décrire la méthode qu'ils emploient ?
5. La documentation prônée par les chartes est-elle réalisée et si oui, est-elle accessible ?
6. Comment assurer les échanges entre les intervenants puisque la restauration nécessite des équipes pluridisciplinaires ?
7. Les praticiens suivent-ils les principes qu'ils se définissent pour intervenir sur une structure du patrimoine ?

Ces questions sont abordées dans le chapitre suivant (Cf. Chapitre 3 : Analyse des rencontres). La question 7 est abordée dans le dernier chapitre (Cf. Chapitre 5 : Analyse d'exemples).

Plus spécifiquement, pour la méthodologie à mettre en place, les sous-questions suivantes se posent :

1. Comment mettre en place une méthodologie pour la conservation des structures patrimoniales ?
1. Quels sont les facteurs influençant cette méthodologie et ses différentes étapes ?
2. Que peut amener l'ingénieur stabilité pour trouver des solutions innovantes ?

Ces points seront abordés dans le chapitre 4 : Proposition de méthodologie.

# CHAPITRE 3 : ANALYSE DES RENCONTRES

Suite aux interviews effectuées, plusieurs interrogations et observations sont ressorties. Ce chapitre reprend et développe ces points particuliers. Les questions n'ont pas été posées directement aux intervenants mais ces réponses ont été obtenues de façon détournée.

## 1. SENSIBILITÉ

Qu'est-ce que la sensibilité dont parlent par les acteurs ? Quelle est son influence sur les solutions apportées lors d'une intervention sur un bâtiment patrimonial ?

La première question qui se pose est de pouvoir définir la « sensibilité » au patrimoine dont les interviewés parle régulièrement et que devrait avoir tout architecte/ingénieur travaillant sur le patrimoine.

La plupart des acteurs rencontrés dans le cadre de cette étude sont passionnés par leur métier. Ils prennent le temps d'observer la structure sur laquelle ils auront à travailler afin de comprendre son fonctionnement. Ils prennent ensuite le temps de réaliser des modèles mathématiques correspondant à la réalité en effectuant plusieurs essais et surtout, ils ne recherchent pas la solution la plus simple mais celle qui sera la plus respectueuse de la structure en place.

Cet intérêt, « cet amour » pour le patrimoine n'est pas une règle en soi et définir ce qu'est la « sensibilité » au patrimoine reste compliqué. Mais il est important de le mettre en évidence dans la méthodologie.

Il pourrait simplement s'agir d'un certain respect pour l'existant, une certaine humilité par rapport à l'objet parvenu jusqu'à nous.

## 2. PRISE DE RISQUE

La prise de risque est-elle permise lors d'un projet de patrimoine ?

Beaucoup d'intervenants considèrent les normes comme un code de bonne pratique plutôt que comme de véritables règles. Ils mettent également en avant la possibilité d'utiliser des dérogations à condition de garder un niveau de sécurité équivalent.

Ils soulignent également le fait que les bâtiments ont été dimensionnés en se basant sur des normes qui ne sont plus à jour, et que de nouvelles actions doivent être prises en compte (dimensionnement au feu et sismique).

Ce point n'est pas ressorti de toutes les interviews mais principalement lors de la rencontre avec Ghislain Claerbout. Il est à noter que l'ingénieur de Greisch a tenu le discours inverse. Ghislain Claerbout estime qu'il faut savoir prendre des risques lorsqu'on intervient sur du patrimoine. Son intervention sur les charpentes de la cathédrale de Tournai en est un bon exemple : les normes actuelles ne traitent pas des renforts qui sont mis en place pour sauvegarder la charpente existante.

Il reste à se demander comment gérer le problème de la responsabilité décennale dans ce cas. Pour des personnes telles que Ghislain Claerbout, leur expérience leur permet de réaliser des interventions plus osées sans les garantir.

Se pose alors la question de savoir comment acquérir cette expérience et jusqu'où on peut se permettre de prendre des risques.

### 3. EXPÉRIENCE

Comment acquiert-on l'expérience dont parlent les intervenants ?

La plupart des acteurs interrogés soulignent l'importance de l'expérience lorsqu'on aborde un édifice patrimonial, mais le problème reste de savoir comment acquérir cette expérience.

La réponse diffère suivant les acteurs :

- Yves Jacques : il a acquis sa formation en travaillant avec André Lejeune (Jacques, 2016).
- Thibaut Brogneaux :

Il a acquis son expérience en réalisant son stage dans un petit bureau d'architecture où il été plongé dans le domaine dès le début, il a eu beaucoup de rénovations à gérer entièrement et a suivi beaucoup de chantiers (Brogneaux, 2015).

- Les membres du bureau Origin :

La plupart des collaborateurs ont une formation complémentaire en conservation et restauration du patrimoine.

Les stagiaires sont formés par les chefs de projets.

L'ingénieur stabilité du bureau travaille avec des ingénieurs ayant de l'expérience (consultants et associés).

Ainsi, le master complémentaire en conservation et restauration de patrimoine organisé par La Paix-Dieu semble être une première étape de réponse pour l'acquisition de connaissances suffisantes pour intervenir sur le patrimoine mais n'est que le premier pas.

Il est donc nécessaire de distinguer la formation et l'expérience acquise sur le terrain. Les deux aspects sont différents et sont tous deux indispensables et complémentaires. En effet, l'expérience ne comble pas les lacunes entraînées par un manque de formation et inversement.

Mais le cas d'André Lejeune ne répond pas à cette hypothèse. Selon Françoise Dupperoy (2016) (directrice de la protection au département du patrimoine de la DG04), André Lejeune aurait une certaine « sensibilité » pour la conservation du patrimoine car il s'occupait de barrages : chaque barrage est différent car il doit tenir compte du lieu et des éléments existants. Cette démarche est similaire lorsqu'il s'agit d'aborder le patrimoine. Ce type de démarche ne serait donc pas uniquement propre au patrimoine.

### 4. DIFFICULTÉ POUR LES INTERVENANTS D'EXPLIQUER LEUR MÉTHODOLOGIE

Lorsque que la question de savoir comment ils en arrivaient à leur solution était posée, beaucoup d'acteurs avaient du mal à répondre. Voici quelques hypothèses de réponse à la question « pourquoi les acteurs ont éprouvé des difficultés à décrire la méthode employée ? »

1. La question était-elle mal posée ?
2. Cette méthodologie est « inconsciente », on ne peut pas travailler sur le patrimoine comme sur les autres projets. Mais pour des bureaux tels que Origin, elle est toutefois préétablie. De la même manière, Philippe Samyn n'a eu aucune difficulté à expliquer sa façon de faire : il a une perception plus globale de ce qu'est la restauration.
3. Il est difficile de décrire une démarche car en fait c'est de la conception. Il est donc rare qu'on se pose des questions sur la façon dont on travaille.

4. Les acteurs soulignent également qu'ils fonctionnent au cas par cas et qu'il est donc difficile d'établir une méthodologie unique.
5. D'autre part, des architectes et des ingénieurs ont été rencontrés séparément, or ces deux acteurs travaillent en fait ensemble.

## 5. DOCUMENTATION

La documentation prônée par les chartes est-elle réalisée et si oui, est-elle accessible ?

Documenter toute intervention est censé faire partie de la démarche. Selon les articles 2.9 et 3.22 de la Charte de Victoria Falls et l'article 16 de la Charte de Venise, les acteurs doivent revenir sur ce qu'ils ont réalisé afin qu'on puisse retrouver tous les éléments d'information nécessaires dans le futur. Les intervenants n'abordant jamais cette étape dans leur méthodologie, il est difficile de savoir si cette documentation est réalisée et si oui, ce qu'elle contient.

Dans le cas des exemples analysés en cours de chantier, j'ai pu observer que les bureaux réalisent bien des dossiers d'exécution décrivant les interventions qui évoluent au cours du chantier. Pour l'analyse d'exemples réalisée dans le chapitre 5 (Cf. Chapitre 5 : Analyse d'exemples), des demandes ont été effectuées auprès des bureaux afin de recevoir cette documentation. La quantité d'informations reçues était variable suivant les bureaux.

Enfin, il pourrait être intéressant d'inclure cette démarche (réalisation de documentation) au cours des formations liées à la restauration.

## 6. NÉCESSITÉ D'ÉQUIPES PLURIDISCIPLINAIRES

Comment assurer les échanges entre les intervenants puisque la restauration nécessite des équipes pluridisciplinaires ?

Deux acteurs principaux interviennent dans cette problématique : l'architecte et l'ingénieur stabilité. Les deux acteurs ont des rôles bien différents. L'architecte réalise en général les études préliminaires et définit ensuite le cadre dans lequel se déroulera le projet. Il a une vision globale sur l'ensemble. L'ingénieur a une vision plus ciblée centrée sur l'étude de la structure.

Cet état de fait a pu être relevé lors des interviews, les architectes présentaient une méthodologie englobant tout le projet (depuis les études préliminaires jusqu'au suivi de chantier) tandis que les ingénieurs se concentraient sur la « partie stabilité ».

Les échanges entre les différents acteurs sont très importants. Beaucoup d'intervenants soulignent l'importance des échanges, de la communication entre l'architecte/ingénieur architecte et le bureau d'étude lors des interviews.

C'est l'architecte le chef de projet, c'est lui qui coordonne les différents acteurs, dont l'ingénieur stabilité (même s'il est un acteur important et prépondérant).

Un bureau tel que Origin ou Architectes associés alliant architecture et ingénierie permet de faciliter la communication (primordiale pour cette problématique) entre les acteurs et évite une forme de surenchère ou d'incompréhension.

La question est de savoir s'il est réellement possible de discuter avec certains auteurs de projets reconnus et imposant leurs ligne de conduite. L'architecte/ingénieur architecte ayant un rôle prépondérant par rapport à l'ingénieur stabilité faisant plutôt office d'expert, celui-ci devrait alors s'adapter au chef de projet et le travail de concert, pourtant préconisé, est impossible.

## 7. CONCLUSION

La nature des témoignages nécessite une approche critique, tout ce qui est dit lors des interviews doit être pris avec du recul. Il peut y avoir une distinction entre ce qui est dit et ce qui est fait et certaines informations données peuvent être erronées ou partielles.

Les entrevues mettent l'accent sur plusieurs points. Il est nécessaire d'avoir de l'expérience et une bonne formation pour intervenir sur le patrimoine.

La restauration faisant intervenir de nombreux experts dans divers domaines scientifiques, la formation d'équipe pluridisciplinaire est nécessaire et la communication entre les intervenants doit être assurée. Dans le cas d'une intervention sur une structure, le chef de projet doit travailler avec l'ingénieur stabilité.

Il n'y a pas de solution générale et parfaite, il s'agit plutôt d'un compromis entre la stabilité (le respect des normes actuelles) et la conservation du patrimoine. Les intervenants choisissent où ils se positionnent entre la conservation de la structure et le respect des normes. Ce choix est fait au cas par cas et de nombreux critères influencent cette décision. Certains, se basant sur leur expérience, seront plus enclins à prendre des risques et à s'éloigner des normes (qui, pour rappel, sont des codes de bonne pratique) et d'autres les respecteront à la lettre. Ce choix dépendra également du degré d'incertitude : en cas d'incertitudes quant à la fiabilité d'une structure (qui ne peuvent être supprimé que difficilement, par un grand nombre de calculs ou d'études), plus on sera enclin à renforcer davantage.

# CHAPITRE 4 : PROPOSITION DE MÉTHODOLOGIE

À partir de l'analyse des différents documents évoqués plus haut, il est possible de faire ressortir des principes à suivre en cas d'intervention sur une structure d'un bâtiment patrimonial et donc d'établir une première ébauche, une base de méthodologie centrée sur l'intervention structurelle. Celle-ci est complétée par les apports relevés lors des interviews et non présents dans les bases théoriques.

Même si, lorsqu'on intervient sur le patrimoine, on fonctionne au cas par cas, cette méthodologie se veut générale et applicable pour tout type de structure (tout type de bâtiment, de matériau, ...).

La méthodologie proposée s'inspire des méthodes employées par les différents intervenants et des principes donnés dans les textes de références. Elle constitue une marche à suivre synthétique des approches employées et des textes de références.

Pour que les interventions structurelles respectent les valeurs patrimoniales, cette méthodologie commence dès les premières phases de projets, et pas directement à l'étape stabilité : en effet, beaucoup d'étapes d'analyses sont à prendre en compte afin de comprendre l'édifice, avant de commencer les calculs proprement dits.

La démarche doit être itérative. Les étapes sont données les unes à la suite des autres, néanmoins, elles ne se suivent pas toujours simplement. Suivant les besoins, certaines doivent être répétées plusieurs fois afin d'obtenir des solutions pertinentes et réfléchies, adaptée au bâtiment. Néanmoins, le planning et le budget doivent rester maîtrisés.

## 1. MÉTHODOLOGIE

### GÉNÉRALITÉS

1. Adopter une approche itérative et progressive et prendre le temps pour trouver les bonnes solutions.

Une approche progressive peut s'avérer indispensable pour appréhender des structures qui peuvent s'avérer complexes. Une telle démarche permet d'aider à la prise de décision pour faire des choix pertinents et réfléchis lors de la restauration.

De plus, on peut d'abord adopter une approche approximative suivie d'une approche plus détaillée.

2. Respect de la législation et des textes de référence

Plusieurs documents guident et doivent être pris en compte lors d'une intervention sur un bâtiment patrimonial :

- Les références internationales (charte de Venise, Conseil de l'Europe,...) donnant des principes à suivre pour la conservation et la restauration.
- Le CWATUP (Code wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et du patrimoine) à suivre pour toute intervention sur un bâtiment classé.
- La loi sur les marchés publics, à suivre pour toute intervention sur un bâtiment classé.

Pour intervenir sur une structure, il est également nécessaire de tenir compte de normes complémentaires :



- Les Eurocodes, qui sont des normes européennes de conception et de dimensionnement des structures.
- Les normes incendies
- 3. Le temps passé pour les analyses et les calculs doit rester raisonnable tant d'un point de vue économique que de planning.

Il faudrait se détacher autant que possible des contraintes budgétaires et des délais, la conservation devrait supplanter ces facteurs. Il est toutefois important de garder un certain nombre d'investigations, de calcul, ... raisonnable d'un point de vue économique et de planning.

#### 4. Assurer les échanges entre les intervenants

La méthodologie fait le lien entre deux disciplines de nature différente : les sciences de l'ingénieur et la conservation du patrimoine.

Beaucoup d'intervenants soulignent l'importance des échanges, de la communication entre l'architecte/ingénieur architecte et le bureau d'étude. En effet, c'est en travaillant ensemble que des solutions pertinentes et les plus adaptées à l'édifice pourront être apportées.

La méthodologie peut être divisée en quatre étapes :

1. Analyse et compréhension de l'existant : il s'agit, au travers de plusieurs études et observations, de prendre connaissance du bâtiment existant pour, au final, le comprendre ainsi que le fonctionnement de sa structure.
2. Fixation des objectifs et détermination des interventions : sur base des résultats des études réalisées, on fixe des objectifs à suivre pour la restauration et on détermine les interventions qui seront nécessaires.
3. Dossier d'exécution et interventions
4. Documentation des interventions menées

## ANALYSE ET COMPRÉHENSION DE L'EXISTANT

### 1. Observation de l'existant : Découverte des lieux et première inspection visuelle

Cette première étape consiste à observer l'édifice existant et sa structure. On prendra ainsi connaissance du bâtiment et on amorcera la compréhension du fonctionnement de la structure. Cette première phase d'observation doit donc être attentive et critique pour permettre la compréhension de l'existant. Une inspection visuelle permettra également de déterminer quelles sont les études préalables qui seront nécessaires, les essais et les mesures à réaliser ultérieurement.

En pratique, il s'agit d'effectuer une première visite de l'ouvrage afin d'examiner la situation dans laquelle les travaux d'inspection pourront se dérouler, d'effectuer de premières constatations et d'amorcer la compréhension du fonctionnement structural.

Notons que certaines parties de l'édifice peuvent être soustraites à la vue (végétations, ...). Il faudra alors déterminer ce qu'il faudra enlever pour des inspections plus approfondies et ainsi éviter des découvertes inattendues en cours de chantier.

2. Composition d'une équipe pluridisciplinaire dès les premières phases d'étude, en fonction du type et de l'échelle du projet, sous la direction d'un coordinateur qualifié et bien formé

Le travail sur le patrimoine nécessite une approche pluridisciplinaire et implique de nombreuses disciplines scientifiques qui dépassent les compétences d'un architecte ou d'un ingénieur architecte. Celui-ci doit piloter le projet, en tenant compte des avis des experts, afin que les interventions fassent l'objet d'un plan d'ensemble intégrant les éléments architecturaux, structuraux, fonctionnels,... Ainsi, la structure n'est qu'un élément en relation avec tous les autres.

Cette équipe doit être composée dès les premières phases d'étude. Sa composition sera fonction du type et de l'échelle du projet ainsi que de son contexte. Cette équipe peut reprendre des architectes spécialisés, des historiens, des archéologues et les experts (en stabilité, techniques spéciales, pathologies spécifiques, ...) nécessaires à la réalisation du projet.

### 3. Recherches documentaires : Recherches historiques et étude du patrimoine dans son contexte.

Ces recherches sont nécessaires pour la compréhension du contexte dans lequel on intervient et donc pour la compréhension du bâtiment et de sa structure. Elles ont pour objectif d'acquérir une bonne connaissance du bâtiment et de son évolution au cours du temps. De plus, les informations recueillies peuvent éclairer certaines « zones d'ombre » : elles permettront de mieux interpréter certaines observations (transformation du bâtiment, dégâts provoqués par un accident, ...) et elles peuvent fournir des informations sur les choix de construction. Cela a été utile pour l'intervention sur la charpente de la tour lanterne de la cathédrale de Tournai. Chercher comment la charpente a été construite leur a permis de répondre à plusieurs interrogations qui se sont posées suite aux observations effectuées.

Il peut également être intéressant de se renseigner sur les normes qui étaient suivies lors de la construction du bâtiment, sur l'architecte et la place de l'édifice dans sa carrière ainsi que sur d'autres bâtiments similaires à celui étudié (datant de la même époque, conçus par le même architecte,...).

On cherche à accumuler un maximum de données, historiques et techniques.

### 4. Inspection visuelle : observation des désordres et des dégradations et réalisation de relevés

L'objectif est de réaliser un état des lieux complet, un bilan général du bâtiment. On cherche à comprendre l'environnement dans lequel se situe l'édifice et l'impact qu'il a sur celui-ci (par exemple, si le bâtiment se trouve dans un milieu hostile pouvant être la cause de dégradations). On identifiera les différentes dégradations et leur localisation et on déterminera les essais à effectuer.

### 5. Études préalables et essais : Détermination des causes des dégradations

Ces études couvrent des domaines très étendus et variés, elles regroupent les regards croisés de plusieurs disciplines.

Au cours de cette étape, on effectue toutes les études et les essais nécessaires qui ont été déterminés suite aux observations réalisées sur site. Les essais sont réalisés in situ ou en laboratoire et peuvent être destructifs ou non. Néanmoins, on cherchera à mettre en œuvre les analyses les moins préjudiciables au bâtiment, on privilégiera donc les tests non destructifs.

En se basant sur les observations réalisées lors de l'inspection visuelle et sur les résultats des études préalables, on pourra déterminer les causes des désordres et dégradations. Il est primordial de déterminer les causes des détériorations afin d'agir sur celles-ci et non sur les symptômes.

Les résultats de ces études permettent d'affiner le diagnostic réalisé et donc, par la suite, d'affiner les options d'intervention.

Les recherches, les observations et les résultats des études préalables permettent d'acquérir les informations nécessaires pour comprendre le bâtiment, sa structure et son fonctionnement.

La structure doit être comprise sous différents aspects : typologie, géométrie, comportement (fonctionnement structural), performances, caractéristiques et niveau de fiabilité des matériaux qui la composent, ...

La règle primordiale à suivre est de ne surtout ne pas intervenir avant d'avoir compris l'édifice.

#### 6. Formulation de l'analyse

Il s'agit de formuler une analyse critique et de centraliser toutes les informations recueillies lors des étapes précédentes (études historiques, inspection visuelle et études préalables) et de les transmettre à tous les intervenants du projet.

#### 7. Détermination de la valorisation

En se basant sur les résultats des études historiques et l'état des lieux du bâtiment, on pourra déterminer les qualités spécifiques de l'ouvrage à mettre en valeur. Cette étape permettra de définir une philosophie d'intervention pour le projet et aidera à respecter les valeurs patrimoniales de l'édifice dans le cas d'une réaffectation, par exemple.

### FIXATION DES OBJECTIFS ET DÉTERMINATION DES INTERVENTIONS

#### 8. Détermination de la philosophie d'intervention

En se basant sur les études historiques, les résultats des études préalables, l'étude des valeurs patrimoniales et l'état des lieux du bâtiment, les intervenants définissent une ligne de conduite pour les choix de restauration. Celle-ci est spécifique au projet.

Déterminer cette philosophie (et s'y tenir, c'est-à-dire que chaque décision qui sera prise pour le projet de restauration doit entrer dans cette ligne de conduite) permettra, dans le cas d'une réaffectation où un nouveau programme doit être intégré, de respecter les qualités patrimoniales de l'édifice et de sa structure.

#### 9. Réflexion pour l'insertion d'un nouveau programme et détermination des contraintes supplémentaires en cas de réaffectation.

En cas de réaffectation, l'insertion d'un nouveau programme dans un bâtiment existant amène des contraintes supplémentaires à prendre en compte. Une réflexion pour un agencement pertinent de ces nouvelles fonctions doit être réalisée. Par exemple, on tentera de limiter les charges d'utilisation sur un ancien plancher, et donc d'éviter un renforcement, en choisissant d'y placer une fonction dont la charge d'utilisation est relativement faible.

De plus, l'insertion d'un nouveau programme ne correspondant pas à l'affectation première du bâtiment peut entraîner des difficultés pour la conservation de l'édifice, impliquant parfois des choix comme la conservation des éléments significatifs uniquement.

#### 10. Première phase d'études de stabilité : détermination de la résistance résiduelle

Les études de stabilité peuvent alors commencer. En se basant sur les résultats des études réalisées précédemment, on peut évaluer la résistance résiduelle, c'est-à-dire le chargement que peut reprendre la structure dans son état actuel. On détermine ensuite si et où il faut intervenir.

## 11. Détermination des interventions en se basant sur le diagnostic

Sur base des analyses réalisées et des études de stabilité, on peut réaliser des choix pertinents pour la restauration et déterminer quelles sont les interventions nécessaires pour répondre aux normes actuelles.

Afin de respecter les valeurs patrimoniales de l'édifice et de la structure, les interventions devraient suivre plusieurs critères (la plupart sont issus de la charte de Victoria Falls) :

- Les interventions doivent être minimales, peu intrusives.
- Les interventions doivent être réversibles ou au moins permettre une intervention ultérieure. En cas de suppression d'un élément significatif, il faudrait l'inventorier (et si possible le conserver comme documentation).
- Les interventions doivent respecter l'existant, le « concept original » de la structure : on ne peut pas ignorer la logique constructive originale et la remplacer par celle qui nous convient.
- Les caractéristiques et le comportement des matériaux utilisés doivent être connus.
- On privilégiera la réparation plutôt que le remplacement.
- On tentera de conserver les imperfections non réversibles et faisant partie de l'histoire de la structure dans la mesure où elles ne nuisent pas à la sécurité.
- Il faut rester humble, modeste et respectueux lors de l'intervention (ICOMOS, 2003).

En parallèle, les interventions doivent répondre aux exigences des Eurocodes et des normes incendies. Néanmoins, des dérogations sont possibles dans la mesure où la sécurité reste assurée.

Il faut alors trouver la solution la plus pertinente, c'est-à-dire respectant le plus de critères possibles tout en limitant le volume d'investigations et de calculs. On fonctionne de manière progressive et itérative. La créativité de l'ingénieur est primordiale, il doit trouver des solutions inventives pour éviter le remplacement des éléments trop endommagés ou de toute la structure.

Les intervenants choisissent où ils se positionnent entre la conservation de la structure et le respect des normes. Ce choix est fait au cas par cas et de nombreux critères influencent cette décision.

En plus de respecter les valeurs patrimoniales de la structure et les normes, les interventions doivent tenir compte des impératifs d'exécution et éviter une mise en œuvre trop compliquée (qui pourrait alors être mal réalisée).

## 12. Deuxième phase d'études de stabilité

Une fois les interventions déterminées, on procède à une seconde phase de stabilité et on évalue la structure renforcée ou modifiée.

## DOSSIER D'EXÉCUTION ET INTERVENTIONS

### 13. Création du dossier d'exécution

Cette étape (ainsi que la suivante) est similaire à un projet d'architecture traditionnel. L'architecte restaurateur (et l'équipe mise en place pour le projet) réalise les documents nécessaires (plans, élévations, détails techniques, métrés, cahiers des charges, ...).

### 14. Contrôle des interventions et suivi de chantier

Le travail de l'ingénieur et de l'architecte ne se termine pas lorsque les interventions sont déterminées. L'architecte restaurateur doit piloter le chantier et, avec les experts, il doit contrôler la mise en œuvre. En pratique, ils doivent tous deux suivre le déroulement du chantier et s'y rendre régulièrement (chez

Origin par exemple, l'équipe se rend de façon hebdomadaire sur chantier et réalise ensuite un procès-verbal qui sera transmis à tous les intervenants).

De plus, malgré la réalisation d'études préalables, on ne peut être certain du déroulement du chantier et des découvertes imprévues peuvent être réalisées au cours de celui-ci. À titre d'exemple, lors du chantier de l'hippodrome de Boitsfort, on a découvert que les fondations sous la tour du bâtiment de pesage étaient insuffisantes. Pourtant des essais pour les fondations avaient été réalisés et étaient concluants. Il a donc fallu revoir les interventions à réaliser.

## DOCUMENTATION DES INTERVENTIONS MENÉES

15. Réalisation d'une documentation de toutes les activités de contrôle et de suivi  
Les interventions font désormais partie de l'histoire de la structure. Ces documents seront utiles dans le cas d'une intervention ultérieure.

## 2. FACTEURS INFLUENÇANT LA MÉTHODOLOGIE

Plusieurs facteurs peuvent amener des variations dans la méthodologie présentée ici :

### 1. Importance patrimoniale de l'édifice et de la taille du projet

Plus l'édifice est important, plus on s'attardera sur les études préliminaires nécessaires et sur les solutions qui seront apportées.

Par exemple, les charpentes des bâtiments de l'hippodrome de Boitsfort sont totalement remplacées car elles ont peu de valeur d'un point de vue patrimonial. Au contraire, des renforts sont mis en place pour chaque arbalétrier de la charpente du transept de la cathédrale de Tournai car il s'agit d'une des plus anciennes charpentes d'Europe.

De plus, pour les petits projets, les rôles des différents intervenants se confondent. On le verra plus tard dans le cas de la grange réaffectée par Thibaut Brogneaux : il définit lui-même un bon nombre d'interventions et fait donc à la fois le travail d'architecte et d'ingénieur stabilité (Brogneaux, 2016).

### 2. Sensibilité, créativité, expérience et formation de l'intervenant

- La sensibilité de l'intervenant à la problématique de la conservation du patrimoine, comme déjà mentionné au chapitre 3 (Analyse des rencontres), est un élément primordial qui guidera le travail de restauration.
- La créativité permet de trouver des solutions inventives afin de conserver au mieux l'édifice.
- L'expérience permet de s'appuyer sur des réalisations antérieures et permet également des prises de risques.
- La formation apporte les connaissances de base qui permettent d'intervenir sur le patrimoine.

### 3. Évolution des techniques

Il est important de se tenir à jour sur l'évolution des techniques car elles permettent parfois des interventions mieux adaptées.

Le Beffroi de Mons est un bon exemple : la structure mise en place aurait pu être moins massive si on avait pris en compte l'évolution des technologies (acier haute performance, ...).

### 4. Insertion d'un nouveau programme

Comme dit précédemment, l'affectation d'un bâtiment peut jouer un rôle important dans les décisions qui seront prises et ajouter une étape dans la méthodologie pour définir les contraintes supplémentaires à prendre en compte.

#### 5. Degré d'incertitude de la structure

Dans le cas où les incertitudes sont trop nombreuses et difficiles à éliminer (nombre important de calculs et d'études), on sera plus enclin à renforcer.

#### 6. Échanges entre les intervenants

Ce point a déjà été abordé. (Cf. Chapitre 3 : Analyse des rencontres, point 7 : Nécessité d'équipes pluridisciplinaires).

### 3. SCHÉMA RÉCAPITULATIF

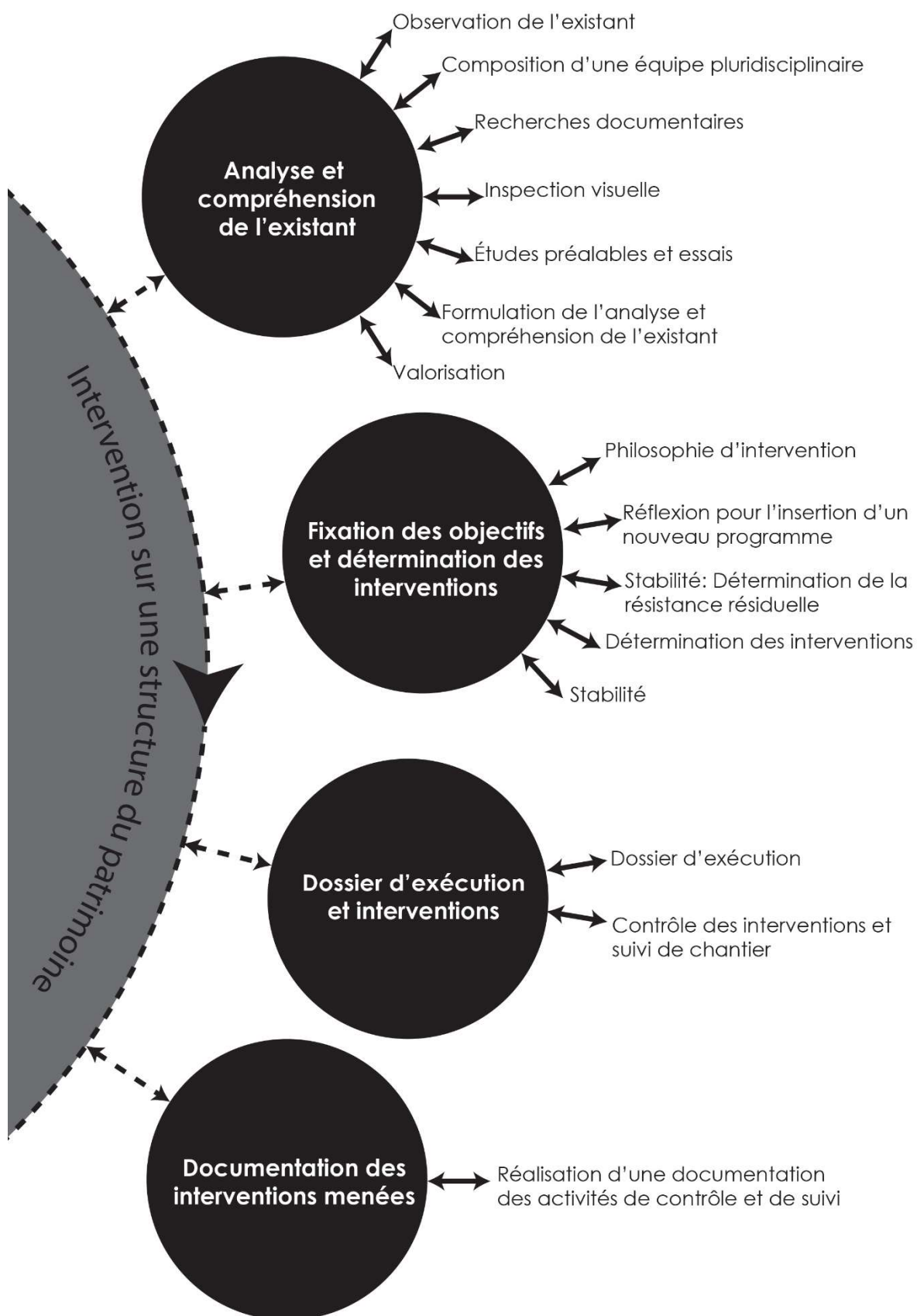


Figure 2: Schéma récapitulatif

#### 4. APPORT DE L'INGÉNIEUR STABILITÉ

La plupart des acteurs souligne l'importance de la créativité chez un ingénieur et sa capacité à trouver des solutions alternatives innovantes pour éviter un remplacement partiel ou complet d'une structure ne répondant plus aux normes.

La première solution, la plus évidente, est le renforcement. On peut également avoir une réflexion sur le programme à intégrer et ainsi limiter les charges d'occupation. On peut également mettre en œuvre des dérogations.

Des solutions alternatives peuvent également être trouvées, comme la création d'une deuxième structure soutenant la structure existante. Ghislain Clearbout (2015) préconise cette méthode quand la première structure est très endommagée.

Plus spécifiquement pour la protection incendie, on peut mettre en place des systèmes de détection, un système de sprinkler ou même une nouvelle structure qui reprendrait la structure existante en cas d'incendie (Dethier, 2015).

Enfin, on cherche à mettre en place des normes pour revoir les coefficients de sécurité et pour l'évaluation de structures existantes.

Cette créativité dont peuvent faire preuve les ingénieurs sera illustrée plus loin notamment dans le cas de l'hippodrome de Boitsfort, du théâtre royal de Wallonie et de la cathédrale de Tournai (Cf. Chapitre 5 : Analyse d'exemples).

#### 5. CONCLUSION

Pour intervenir sur une structure du patrimoine, il faut réaliser une analyse précise de la structure et de son fonctionnement et bien comprendre l'existant afin d'agir au mieux. Ainsi, travailler sur une structure du patrimoine n'est pas un travail totalement différent du projet d'architecture traditionnel. Il faut bien comprendre l'objet existant, les études préalables ont donc une place importante. Il faut tenir compte de plusieurs critères et contraintes afin de respecter les valeurs patrimoniales et les normes actuelles et ainsi choisir les interventions les plus pertinentes à réaliser.

Les entrevues mettent en évidence plusieurs points non abordés dans les références théoriques. En cas de réaffectation, la façon d'aborder le patrimoine peut différer. En effet, pour permettre d'insérer le nouveau programme et les techniques contemporaines (pour assurer le confort des occupants), on sera plus enclin à ne que conserver les éléments significatifs si l'équilibre entre le respect des valeurs patrimoniales et des normes actuelles pose problème.

Les interviews mettent également en évidence le rôle des différents intervenants. Pour de petits projets, ils peuvent se confondre.

En résumé, pour assurer l'équilibre entre la conservation des valeurs patrimoniales d'une structure et les normes actuelles, le chef de projet (en général l'architecte ou l'ingénieur architecte) doit poser un cadre, une philosophie d'intervention que tous les intervenants devront suivre. Cette philosophie se base sur les résultats des études effectuées avant les interventions et est spécifique à chaque projet. L'ingénieur s'occupant de la stabilité doit intervenir en respectant cette philosophie imposée et s'orienter vers des interventions qui la respectent. Pour respecter cette philosophie, il devra peut-être faire preuve de créativité et trouver des solutions innovantes. Il fonctionnera de manière itérative pour chercher la solution la plus pertinente et la plus adaptée à l'édifice. Lors de cette recherche, les échanges entre le chef de projet et l'ingénieur doivent être assurés afin qu'ils travaillent ensemble pour définir les interventions qui seront réalisées.



Les intervenants choisissent où ils se positionnent entre la conservation de la structure et le respect des normes. Ce choix est fait au cas par cas et de nombreux critères influencent cette décision. Certains, se basant sur leur expérience, seront plus enclins à prendre des risques et à s'éloigner des normes (qui, pour rappel, sont des codes de bonne pratique) et d'autres les respecteront à la lettre. Ainsi, les interventions dépendront des intervenants et de leur bagage.

La méthodologie mise en place ici reste théorique : elle se base sur des observations personnelles et sur les réponses que les professionnels ont fournies. En effet, je ne disposais pas de l'expérience nécessaire et de connaissances assez approfondies pour établir une telle méthodologie seule.

L'approche reste assez innovante : aucune méthodologie complète pour l'intervention sur une structure du patrimoine n'existe.

# CHAPITRE 5 : ANALYSE D'EXEMPLES

## 1. MÉTHODE

Pour illustrer la méthodologie établie dans ce travail, des exemples ont été analysés. Pour chacun, on cherche à savoir si les acteurs respectent les principes qu'ils se sont établis et ainsi répondre à la question posée plus haut : Les praticiens suivent-ils les principes qu'ils se définissent pour intervenir sur une structure du patrimoine ?

On cherche également à savoir si la méthodologie présentée dans ce travail est respectée ou non.

Les analyses d'exemples présentées ci-dessous se basent sur les interviews menées auprès des différents praticiens rencontrés et les explications qu'ils ont données au cours de celles-ci. La cathédrale de Tournai et l'hippodrome de Boitsfort sont les seuls chantiers où la visite a pu être réalisée en compagnie des intervenants, expliquant leurs interventions sur place et les illustrant directement (les autres interviews se sont passées dans les bureaux des intervenants), elles ont donc été les plus profitables.

Tout comme les interviews précédentes (concernant les méthodologies d'approche suivies pour intervenir sur le patrimoine), des notes ont été prises en direct. Elles ont été accompagnées de photos et de schémas réalisés sur place (par les intervenants essentiellement). Le cas de la réhabilitation de Thibaut Brogneaux est une exception : pour plus de facilité, les questions ont été envoyées par mail ainsi que les réponses de l'intervenant. Il n'y a donc pas eu d'interaction avec l'intervenant.

Les projets présentés ici ont été réalisés récemment ou sont en cours de réalisation, tel que l'hippodrome de Boitsfort, toujours en chantier au moment de la rédaction de ce mémoire ou la cathédrale de Tournai. Pour les projets non terminés, il était donc impossible de vérifier l'ensemble de la méthodologie établie dans ce travail car les dernières étapes de la méthodologie n'ont pas encore été réalisées (notamment la réalisation de la documentation suite aux interventions).

Les restaurations devaient être suffisamment importantes pour qu'une intervention soit menée sur la structure de l'édifice.

Les exemples de bâtiments classés ont été privilégiés, néanmoins, cela n'a pas toujours été possible. La recherche d'exemple a été compliquée par le fait que les intervenants proposaient les projets qui les intéressaient et ne correspondant pas forcément aux besoins de ce travail.

De plus, la méthodologie établie ici se voulant générale, les exemples repris ici ont été réalisés par différents bureaux, permettant de se baser sur un large éventail d'expériences. Dans le même esprit, ces projets sont de taille et de natures différentes (différentes époques, importance patrimoniale différente, publics ou privés) et les structures sont de différents types.

Les projets sont analysés selon les points suivants :

1. Acteurs
2. Historique et présentation du bâtiment
3. Demandes et philosophie de restauration
4. Interventions
5. Méthodologie
6. Conclusion

## 2. HIPPODROME DE BOITSFORT : BÂTIMENT DE PESAGE ET PETITE TRIBUNE



Figure 3: Hippodrome de Boitsfort : Grande Tribune

### 2.1 ACTEURS

- Études de restauration : Origin
- Études de stabilité : Origin
- Entreprise : Monument
- Maître d'ouvrage : SAF (société d'acquisition foncière de la Région Bruxelles capitale). En novembre 2013, la région a attribué la concession pour la valorisation du site à VO Group et son projet de Drogue Melting Park.

### 2.2 HISTORIQUE ET PRÉSENTATION

L'hippodrome de Boitsfort est un complexe se déployant sur 30 hectares, situé à la lisière de la forêt de Soignes et englobant 3 bâtiments : la grande tribune, la petite tribune et le local de pesage.

Selon les conseils de l'architecte, on se concentrera ici essentiellement sur le pesage et la petite tribune car ce sont les deux bâtiments les plus intéressants pour le problème traité dans le cadre de ce travail.

Le bâtiment de pesage présente deux phases de construction : un bâtiment primitif datant de 1900 et une annexe moderniste construite en 1951. Le premier bâtiment (1900) est en maçonnerie et d'un style éclectique avec quelques touches d'Art Nouveau. L'annexe est ajoutée en 1951 par l'architecte Breydel. Elle est facilement identifiable et caractéristique de son époque de construction. Il s'agit d'un petit volume en béton perché sur pilotis.



Figure 4: Bâtiment de pesage (Origin, 2014)

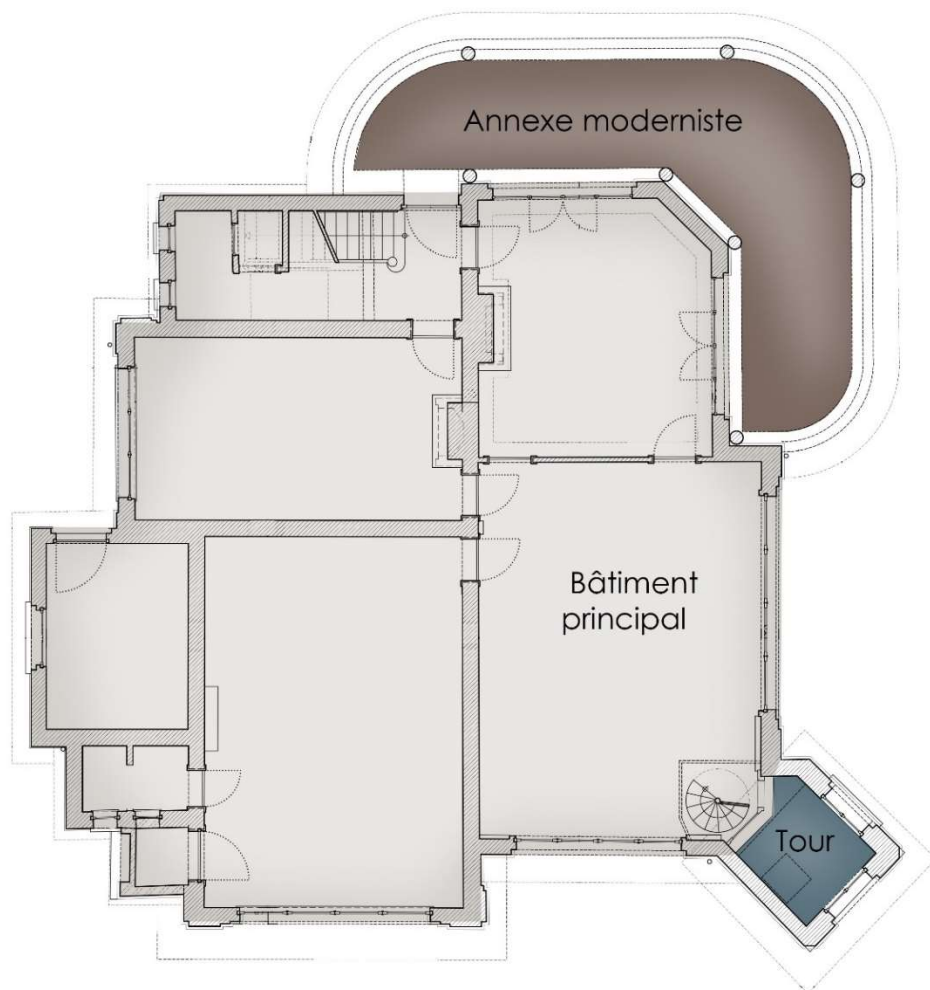


Figure 5: Bâtiment de pesage - plan RDC (Origin, 2014)





Figure 6: Petite tribune (Origin, 2014)

La petite tribune, construite en 1878, est elle aussi construite en maçonnerie et de style éclectique. Elle a subi peu de transformations au cours du temps (Origin, s.d.).

### 2.3 DEMANDES ET PHILOSOPHIE DE RESTAURATION

Le bureau d'architecture et d'ingénierie Origin est chargé de la restauration du gros-œuvre fermé des trois bâtiments cités précédemment. Suite à cette phase de travaux, le site sera réaffecté en parc de loisirs pour les familles. Il s'agit d'un projet financé par Droh!me Melting Park.

Le complexe présente des qualités patrimoniales et architecturales indéniables ainsi qu'un grand potentiel au vu de sa situation en lisière de la forêt de Soignes.

Le bureau a le projet de retrouver « l'esprit pittoresque » des bâtiments d'origine en leur rendant une meilleure lecture (Origin, s.d.).

---

#### LE LOCAL DE PESAGE

Dans un premier temps, le projet de restauration se concentre sur la partie la plus ancienne (datant de 1900) et sur le souci de résoudre les nombreux problèmes structurels constatés.

Plusieurs problèmes sont rencontrés dans ce bâtiment. On observe de nombreuses fissures en façade ainsi qu'à l'intérieur du bâtiment et d'autre part des basculements de mur. Ces désordres sont dus à plusieurs facteurs :

Des affouillements :

Ceux-ci sont dus au mauvais écoulement des eaux de pluies et au système d'égouttage endommagé.

Des tassements de sol et des fondations insuffisantes :

Lors de leur visite sur site, les architectes ont repéré des tassements de sol à plusieurs endroits : la qualité du terrain est assez mauvaise. Le terrain étant en pente, un remblai a été mis en place.

Les fondations étaient insuffisantes par endroit. Les plans de fondations n'ont pas été retrouvés, il a donc fallu faire des essais afin de connaître la situation existante. Ceux-ci ont montré que les fondations étaient relativement bonnes, descendant jusqu'à environ 1,5m de profondeur. Cependant, lors du chantier, l'entrepreneur se rend compte que la tour bascule. On réalise alors des sondages et on découvre qu'elle n'est pas assez fondée. Cela a surpris étant donné que le bâtiment a été construit en une seule phase. De plus, c'est la partie la plus critique du bâtiment où les charges sont les plus importantes. Pourquoi cette partie du bâtiment a-t-elle été moins fondée que le reste ? Cette information n'a pu être que constatée, le bureau n'ayant aucune information sur le sujet.

Des charpentes sous-dimensionnées.

Les appuis de charpente sont en mauvais état et poussent les têtes de murs.



Figure 7: Mur extérieur : Fissure due aux affouillements et aux tassements (Origin, 2014)



Figure 8: Achelet en béton

Il faut soit « stabiliser » soit « redresser » le bâtiment. Dans le cas présent, il a été décidé de stabiliser le bâtiment au vu des déformations importantes.

L'enveloppe sera ensuite restaurée.

Pour l'extension moderniste, il est prévu de lui rendre son aspect d'antan en reconstituant les châssis et le garde-corps disparus (Vermijlen, 2015).

---

#### LA PETITE TRIBUNE

Comme pour le pesage, il s'agit ici de résoudre les problèmes structurels rencontrés et de restaurer l'enveloppe.

Plusieurs désordres ont été constatés :

- Les poutres de toiture ont flambé et déversé
- Lors de la vérification de la structure soutenant le plancher de la tribune, il a été constaté qu'elle ne pouvait pas reprendre la charge d'exploitation exigée actuellement pour les tribunes pour des personnes debout (Vermijlen, 2015).

### 2.4 INTERVENTIONS

---

#### LE LOCAL DE PESAGE

L'ingénieur a agi ponctuellement. Pour stabiliser la fissure visible à l'extérieur (sur la photo ci-dessus), elle a placé un achelet en béton dans la partie portante à l'intérieur du bâtiment. Cette intervention permet une répartition des charges et donc d'éviter l'ouverture de la fissure. À l'extérieur, les briques seront rejointoyées.

Pour la tour, il a été décidé de renforcer les fondations et donc de créer un radier intérieur (donc hors gel) s'ancrant dans la maçonnerie existante. La tour ne nécessite pas ainsi de fondations plus



profondes. Les micropieux n'ont pas été utilisés ici (cette technologie nécessite du matériel et un savoir-faire particulier).

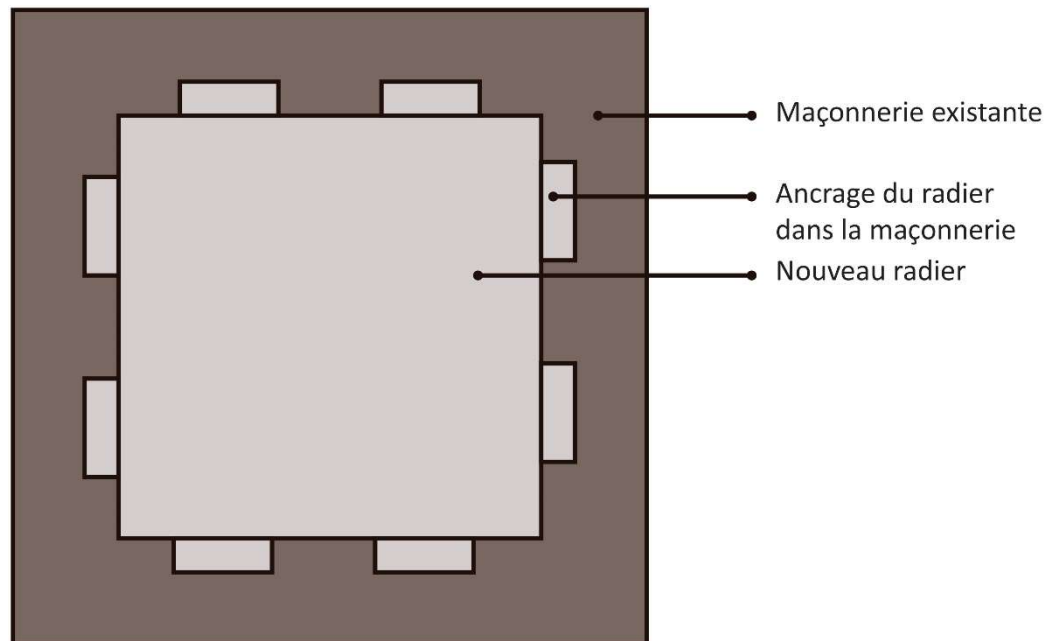


Figure 9: Principe du radier mis en place sous la tour

Les pieds de toitures poussaient aux appuis, les pannes sablières ont bougé entraînant les murs qui ont basculé par endroit, créant des fissures notamment à côté de l'annexe moderne. Pour pallier à ce désordre, une poutre de ceinture en béton a été réalisée et les charpentes ont été remplacées.

Il y a deux types de charpente : soit des fermes soit des pannes et chevrons. De manière générale, la charpente a été sous-dimensionnée. Les pannes présentaient des flèches importantes et elles déversaient. Deux fermes ont été complètement remplacées. Il n'y avait qu'une seule panne, ce qui était insuffisant pour reprendre les charges, l'ingénieur a calculé qu'il en fallait deux. La panne existante a été enlevée et deux nouvelles pannes ont été ajoutées et placées de part et d'autre de l'emplacement de l'ancienne panne afin que l'aspect visuel soit correct et cohérent.

Des parties importantes de la structure portante de la toiture ont été remplacées. Les flèches étaient trop importantes et elles déversaient. Cette situation a été « justifiée » par une qualité de bois médiocre et des assemblages de mauvaise qualité. De plus, la structure de la toiture n'est pas visible et elle n'a pas été réalisée « dans les règles de l'art » à l'époque.

Selon le souhait du client, plusieurs baies ont été agrandies. Il a donc fallu calculer si la maçonnerie pouvait reprendre les charges ainsi redistribuées. Pour éviter les tassements, l'ingénieur a estimé que la charge pouvait être augmentée de 10 à 15%. Cette règle a permis de déterminer la largeur maximale des baies (Vermijlen, 2015).





Figure 10: Charpentes

## LA PETITE TRIBUNE

Le premier souci rencontré dans la petite tribune concerne le plancher qui ne pouvait pas reprendre la charge d'exploitation de 400 kg/m<sup>2</sup> exigée actuellement pour un public debout. La charge exigée pour des personnes assises est moins importante et pouvait être reprise par les voussettes existantes. Dans ce cas de figure, soit on limite l'accès (et on considère que les personnes seront assises), soit on renforce la structure. Après discussion avec le client, il a été décidé de renforcer la structure.

Le plancher se compose de voussettes. Dans ce type de structure, ce sont les poutrelles en I qui sont en général dimensionnantes (une fois les poutrelles dimensionnées, on considère que la maçonnerie est suffisamment résistante).

Placer une poutre perpendiculaire en dessous des poutrelles n'était pas possible : le dessous des tribunes est un espace utilisé et la hauteur sous plafond est déjà très faible. De plus, cette intervention n'aurait pas été esthétique. Pour les mêmes raisons, il n'était pas non plus possible de placer une poutre perpendiculaire au-dessus des poutrelles. Cette solution aurait empêché l'accès à la tribune.

Pour augmenter la capacité portante des voussettes, la solution adoptée a consisté en l'ajout de plats métalliques (figure 9) (Vermijlen, 2015).

En effet, on démontre en résistance des matériaux que la contrainte maximale est liée au moment de flexion par la relation :

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{I_y} \cdot v$$

où  $v$  est la distance entre la fibre extrême et l'axe  $y$  de flexion ( $v = h/2$ ). La contrainte et le moment d'inertie sont inversement proportionnels, l'augmentation du moment d'inertie diminuera la contrainte.

Le moment d'inertie d'une poutre en I est donné par :

$$I_y = 2 \left[ \frac{b t_f^3}{12} + b t_f \left( \frac{h_i + t_f}{2} \right)^2 \right] + \frac{t_w h_i^3}{12}$$

Après ajout des plats, l'inertie devient :

$$I_{y2} = I_y + 2 \left( \frac{b_p h_p^3}{12} + b_p h_p d^2 \right)$$

$d$  est la distance entre l'axe  $y$  de flexion et le centre de gravité du plat et  $2 b_p h_p d^2$  est le terme de transport.

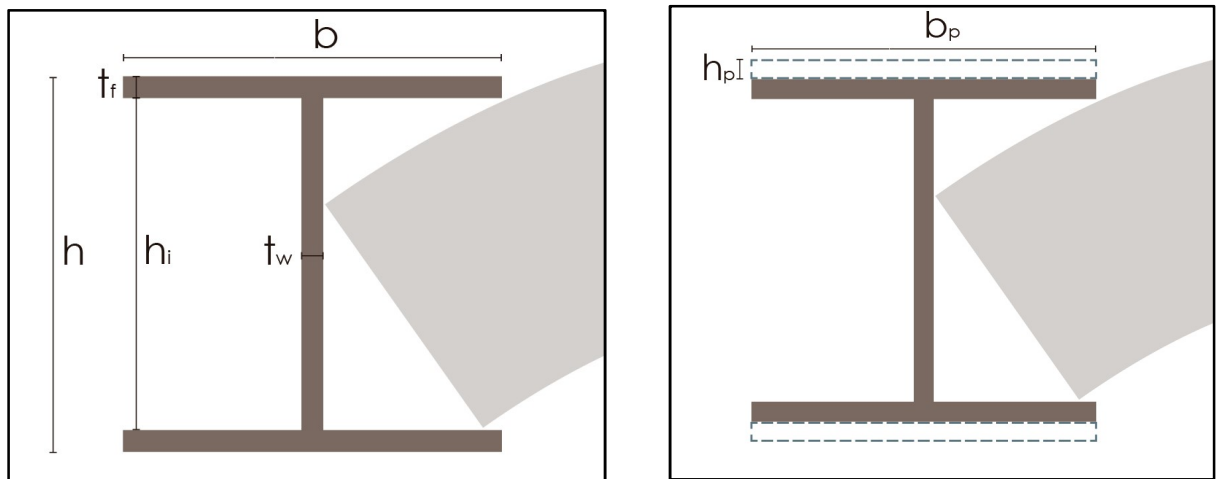


Figure 11: Principe des plats mis en place au-dessus et en dessous des poutres en I

On calcule la flèche pour une charge répartie par la formule :

$$f = \frac{5 p L^4}{384 E I}$$

où  $p$  est la charge répartie,  $L$  la longueur de la poutre entre appuis,  $E$  le module de Young et  $I$  le moment d'inertie. La flèche est inversement proportionnelle au moment d'inertie, plus celui-ci augmente, plus la déformée sera faible.

Quant à la toiture, elle a été complètement remplacée, pour les mêmes raisons que celles du local de pesage :

- Les désordres constatés étaient nombreux : les flèches étaient trop importantes et les poutres déversaient.
- Des raidisseurs représentaient un coût trop important.
- La qualité du bois et des assemblages était médiocre.
- La charpente n'est pas visible et elle n'a pas été réalisée « dans les règles de l'art » à l'époque.

## 2.5 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie établie et suivie par le bureau est rappelée ci-dessous :

1. Études préliminaires (Élaboration de l'étude historique, établissement d'une analyse de la situation existante, définition et suivi des sondages, essais préalables)

2. Détermination de la valorisation : conclusion de l'étude patrimoniale
3. Définition de la philosophie d'intervention
4. Élaboration du dossier d'exécution
5. Suivi de chantier

Le bureau a suivi la méthodologie qu'il a mise en place sur ce projet : les intervenants ont effectué toutes les études préalables nécessaires (relevés détaillés, étude historique, essais de sol,...) même s'ils ont rencontré des problèmes sur le chantier au niveau de la tour : personne ne pouvait prévoir que les fondations étaient insuffisantes à cet endroit. Ensuite, le bureau s'est basé sur les résultats des études pour définir la valorisation et une philosophie d'intervention (retrouver « l'esprit pittoresque » des bâtiments et créer un parc de loisirs). Le bureau a créé un dossier d'exécution et assure le suivi du chantier : le chef et le coordinateur de projet se rendent une fois par semaine sur chantier.

En ce qui concerne la méthodologie pratique établie dans ce travail :

Les acteurs ont commencé par une phase d'observation : ils se sont rendus sur place et ont pu observer le site. Une équipe pluridisciplinaire a été mise en place : un point fort du bureau Origin est la variété des profils des collaborateurs (architectes, ingénieurs architectes, ingénieurs des constructions, historien, ...).

Après avoir effectué les études préalables nécessaires, l'équipe gérant le projet a cherché à comprendre les bâtiments, les collaborateurs ont défini les causes des désordres observés pour pouvoir les traiter. Pour le local de pesage par exemple, ils ont cherché et identifié les éléments qui ont induit les fissures et ils sont intervenus à l'origine des problèmes.

Après avoir identifié les valeurs du site à mettre en évidence, le bureau a mis en place une philosophie de restauration en cherchant à rendre au site son attrait. Il est important de souligner qu'on cherche ici à préserver le site (et donc essentiellement à respecter l'aspect extérieur des bâtiments) et non les structure des bâtiments en elles-mêmes : elles ne constituent pas l'élément le plus intéressant d'un point de vue patrimonial, ce qui peut expliquer certains choix effectués par le bureau (le remplacement complet des charpentes des deux bâtiments par exemple).

Une réflexion pour l'insertion d'un nouveau programme a été menée (les bâtiments doivent accueillir de nouvelles fonctions pour le parc de loisir).

Deux types d'interventions sont menées : des renforcements et le remplacement complet des charpentes.

La plupart des renforts ne sont pas visibles. Pour le bâtiment de pesage, l'ingénieur a prévu de placer un achelet, un radier sous la tour et une poutre de ceinture en tête de mur.

Pour la petite tribune, il a été décidé de renforcer le plancher plutôt que de limiter l'occupation. Le choix a été fait en concertation avec l'architecte, le client et l'ingénieur. Dans ce cas, on privilégie le fait de garder l'utilisation originale de la tribune (dans l'autre cas on aurait conservé l'aspect original de la structure du plancher). Il est difficile de préférer un choix plutôt qu'un autre. Dans le cadre de ce projet, c'est l'attrait du site que le bureau cherche à mettre en valeur, ce choix rencontre donc les objectifs de la philosophie de restauration qu'a définie le bureau pour ce projet.

Il a été décidé de remplacer complètement les charpentes des deux bâtiments pour plusieurs raisons :

- les déformations des éléments constitutifs étaient trop importantes
- les structures étaient sous dimensionnées et non-visibles
- la qualité du matériau et des assemblages était médiocre

- des renforts auraient été trop onéreux

Un point négatif à souligner est que la plupart des interventions effectuées ici ne sont pas réversibles et assez intrusives. Par exemple, pour placer un plat au-dessus des poutrelles du plancher de la petite tribune, il faudra scier la dalle en béton existante et la réparer ensuite.

Les imperfections non réversibles sont conservées : le bâtiment de pesage est stabilisé mais les déformations sont conservées.

Il y a également eu une réflexion quant aux impératifs d'exécution, notamment en créant un radier sous la tour et en évitant la mise en place de micropieux qui nécessitent des ouvriers qualifiés.

Les interventions sont contrôlées et le chantier est suivi (comme dit précédemment le coordinateur et le chef de projet s'y rendent une fois par semaine).

En conclusion, la démarche suivie par le bureau correspond relativement bien à la méthodologie définie dans ce travail.

Il est à noter que je ne dispose d'aucune information relative à la formulation de l'analyse suite aux études préalables et la création d'une documentation précise sur les interventions effectuées puisque le chantier n'était pas terminé.

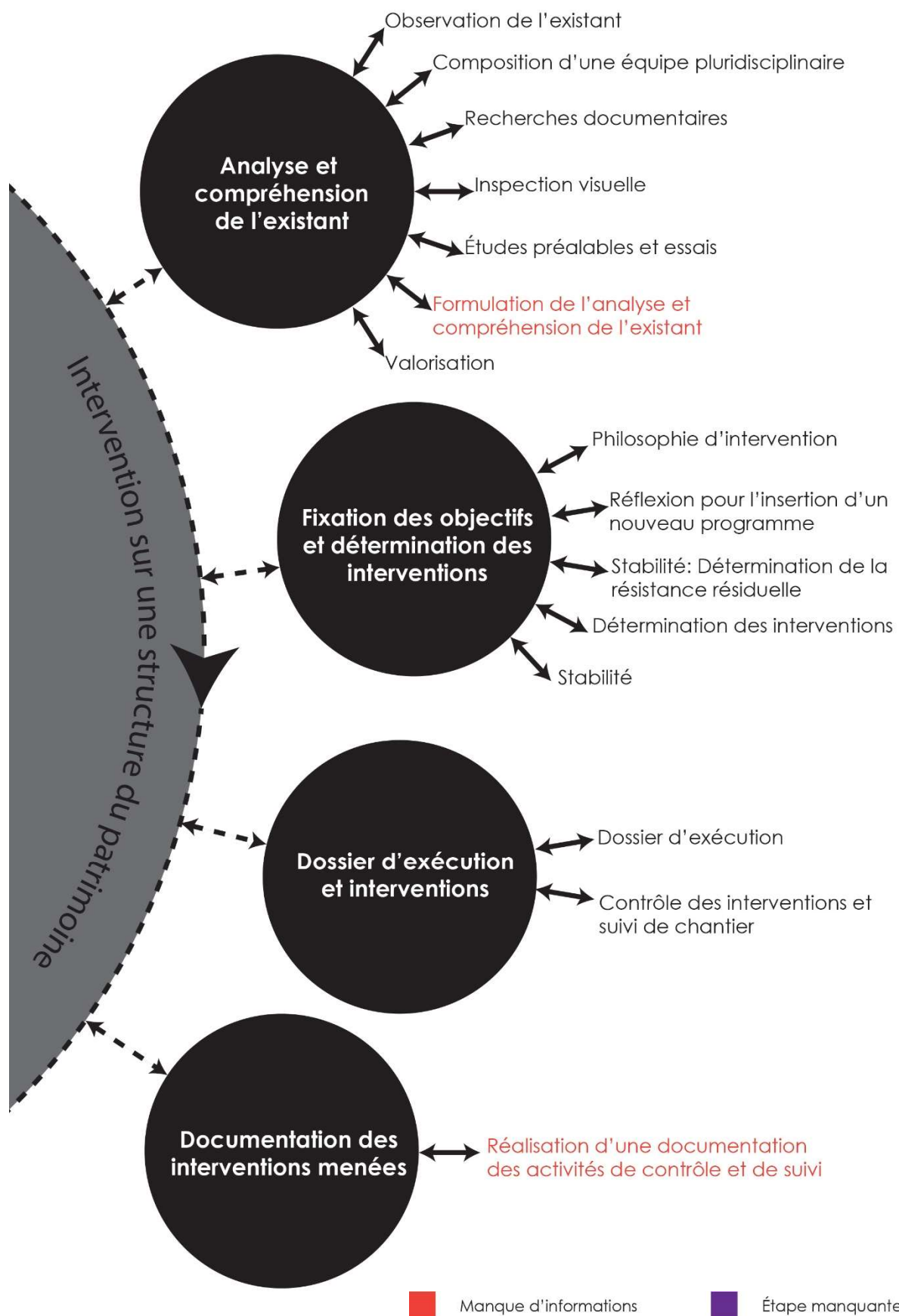


Figure 12: Schéma récapitulatif – Boitsfort

## 2.6 CONCLUSION

Les choix effectués par le bureau Origin permettent de conserver les bâtiments existants (et la structure existante) tout en les adaptant aux besoins actuels et en répondant aux normes exigées. Toutefois, un point négatif à souligner est que la plupart des interventions menées ne sont pas réversibles.

Le bureau est spécialisé en restauration du patrimoine et comprend un pôle stabilité. Le bureau a beaucoup d'expérience dans le domaine et les collaborateurs tentent donc, pour tous leurs projets, de garder l'équilibre entre le respect des normes et la conservation de la structure. En ce qui concerne la démarche à mettre en place pour arriver à cet objectif, elle a été définie par le bureau et est suivie pour tous les projets. La méthodologie suivie par le bureau est assez proche de la méthodologie définie dans ce travail.

Comme dit précédemment, la restauration nécessite des équipes pluridisciplinaires. Origin rassemble des collaborateurs ayant des formations différentes (historien, ingénieurs architectes, ingénieurs des constructions, architectes, ...) ce qui permet au bureau de réaliser la plupart des études préliminaires en interne et donc d'être plus efficace. Le fait que le bureau allie architecture et ingénierie permet d'assurer une communication très efficace entre l'architecte et l'ingénieur et ce presque en permanence. Cela évite également toute forme de surenchère ou d'incompréhension. D'autre part l'ingénieur stabilité (ainsi que le chef de projet) a suivi une formation complémentaire en restauration du patrimoine.

### 3. THÉÂTRE ROYAL DE LIÈGE



Figure 13: Théâtre royal de Liège

#### 3.1 ACTEURS

- Maître d'ouvrage : Ville de Liège et Opéra royal de Wallonie
- Rénovation et équipements scéniques: A2RC
- Études de restauration : Origin
- Étude de stabilité : Greisch
- Équipements scéniques : Architectes associés – TGI
- Autres intervenants : Daniel Commins (acoustique), Arte (équipements scéniques)
- Entreprise : Galère – Moury – Wust
- Sous-traitants parties classées : Profiel, Gresso, Dejeond

#### 3.2 HISTORIQUE ET PRÉSENTATION DU BÂTIMENT

Le théâtre royal de Liège, conçu par l'architecte Auguste Dukers dans un style néo-classique, a été inauguré en 1820 après deux années de construction. Il est situé au centre-ville de Liège, place de l'Opéra.

Le théâtre connaît d'importantes transformations 40 ans après son édification et ensuite tous les 20 ans environ.

En 1860, le théâtre est transformé sous la direction de l'architecte Julien-Etienne Rémont pour s'adapter à de nouveaux besoins : le bâtiment est agrandi, la structure est revue et le style intérieur



est retravaillé (la salle devient de style empire). En 1903, le peintre Emile Berchmans exécute la grande peinture de la coupole de la salle. Un nouveau fronton sculpté par Oscar Berchmans est placé en 1930.

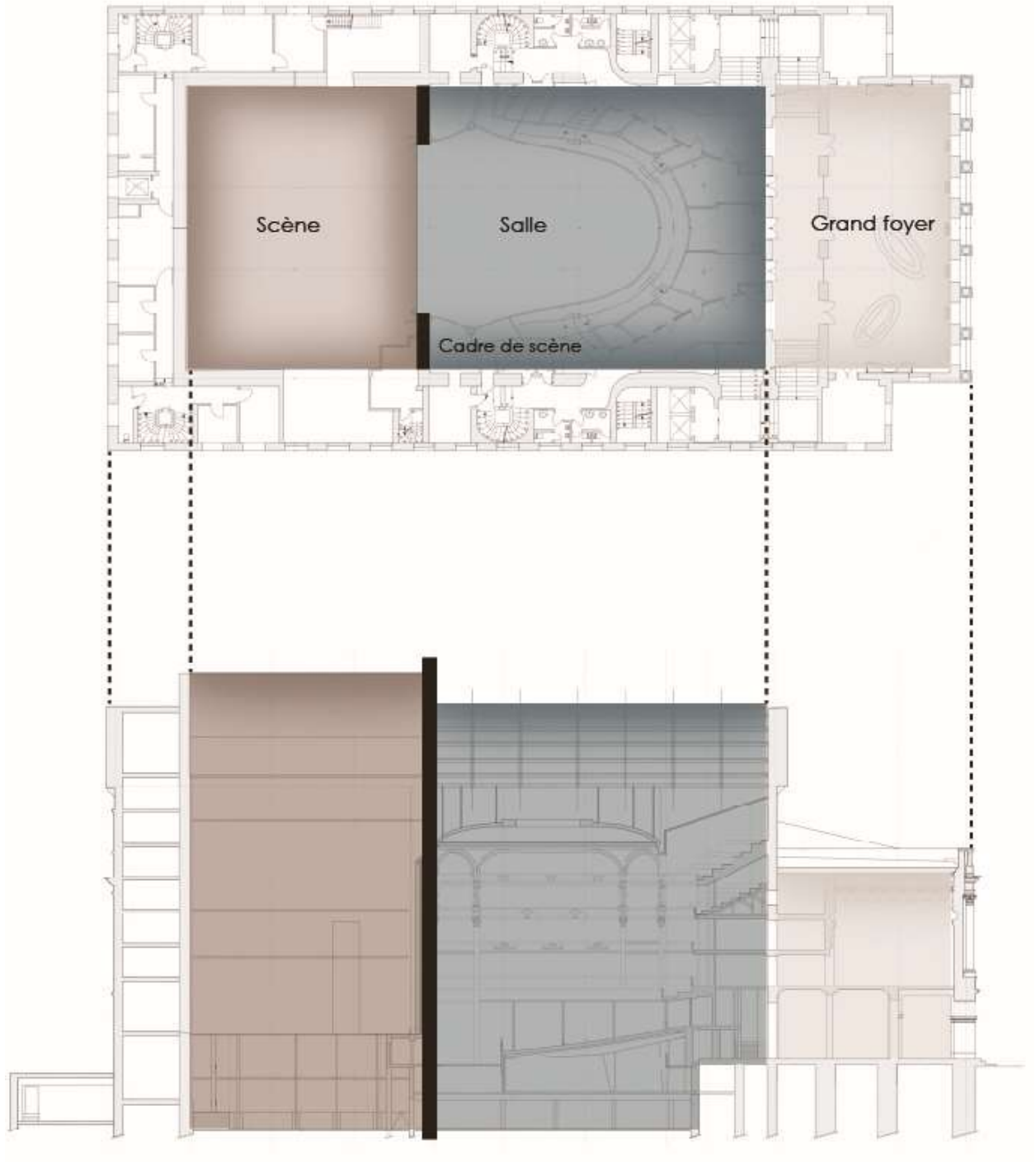


Figure 14: Plan et coupe (Greisch, 2013)



Le théâtre est ensuite exhausé sur certaines parties dans les années 1955-1957. L'année suivante (1958), la salle et la scène sont modernisées. Ensuite, entre 1969 et 1982, de nouveaux exhaussements sont mis en place et des transformations intérieures sont réalisées.

Il ne subsiste donc du théâtre originel de 1820 que les façades extérieures.

Le théâtre est classé le 18 mars 1999 comme monument au patrimoine immobilier de Wallonie. Quant à sa rénovation complète, elle débutera en 2010 : le théâtre est adapté aux dernières évolutions techniques de la scène, les nouvelles normes de sécurité sont intégrées et le confort des spectateurs est amélioré.

On peut diviser le bâtiment existant en deux volumes principaux séparés par le cadre de scène : la scène et la salle. À cela s'ajoute le grand foyer et les appentis situés de part et d'autre des volumes principaux.

La structure existante est constituée d'une première structure principale (entourant la salle et la scène), d'une structure secondaire (soutenant les appentis) et d'une structure indépendante pour le grand foyer. La structure existante est composée de grands voiles de maçonnerie assez épais, d'environ 1 m d'épaisseur (Greisch, s.d. ; Origin, 2014).

### 3.3 DEMANDES ET PHILOSOPHIE

Les interventions auront pour objectifs la restauration des parties classées du bâtiment et l'adaptation aux dernières évolutions des arts et techniques de la scène (fosse d'orchestre redessinée pour l'acoustique, renouvellement de la machinerie, augmentation de la dimension de la cage de scène...) et aux nouvelles normes de sécurité.

Le parti pris par les acteurs a été de rendre à l'opéra son aspect originel néo-classique et donc de supprimer les différentes rehausses qui ont été créées au fil des années. Un volume supplémentaire a été placé en toiture afin d'adapter l'opéra aux exigences actuelles : en effet, pour pouvoir accueillir des tournées internationales, le volume au-dessus de la scène devait être augmenté et les techniques modernisées. Pour éviter de créer une dissymétrie et assurer l'harmonie de l'ensemble, le volume a été étendu à la salle. Ce nouveau volume est simple, contemporain (rendant l'intervention clairement identifiable) et vient compléter le bâtiment existant sans le dénaturer : le bâtiment ancien reste prépondérant. Il est entouré d'un claustra d'acier laqué.

Le projet consistait en :

1. Réorganiser l'intérieur et créer de nouveaux espaces en toiture, notamment une salle de répétition et des locaux techniques et administratifs (essentiellement des bureaux) au-dessus de la salle de spectacle
2. Restaurer l'enveloppe extérieure
3. Restaurer les espaces intérieurs classés et les équipements techniques et scéniques
4. Rehausser la cage de scène

Le travail du bureau Greisch consistait à créer et à calculer la nouvelle structure nécessaire à placer au-dessus du bâtiment existant sans en altérer les parties classées (Greisch, s.d. ; Origin, 2014).

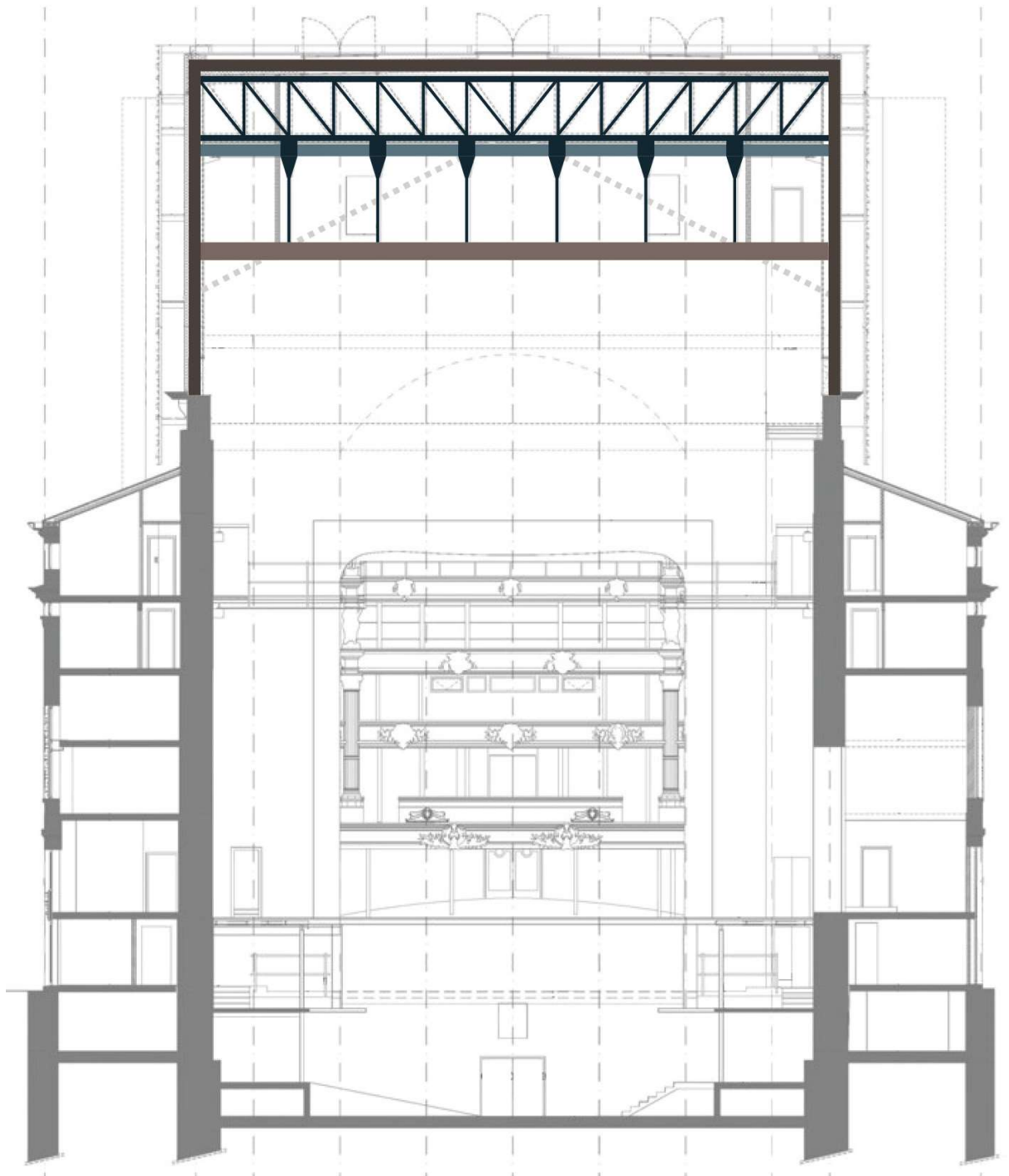


Figure 15: Scène: Principe pour la nouvelle structure (Greisch, 2013)

### 3.4 INTERVENTIONS

#### NOUVELLE STRUCTURE : SCÈNE ET SALLE

Les contraintes sont très nombreuses du côté de la scène car les risques d'incendies y sont importants.

Au-dessus de la scène, une nouvelle structure métallique constituée de 5 grandes poutres treillis de 22 m de portée a été réalisée afin de reprendre les nouveaux équipements techniques propres à la scénographie, c'est-à-dire les grills techniques et les perches. Ces dernières doivent pouvoir soutenir

jusqu'à 500 kg (auparavant, elles étaient limitées à 200 kg), afin de pouvoir poser des éclairages et des décors plus importants.

Au-dessus de la salle, 3 nouveaux niveaux ont été créés. Ils doivent accueillir une salle de répétition, des bureaux et des locaux techniques pour le grand lustre de la salle. La structure portante est constituée de grandes poutres treillis de 22 mètres de portée et dont la hauteur est de 6 mètres (cela correspond aux deux étages de bureaux).

Au vu des fonctions à intégrer (salle de répétition, ...), il a fallu gérer l'acoustique des planchers : cela nécessite en général des matériaux de masse assez importante, difficiles à placer ici car on cherche à limiter les charges. On a donc utilisé des hourdis et une chape plutôt que du béton lourd.

Une poutre de ceinture en béton a été réalisée au-dessus de la maçonnerie existante. La nouvelle structure se pose sur celle-ci. La structure existante n'aurait pas pu reprendre un tel apport de charges et aurait pu être endommagée. Le bureau a donc imaginé de grandes colonnes de béton intégrées dans la maçonnerie existante. Des essais de sol ont été effectués et ont révélé que la qualité du sol en place est assez médiocre et aurait mal supporté un accroissement des charges. En effet, on est assez proche d'un ancien bras de Meuse. Les colonnes en béton ont donc été fondées sur des micropieux pour renforcer le sol en place.

Après vérification, le bureau a considéré que la maçonnerie existante (maçonnée à la chaux) était suffisamment élastique pour répartir les charges sur les fondations et éviter la création de points durs par les nouveaux pieux mis en place.

Deux nouveaux ascenseurs panoramiques ont été créés de part et d'autre du nouveau volume (Closset, 2015).

---

## CONTREVENTEMENT

Il a fallu tenir compte du fait que le rehaussement du bâtiment induit des efforts de vent supplémentaires. Plusieurs éléments assurent le contreventement du bâtiment. Il y a d'abord des éléments de la structure existante :

- La cadre de scène qui joue le rôle de diaphragme
- Les appentis du bâtiment situé de part et d'autre du volume principal

Ensuite, la nouvelle structure a amené de nouveaux éléments de contreventement :

- Les nouveaux planchers créés qui jouent le rôle de diaphragme
- Les nouvelles voiles en béton présents dans les nouvelles cages d'ascenseurs

La nouvelle structure a également été contreventée par des éléments horizontaux (Closset, 2015).

---

## NORMES ACTUELLES

En ce qui concerne les normes incendies, les acteurs ont fait jouer quelques dérogations pour la salle : on a considéré que l'ancienne partie du bâtiment (la grande salle essentiellement) ne répondrait pas aux normes actuelles en terme d'incendie (en effet, les balcons sont en bois et fonte et ne pourraient donc pas résister aussi longtemps que l'exigent les normes) et que seuls les nouveaux espaces devraient y répondre. Les bâtiments datant d'avant 1994 ne sont pas soumis à la loi et c'est l'avis des pompiers qui a primé. On met toutefois en place des mesures de prévention, c'est-à-dire des mesures compensatoires. Les principaux risques d'incendies proviennent de la scène et un « rideau » de métal et de béton est mis en place pour compartimenter les deux espaces en cas d'incendie.

Notons également que les hauteurs de balcons ne répondent pas non plus aux normes actuelles (Closset, 2015).

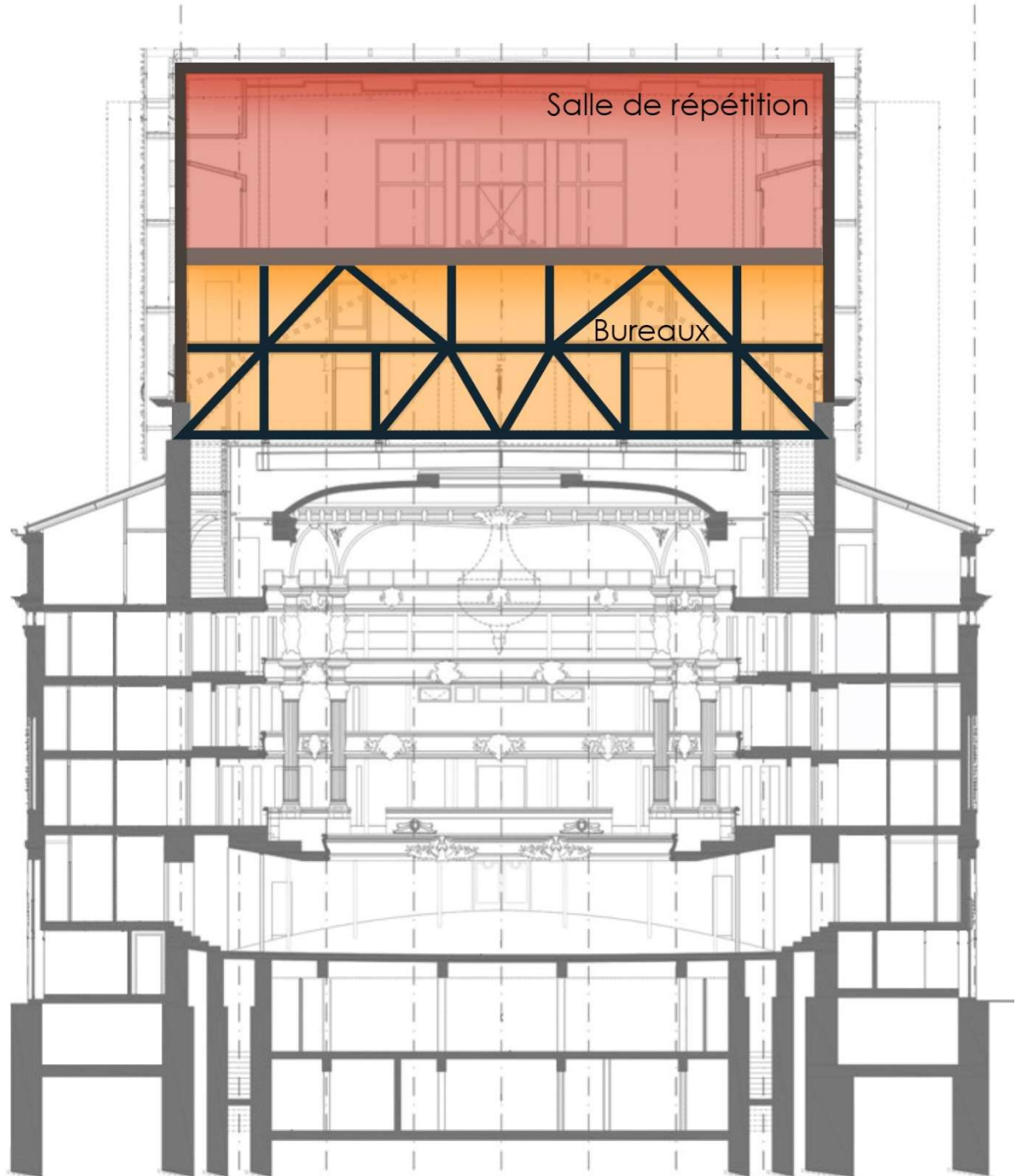


Figure 16: Salle : Principe pour la nouvelle structure (Greisch, 2013)

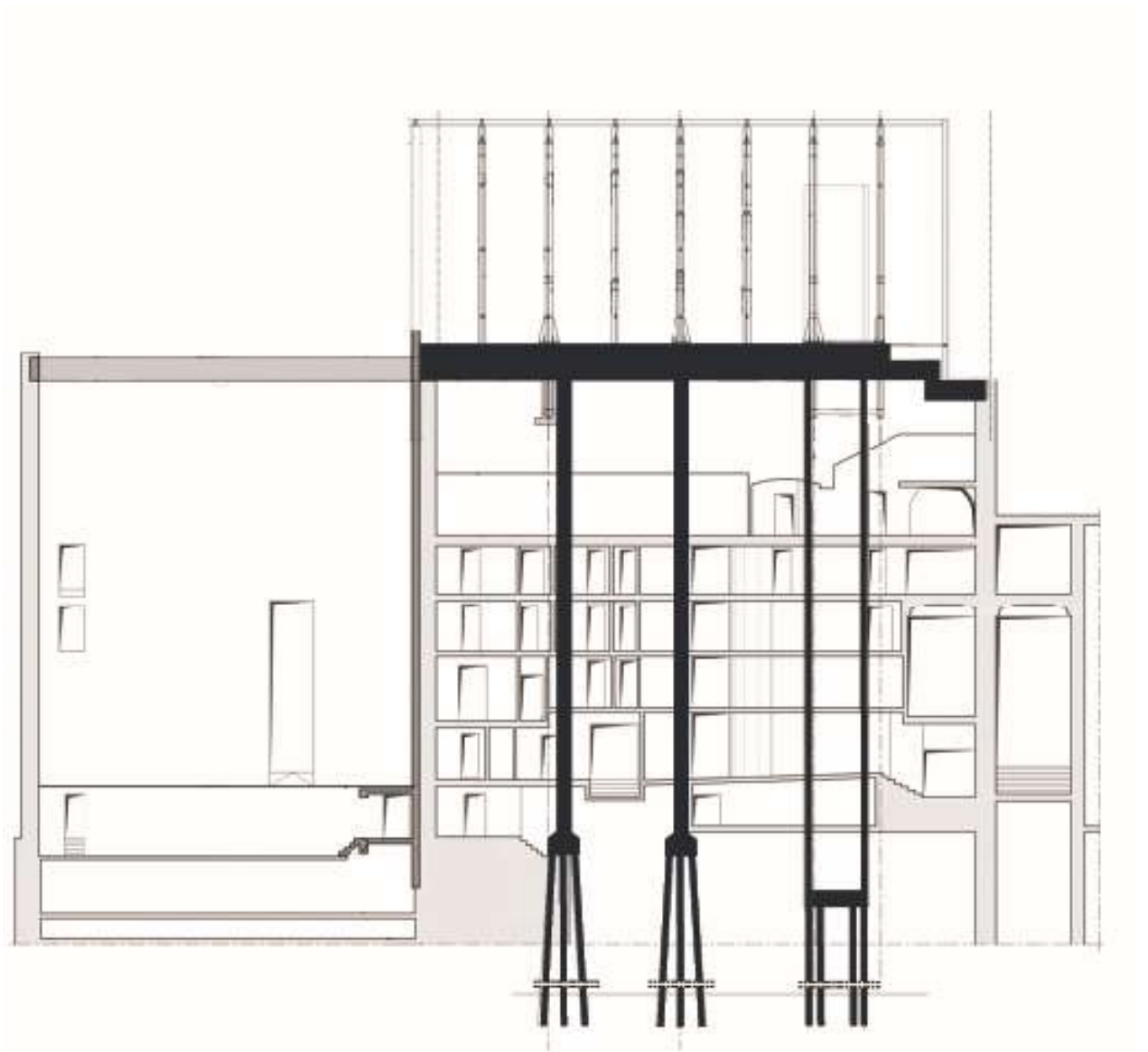


Figure 17: Principe structurel des nouveaux pieux mis en place (Greisch, 2013)

## PROTECTION DE LA COUPOLE

Les ingénieurs ont dû faire face à une problématique très contraignante. La coupole de la salle de spectacle, qui est classée et devait donc être conservée, était suspendue à l'ancienne structure qui devait être rehaussée et donc remplacée. Il a donc fallu trouver un moyen pour soutenir le plafond avant de démonter l'ancienne structure.

Pour ce faire, on a mis en place une structure provisoire constituée de 3 grandes poutres métalliques qui ont été insérées de part et d'autre du bâtiment.

Ces poutres ont été supportées par des cales et chargées à leurs extrémités afin de limiter le moment de flexion et la déformée au centre des poutres : si cette déformée avait été trop importantes, les poutres auraient pu endommager le plafond classé.

Des éléments intermédiaires ont été posés sur ces poutres. Une fois ces éléments en place, le plafond y a été accroché et ensuite désolidarisé de l'ancienne charpente. Par après, le plafond protégé, l'ancienne charpente a pu être démontée et la construction de la nouvelle structure a commencé.

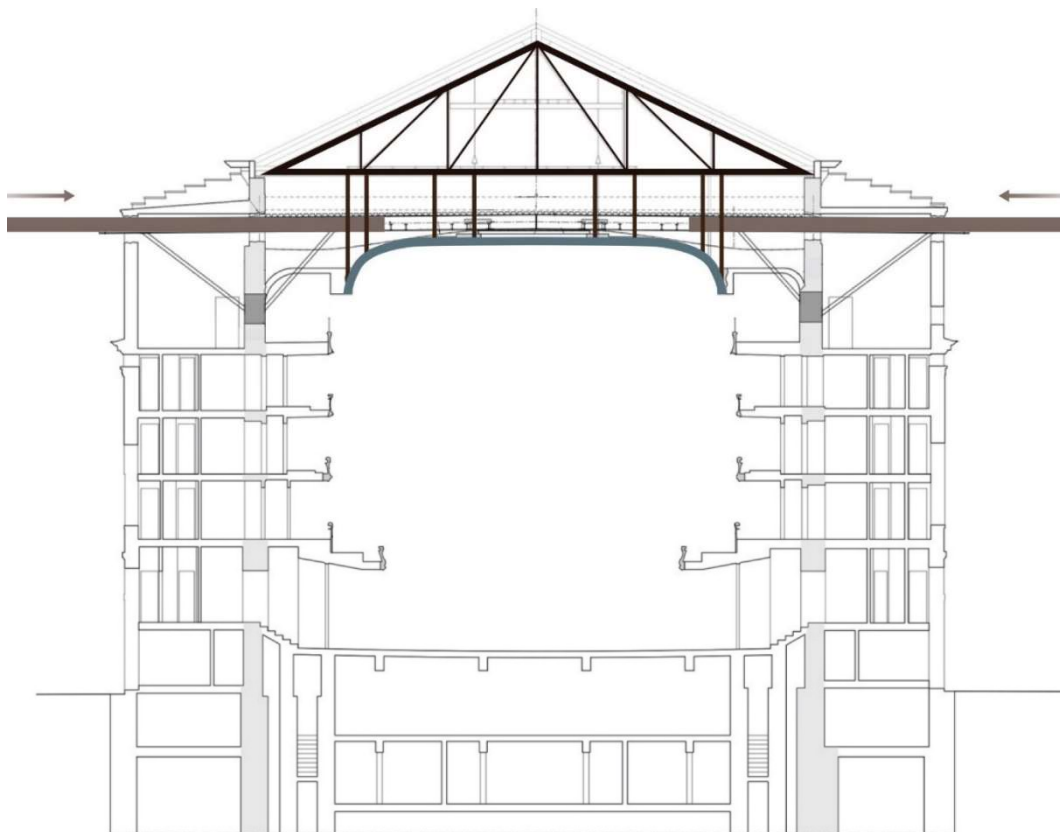


Figure 18: Principes pour la mise en place des nouvelles poutres soutenant le plafond existant (Greisch, 2013)

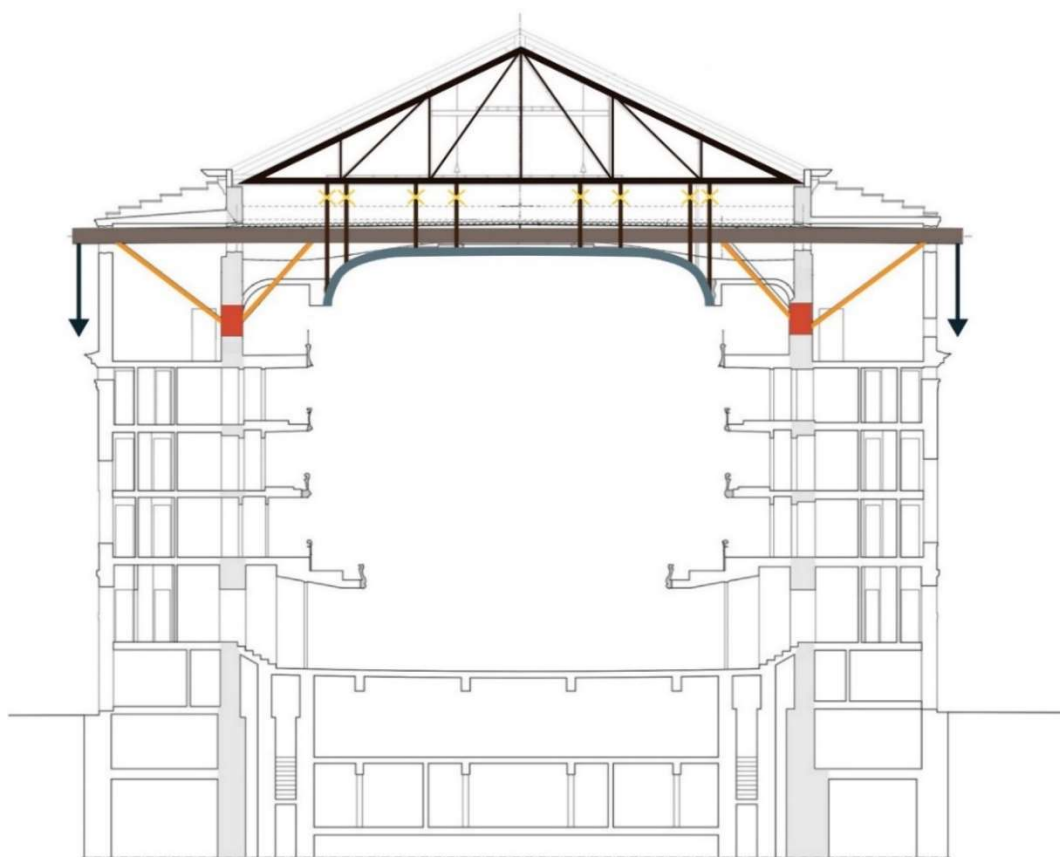


Figure 19: Principe pour transfert du plafond de la structure existante à la nouvelle structure (Greisch, 2013)

Une fois la nouvelle structure en place, les 3 poutres métalliques soutenant le plafond y ont été raccrochées et sciées à leurs extrémités (Closset, 2015).

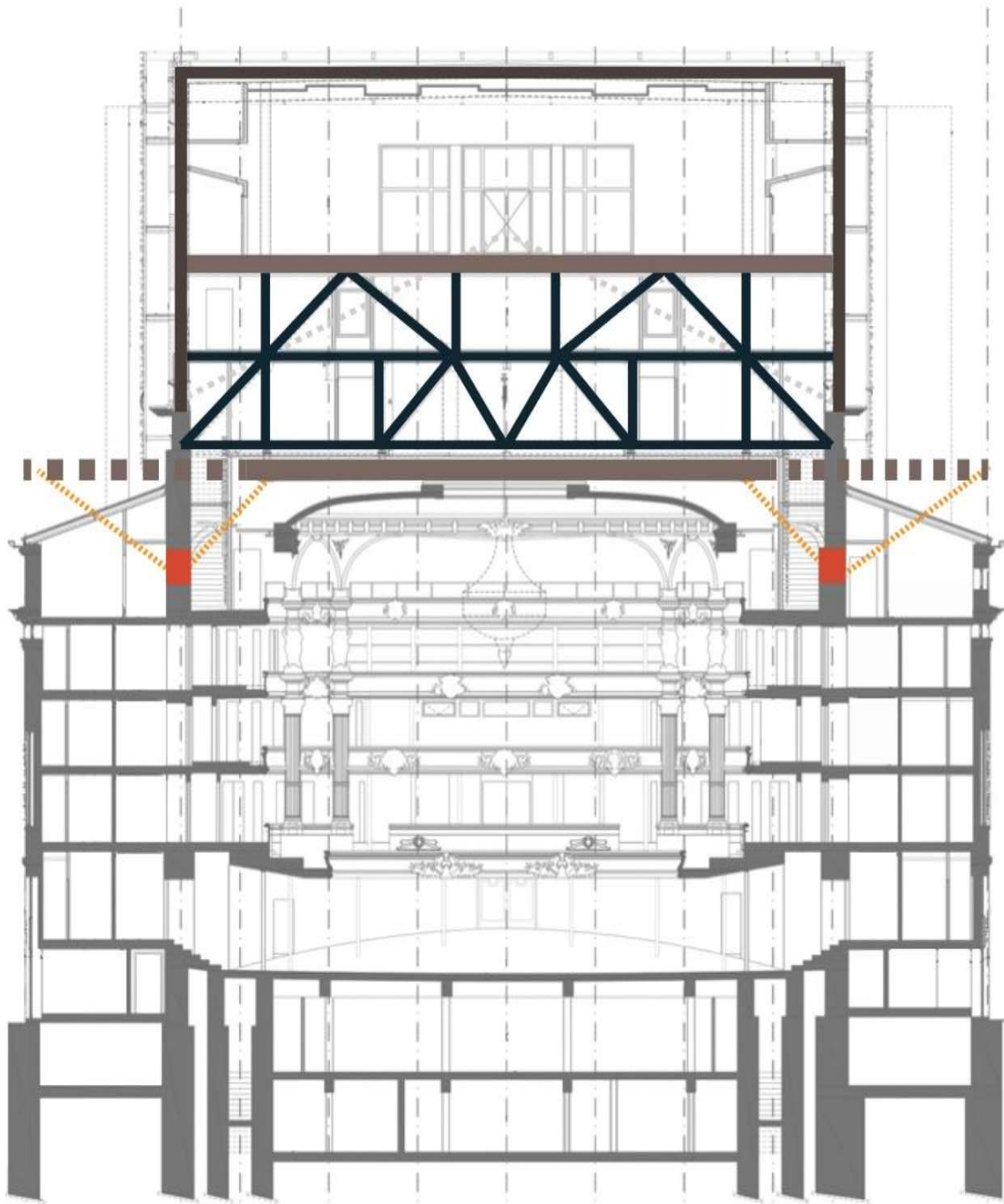


Figure 20: Principe : Élimination des structures temporaires (Greisch, 2013)

### 3.5 MÉTHODOLOGIE

Les bureaux Origin et Greish ont collaboré sur ce projet. Origin s'est occupé des études préalables et de la restauration du bâtiment. La méthodologie établie par le bureau est rappelée dans le point précédent. Les études de stabilité ont été réalisées par le bureau Greisch. Pour ce projet, c'est Philippe Closset, travaillant chez Greisch, qui a été interrogé. On se concentre donc ici sur la méthodologie du bureau Greisch. Les principes suivis par le bureau et relevé lors de l'interview de David de Wolf sont rappelés ci-dessous :



1. L'ingénieur intervient une fois les études préalables réalisées par l'architecte.
2. Les normes ne sont pas des lois.
3. On peut jouer sur les charges mais pas les matériaux
4. Il faut comprendre la structure existante avant toute intervention et créer des modèles représentant la réalité.

Les bureaux ont suivi leur méthodologie : Origin a effectué toutes les études préalables nécessaires (relevés détaillés, étude historique, essais nécessaires...) et une philosophie d'intervention a été mise en place. Le bureau a fourni peu d'information pour ce projet en ce qui concerne l'observation de l'existant et les inspections visuelles.

Le bureau Greisch intervient ensuite, il a suivi ses principes : l'équipe gérant le projet a cherché à comprendre le bâtiment avant d'intervenir, pour pouvoir créer la nouvelle structure sans endommager la structure existante. Les acteurs ont dû faire jouer des dérogations, illustrant leur façon de considérer les normes.

En ce qui concerne la méthodologie pratique établie dans ce travail :

Le bureau Origin s'est chargé des études de restauration et a effectué les études préalables nécessaires (relevés détaillés, recherche documentaire, étude historique,...).

La restauration du théâtre a impliqué de nombreux intervenants spécialisés : architectes, ingénieurs des constructions, du son, de la scène,... ainsi que de nombreux artisans (ébénistes, restaurateurs de peinture, marbres,...). Une équipe pluridisciplinaire a été mise en place.

L'équipe gérant le projet a cherché à comprendre le bâtiment pour pouvoir créer la nouvelle structure sans endommager la structure existante et en s'appuyant sur celle-ci.

Les acteurs ont mis en place une philosophie de restauration en cherchant à rendre au bâtiment son aspect originel en se basant sur des plans et des gravures d'époque après avoir déterminé quelles étaient les valeurs patrimoniales de l'édifice à mettre en évidence (valorisation).

On distingue deux types d'approches : les acteurs ont fait jouer des dérogations pour pouvoir conserver les parties existantes (surtout en ce qui concerne les normes incendies) et ont créé une nouvelle structure (colonnes de béton) intégrée à la structure existante pour reprendre les nouvelles charges induites par la rehausse créée.

Les nouvelles colonnes en béton ne sont pas visibles puisqu'elles sont intégrées à la maçonnerie existante, cette intervention n'est pas réversible.

Je n'ai pas eu d'informations sur la formulation d'une analyse suite aux études préalables, sur le suivi de chantier (le chantier étant terminé depuis quelques temps) ainsi que sur la création d'une documentation précise sur les interventions.



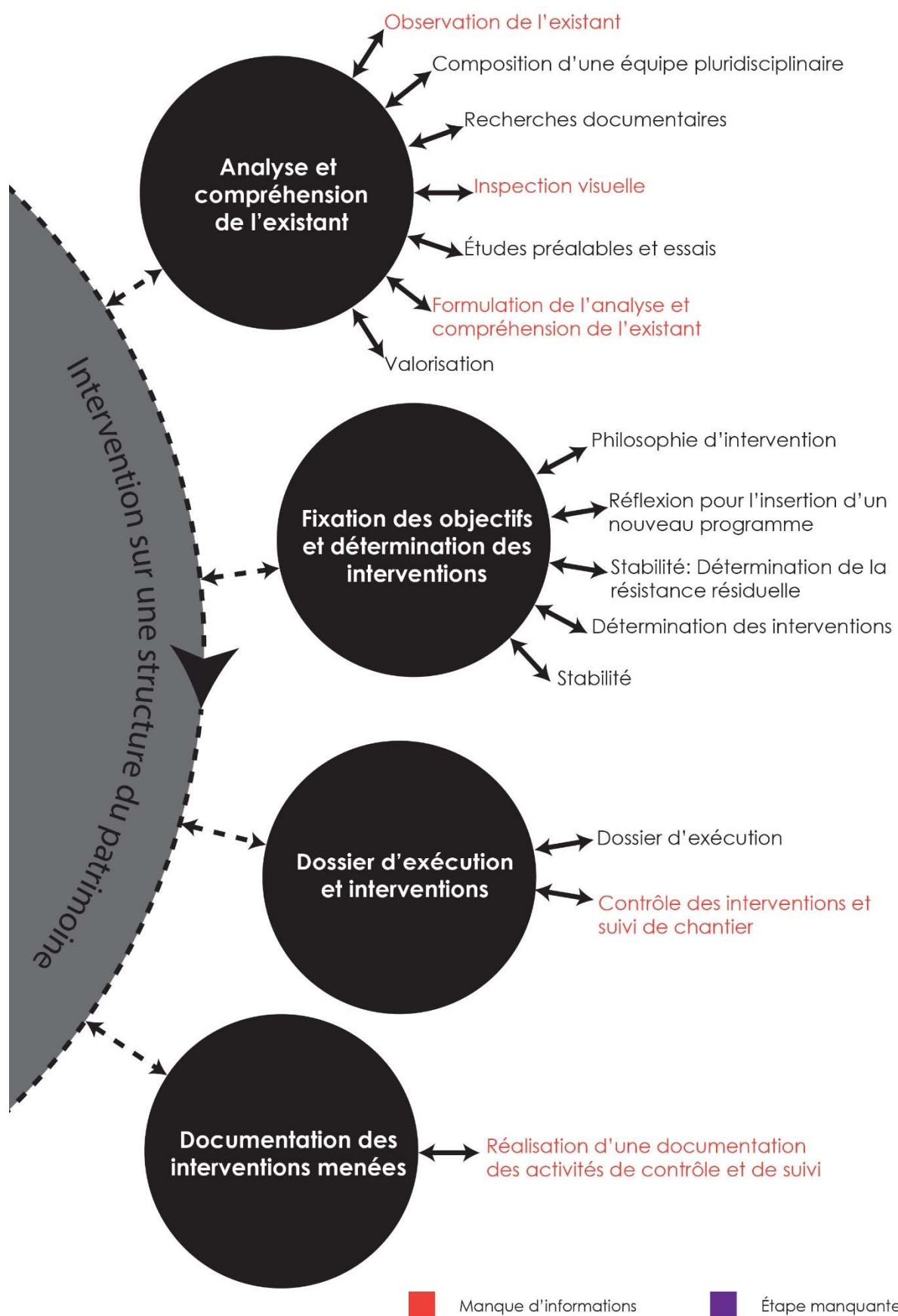


Figure 21: Schéma récapitulatif - Théâtre Royal de Liège

### 3.6 CONCLUSION

Les choix effectués par les bureaux permettent de conserver le bâtiment existant (et la structure existante) tout en les adaptant aux besoins actuels (ajout d'un nouveau volume) et en répondant aux normes en vigueur. Toutefois, ce type d'intervention (création de colonnes en béton intégrées à la maçonnerie) n'est pas réversible.

En se basant sur les études menées par un bureau spécialisé en restauration et rénovation, le pôle stabilité a pu mettre en place des solutions inventives pour intervenir sur le bâtiment tout en conservant la majeure partie de la structure existante et en travaillant pour lui rendre son aspect originel. Le bureau Greisch est également intervenu sur plusieurs chantiers de restauration, il a donc de l'expérience dans le domaine.

En ce qui concerne la démarche à mettre en place pour arriver à cet objectif, elle a été définie pour le bureau Origin et est suivie pour tous les projets. Pour le bureau Greisch, il est plutôt question de principes à suivre et non d'une réelle méthodologie. Ces principes sont respectés dans le cadre de ce projet.

La plupart des étapes de la méthodologie définie dans ce travail se retrouvent dans la démarche suivie par les bureaux, les étapes manquantes sont dues à un manque d'informations.

L'intervention pour conserver le plafond classé de la salle de spectacle souligne l'imagination et la créativité dont doivent faire preuve les ingénieurs lorsqu'ils interviennent sur un bâtiment patrimonial. Cet exemple illustre les propos qui ont été plusieurs fois énoncés lors des interviews, soulignant l'importance de la créativité et de l'expérience des praticiens pour intervenir sur un bâtiment classé.

## 4. MAISON À PAN DE BOIS À EXBOMONT

### 4.1 ACTEURS

- Études de restauration et rénovation : AASA (Bureau des Architectes Associés S.A.)
- Études de stabilité : AASA
- Études archéologiques : Mme Verstraelen
- Architecte : MF Delvaux

---

#### YVES JACQUES ET AASA

Yves Jacques est ingénieur architecte. En 1982, il fonde avec M. Barbason et M. Brévers le bureau des Architectes Associés S.A. Le bureau se diversifie ensuite et un bureau d'étude complémentaire au premier est mis en place. Il reprend les techniques spéciales et les études de stabilité. Le bureau a travaillé sur des projets tels que le théâtre royal de Liège, l'église Saint-Jacques à Liège et l'hôpital Notre Dame à la Rose à Lessines (A.M. Architectes associés S.A., s.d.).

### 4.2 HISTORIQUE ET PRÉSENTATION DU BÂTIMENT

La ferme, construite vers le milieu du 18<sup>ème</sup> siècle, est située sur la commune de Stoumont au lieu dit La Gleize. Elle a été classée au Patrimoine rural le 22 mai 1992 (les façades, pignons et toitures de la maison). Elle réunit un logis, une étable et une grange sous une grande toiture en bâtière débordante, en ardoises et en tuiles (Institut du patrimoine wallon, 2014 ; SPW-DGO4, 2016).

C'est une construction en pan de bois remplis par un hourdage de torchis tenu par des éclisses. Une partie du hourdage a été remplacé par des blocs de béton ou des briques (façades nord-ouest et sud-ouest) lors d'une précédente rénovation.

Le bâtiment s'organise sur trois travées (le schéma représente les axes des pans de bois constituant le bâtiment) : la première (A-B) comprend le logis (constitué d'une cave, et de deux niveaux d'habitation), la deuxième partie (B-C) comprend l'étable et la dernière (C-D) abrite le fenil. Ces travées ont été repérées de cette façon par le bureau afin de faciliter la compréhension et les échanges (A.M. Architectes associés S.A., s.d.).

Le dossier d'exécution de ce projet est terminé mais le chantier n'a pas encore commencé.



Figure 22: Maison à pan de bois (Institut du patrimoine wallon, 2014)

#### 4.3 DEMANDE ET PHILOSOPHIE

Le bureau est chargé de la restauration et de la consolidation des structures en pan de bois de la maison.

Les intervenants désirent conserver autant que possible le bois en place et la structure existante. Toutefois, l'architecte souligne que : « Pour continuer à vivre, le patrimoine doit s'adapter » (Jacques, 2016). Une nouvelle structure métallique a été créée afin de soutenir la structure existante et de répondre aux normes actuelles (A.M. Architectes associés S.A., s.d.).

#### 4.4 INTERVENTIONS

La structure est en mauvais état. Les travaux de rénovation (hourdage remplacé par des blocs de béton) qui ont été effectués sont inadaptés à ce type d'ossature et en sont en partie responsables.

Avant toute intervention, des relevés doivent être réalisés. L'entrepreneur est chargé de réaliser un relevé précis du bâtiment existant. Celui-ci permettra, par la suite, de construire les nouveaux

éléments et de savoir comment ils s'insèrent dans la construction actuelle. En effet, on considère ici que les dimensions figurant sur les plans ne sont qu'indicatives et ne peuvent donc servir de base.

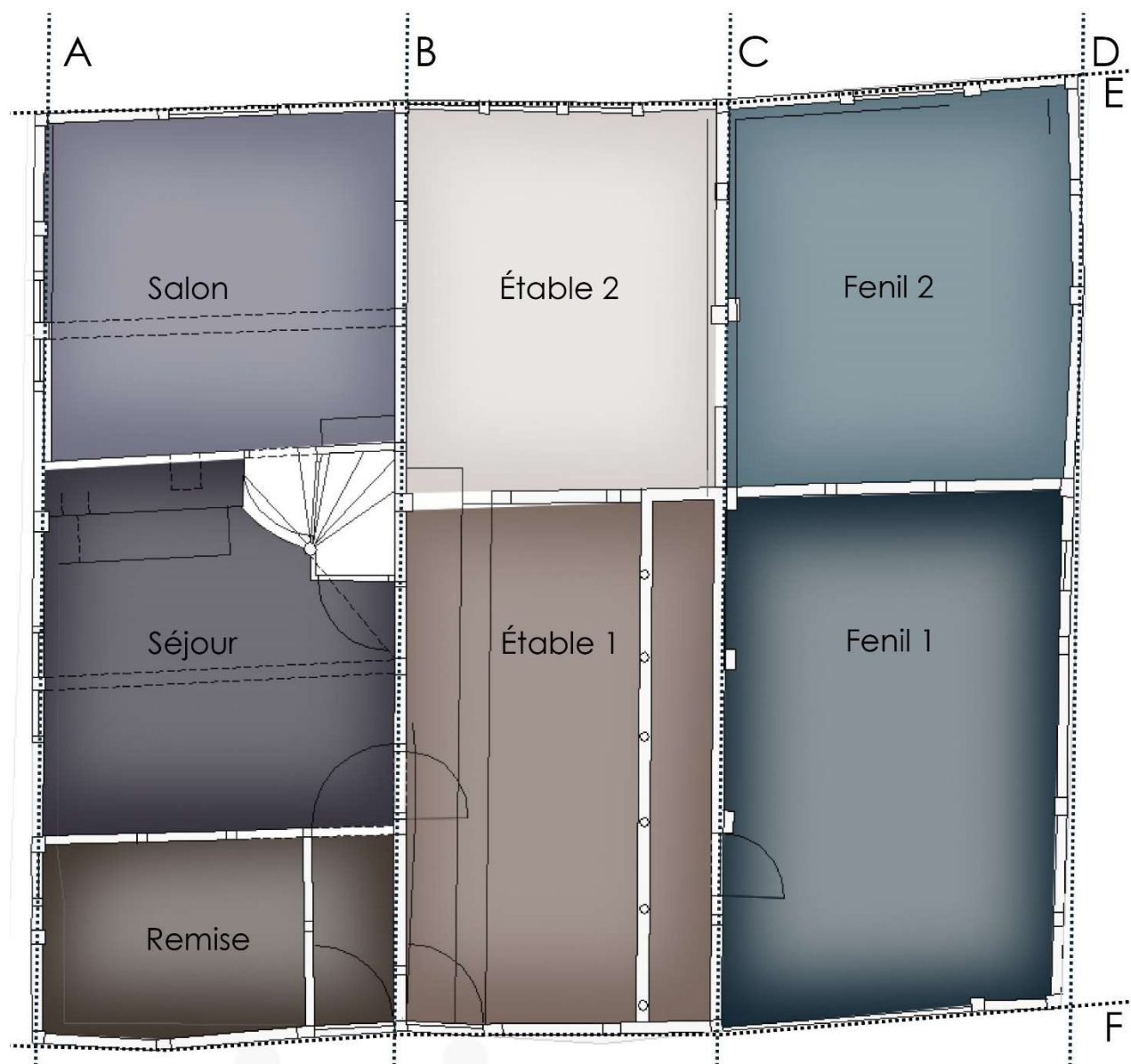


Figure 23: Maison à pan de bois - RDC (A.M. Architectes associés S.A., 2016)

Le bureau a effectué un relevé systématique des éléments constituant la structure. Ils ont été numérotés et repris dans un tableau. De plus, chacun de ces éléments fait l'objet d'une fiche signalétique reprenant l'état de ceux-ci, les travaux à prévoir pour leur restauration ou les informations nécessaires s'ils doivent être remplacés. Ces fiches pourront être complétées ou modifiées au fur et à mesure des travaux.

Ces relevés permettent de bien comprendre le bâtiment et la structure existante.

Plusieurs interventions sont nécessaires et doivent être menées.

D'abord, les structures en pan de bois seront restaurées et consolidées. Après avoir enlevé le torchis (uniquement là où c'est nécessaire), il est prévu d'utiliser la technique de greffon ou de la résine. Si ces deux techniques ne s'appliquent pas, des renforts métalliques (si possibles invisibles) pourront être utilisés pour les pièces en bois. Si les éléments sont trop endommagés, ils seront remplacés : on prévoit par exemple de remplacer toutes les sablières. Même si la volonté est de conserver autant que faire se peut les éléments existants, celles-ci sont de façon générale trop abimées pour pouvoir être conservées. Néanmoins, il est prévu de fonctionner au cas par cas et de décider sur chantier lesquelles sont à remplacer et si certaines peuvent être conservées.

Le support en maçonnerie doit être réparé (mortier de chaux).

Ensuite, une structure métallique (de forme poutres-colonnes de type H) sera installée pour former des supports horizontaux qui pourront soutenir un plancher intermédiaire. Cette structure remplace les structures détruites et soutient les pannes de toiture ainsi que les poteaux existants (sur les axes B, C et D). Elle est calculée pour reprendre les contraintes extérieures (vent et neige). Les fondations sont des plots de béton coulés sur place. Cette structure est en quelque sorte « une béquille intérieure » pour soutenir le bâtiment.

Il a été décidé de fonctionner avec une nouvelle structure car elle permet de libérer l'espace intérieur (l'acier permet de travailler avec des éléments beaucoup plus fins que le bois) tout en remplissant les normes actuelles pour le logement en termes de charge d'utilisation (en vue d'une utilisation future). La réversibilité est permise grâce à ce type de matériau : les fixations sont ponctuelles, peu nombreuses et altèrent peu la structure existante. De plus, une structure en acier sera clairement identifiable par rapport à la structure existante. Enfin, il n'y pas de trace de ce qui existait auparavant, il est donc difficile de reconstituer ce qui a existé.

Les éléments de charpente présentent de grandes déformations (dues au fluage important du bois). Les couvertures de toiture seront démontées afin de décharger ces charpentes.

Le hourdage en blocs de béton et en briques doit être démonté et remplacé par du torchis.

Une partie des façades sud-ouest et nord-ouest est démontée (il faut penser à protéger l'intérieur et donc à mettre en place une structure d'échafaudage avec toiture permettant de protéger l'ensemble de la construction durant les travaux). Ces deux façades présentent des désordres importants : elles ont été fort déformées. Il est prévu de les reconstruire sans cette déformation.

La structure de l'axe C doit être démontée, ainsi que la façade nord-ouest. Lors du démontage, on relèvera et marquera les bois qui pourront être récupérés et reposés à l'emplacement qu'ils occupaient.

Le hourdage doit être refait à l'aide de torchis sur éclisses ou de briques d'argile maçonnées dans les panneaux.

Les assemblages sont de type tenons-mortaises. Certains tenons doivent être recréés (A.M. Architectes associés S.A., s.d. ; Jacques, 2016).



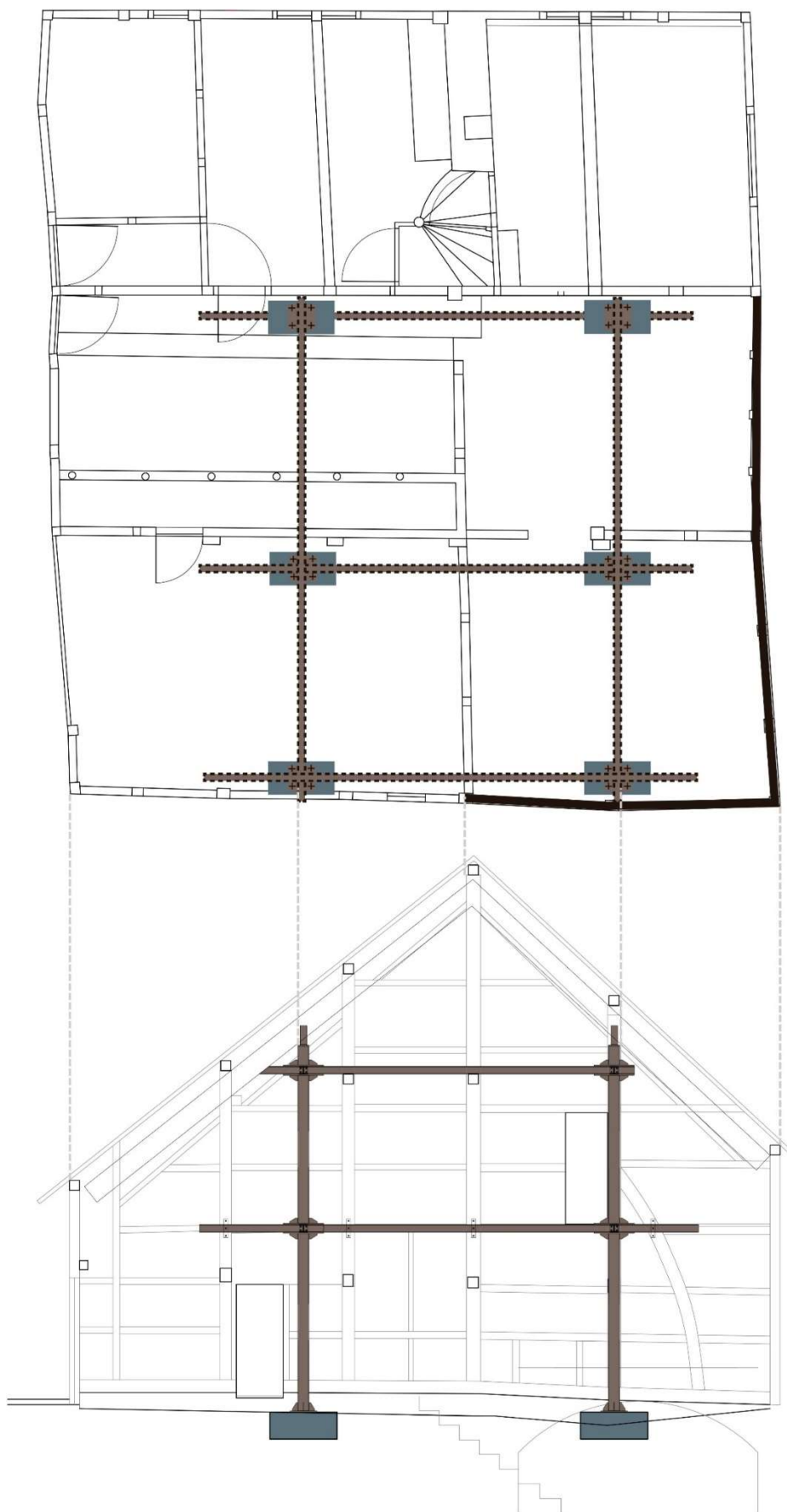


Figure 24: Nouvelle structure métallique (A.M. Architectes associés S.A., 2016)

## 4.5 MÉTHODOLOGIE

La méthode suivie par Yves Jacques (qui est celle donnée par André Lejeune) est rappelée ci-dessous :

1. Relevé détaillé
2. Consulter des historiens de l'art et les archives
3. Étudier le comportement du bâtiment
4. Stabilité

Le bureau a suivi les principes qu'il a mis en place sur ce projet : il a effectué toutes les études préalables nécessaires (relevés détaillés, études historique et archéologique, ...), il a étudié le bâtiment existant afin de le comprendre ainsi que son fonctionnement structural. Cependant, la stabilité du bâtiment existant n'a pas été réalisée. Seule la nouvelle structure métallique a été dimensionnée. Néanmoins, éliminer cette étape amène des incertitudes quant au fonctionnement structural du bâtiment qui pourraient devenir préjudiciables.

En ce qui concerne la méthodologie pratique établie dans ce travail :

Une équipe pluridisciplinaire a été créée (ingénieurs, architectes, ...).

Le bureau a effectué des études préalables (relevés détaillés, étude historique,...). Les intervenants ont donc cherché à comprendre le bâtiment. Néanmoins, la structure existante (en pan de bois) n'a pas été vérifiée et recalculée et seule la structure métallique a été dimensionnée. Les ingénieurs se sont sans doute basés sur le mauvais état de la structure (qui doit subir de nombreuses restaurations et même être remplacée à certains endroits) et sur leur expérience.

L'équipe gérant le projet a cherché à comprendre le bâtiment pour pouvoir créer la nouvelle structure sans endommager la structure existante.

Il y a eu une certaine réflexion pour l'insertion d'un nouveau programme, la structure métallique étant dimensionnée pour la charge d'utilisation du logement (Jacques, 2016).

Après avoir identifié les valeurs du bâtiment à mettre en évidence, le bureau a élaboré une philosophie de restauration (conserver autant que possible l'existant) et met en application les principes de la charte de Venise (pour la nouvelle structure métallique notamment).

Deux types d'interventions sont prévues : des renforcements (et la restauration) des pans de bois et la création d'une nouvelle structure.

La plupart des renforcements seront visibles (greffons et résine). La nouvelle structure mise en place permet de respecter les normes actuelles et de conserver un maximum de la structure existante.

La nouvelle structure créée est en acier car ce type de matériau assure la réversibilité de l'intervention : les fixations sont ponctuelles, peu nombreuses et endommagent peu la structure existante.

De plus, une structure en acier sera clairement identifiable par rapport à la structure existante qui gardera sa lisibilité.

Le chantier n'ayant pas encore commencé, je n'ai pas d'information sur le suivi de chantier ni sur la création d'une documentation précise suite aux interventions. Je n'ai pas eu non plus d'information sur la formulation d'une analyse suite aux études préalables.

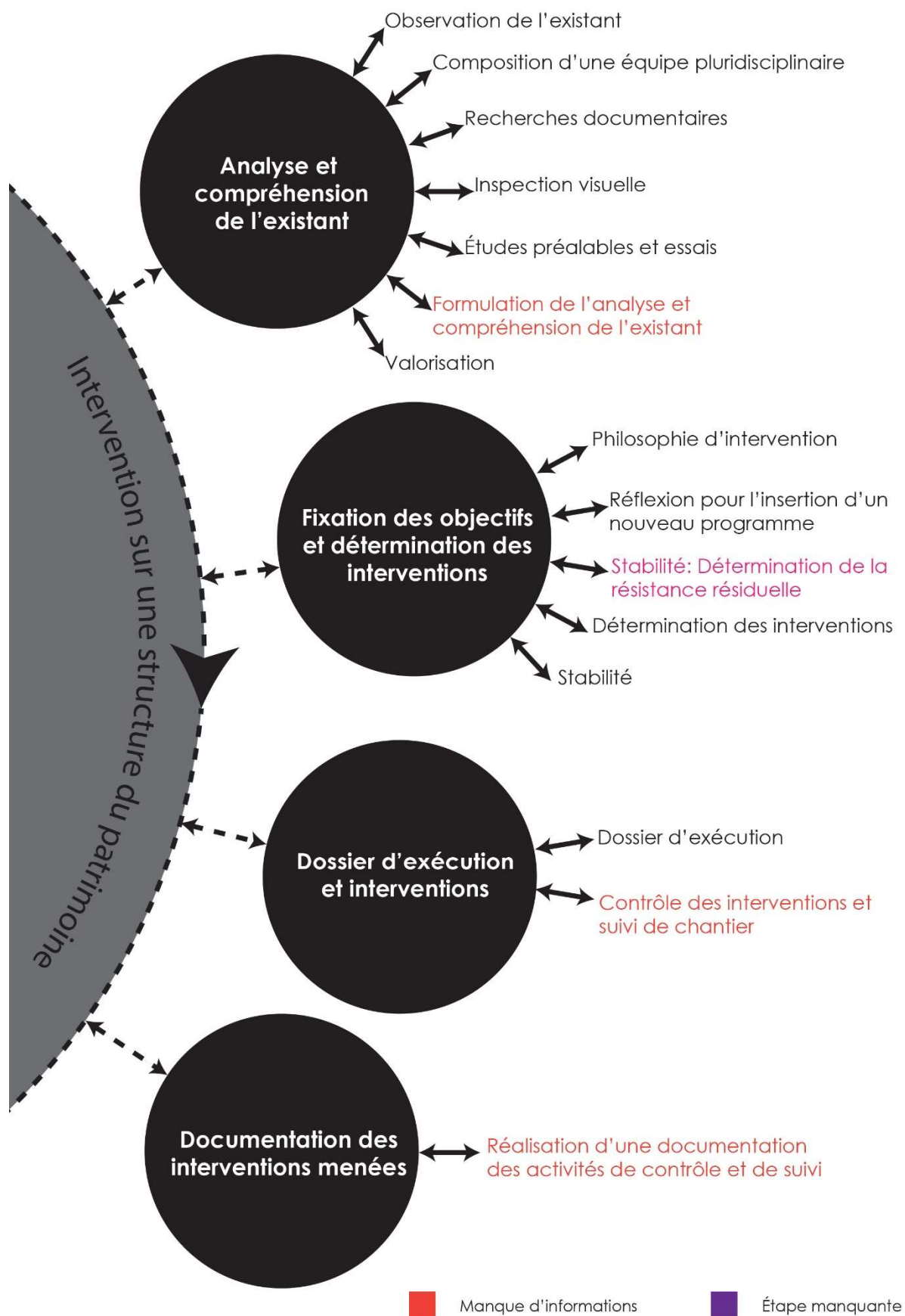


Figure 25: Schéma récapitulatif - Exbomont



#### 4.6 CONCLUSION

Il est prévu de reconstruire les façades sud-ouest et nord-ouest sans leur déformée. N'aurait-il pas été intéressant de conserver celle-ci qui témoigne de l'évolution du bâtiment au cours du temps ? C'est ce que prône l'article 3.16 de la charte de Victoria Falls (ICOMOS, 2003).

Les choix effectués par le bureau permettent de conserver le bâtiment existant (et donc la structure existante) tout en les adaptant aux besoins actuels et en répondant aux normes exigées. De plus, l'intervention proposée est réversible (nouvelle structure métallique).

Le bureau a mis en place des principes qu'il suit pour tous ses projets. Ces principes sont relativement bien suivis dans le cadre de ce projet. Néanmoins, la structure existante n'a pas été vérifiée.

Plusieurs aspects de la méthodologie définie dans ce travail se retrouvent dans la démarche suivie par le bureau. Il manque néanmoins la première phase de stabilité pour déterminer la résistance résiduelle.

Le bureau est intervenu plusieurs fois sur des bâtiments patrimoniaux (Notre-Dame à la rose à Lessines, ...), il a donc de l'expérience dans le domaine.

Le bureau se charge à la fois de la stabilité et de l'architecture, ils tentent donc, pour tous leurs projets, de garder l'équilibre entre le respect des normes et la conservation de la structure.

Comme pour le bureau Origin, le fait que le bureau allie architecture et ingénierie permet d'assurer une communication efficace entre l'architecte et l'ingénieur et ce presque en permanence. Cela permet également d'éviter toute forme de surenchère ou d'incompréhension.

#### 5. HOTEL DESOËR DE SOLIÈRES



Figure 26: Hôtel Desoër de Solières

### 5.1. ACTEURS

- Étude de restauration : BAG
- Études de stabilité : BEG (bureau d'étude Greisch)
- Entreprise : Galère (travaux de gros œuvre, démolition, reconstruction de la structure, restaurations)
- Charpentes : Liégeois
- Sculpture sur pierre : Atelier Jean-Loup Bouvier
- Maître d'ouvrage : ministère wallon de l'Équipement et des Transports

---

#### BAG

Le bureau a été fondé par Philippe Greisch en 1991 (Bag, s.d. ; Greisch, 2015).

Le bureau a travaillé sur des projets tels que le kiosque du parc de l'Harmonie à Verviers, la tour cybernétique de Nicolas Schöffer à Liège et l'hôtel Desoër de Solières à Liège.

### 5.2 HISTORIQUE ET PRÉSENTATION

L'hôtel Desoër de Solières a été construit entre 1555 et 1561 par Guillaume d'Eldereren, haut dignitaire ecclésiastique, et est attribué à l'architecte liégeois Lambert Lombard. Il est situé à côté de l'hôtel de Bocholtz non loin de la place Saint-Lambert à Liège. Il allie gothique et renaissances italienne et mosane.

En 1794, il est saisi comme bien national puis rendu au propriétaire en 1797. En 1882, il devient la propriété de la baronne Adèle Wittert, épouse d'Oscar Desoër de Solières.

Il ne subit pas de modifications majeures jusqu'au 19ème. En 1828, l'angle de la rue Haute-Sauvenière subit un nouvel alignement qui entraîne la fermeture de l'entrée cochère (murée) et un nouveau porche est placé place Saint-Michel.

Dans les années 1919-1920, le rez-de-chaussée du bâtiment est éventré pour y mettre des vitrines commerciales et les fenêtres donnant sur la place Saint-Michel sont élargies et recentrées. Les jardins et fontaines sont supprimés.

Le bâtiment est classé au patrimoine immobilier de Wallonie en 1963 ce qui sauva le bâtiment de la démolition lors des grands travaux qui ont bouleversé la place Saint-Lambert.

En 1995, alors que l'édifice vient d'être acquis par la région wallonne, un incendie détruit la charpente du 16e siècle de l'aile de la rue Haute-Sauvenière ainsi que la plupart des planchers et le grand escalier. De plus, cet incendie a fortement endommagé les façades. Le rez-de-chaussée était quant à lui depuis longtemps défiguré par les activités commerciales et il ne restait pour ainsi dire rien des décors intérieurs : l'état de délabrement du bâtiment était préoccupant.

Restauré au début des années 2000 par le bureau Greish, il accueille depuis 2003 l'Espace Wallonie de Liège.

Les anciennes façades sont en maçonnerie, et la pierre utilisée est du tuffeau de Maastrich (Herman, 2003).

### 5.3 DEMANDES ET PHILOSOPHIE DE RESTAURATION

Le bureau Greisch était chargé de la sauvegarde, de la restauration et de la réhabilitation de l'hôtel. Il a également conçu une nouvelle extension contemporaine, qui a été voulue légère et transparente

pour s'intégrer au mieux dans le site. Le bureau a également été chargé d'aménager les abords et de contacter les différentes administrations du patrimoine et de l'urbanisme.

La philosophie adoptée a été de reconstruire le bâtiment qui a été fort endommagé lors de l'incendie et d'en retrouver l'aspect originel (Bag, s.d. ; Greisch, 2015).

#### 5.4 INTERVENTIONS

Comme dit précédemment, l'incendie de 1995 a entraîné des dégradations importantes au niveau des façades, les tuffeaux ont explosé sous l'action de la chaleur.

Après avoir effectué des relevés photogrammétriques, la façade donnant sur la rue Haute-Sauvenière et le pignon devant la place Saint-Michel ont été complètement démontés et reconstruits.

Certains tuffeaux ont été récupérés lorsque cela était possible et nettoyés au laser. Les éléments décoratifs (mascarons, ...) en tuffeau de Maastricht ont été déposés et restaurés. Certains éléments étant trop abîmés, ils ont été reconstitués à l'identique. Ainsi, les mascarons rue Haute Sauvenière ont été remplacés par des copies et les originaux sont désormais protégés à l'intérieur.

Les seuils et les linteaux en pierre bleues qui avaient été posés au 20ème ont été remplacés par de nouveaux en tuffeau car un fragment de seuil de fenêtre avec sa mouluration a été déposé.

La poutre de ceinture créée par Henri Debras a été refaite lors de la restauration.

Le mauvais état de conservation des structures et des éléments de décors intérieurs ont conduit l'architecte à vider complètement le volume intérieur de l'hôtel et à créer une nouvelle structure portante reposant sur de nouvelles fondations. Celle-ci est indépendante de la structure existante et se compose de planchers et de colonnes en béton dans lesquelles passent toutes les nouvelles techniques (ventilation, chauffage, réseaux électriques et informatique) nécessaires à la nouvelle fonction du bâtiment : des bureaux. Ainsi, les anciennes façades de tuffeau ne sont plus porteuses.

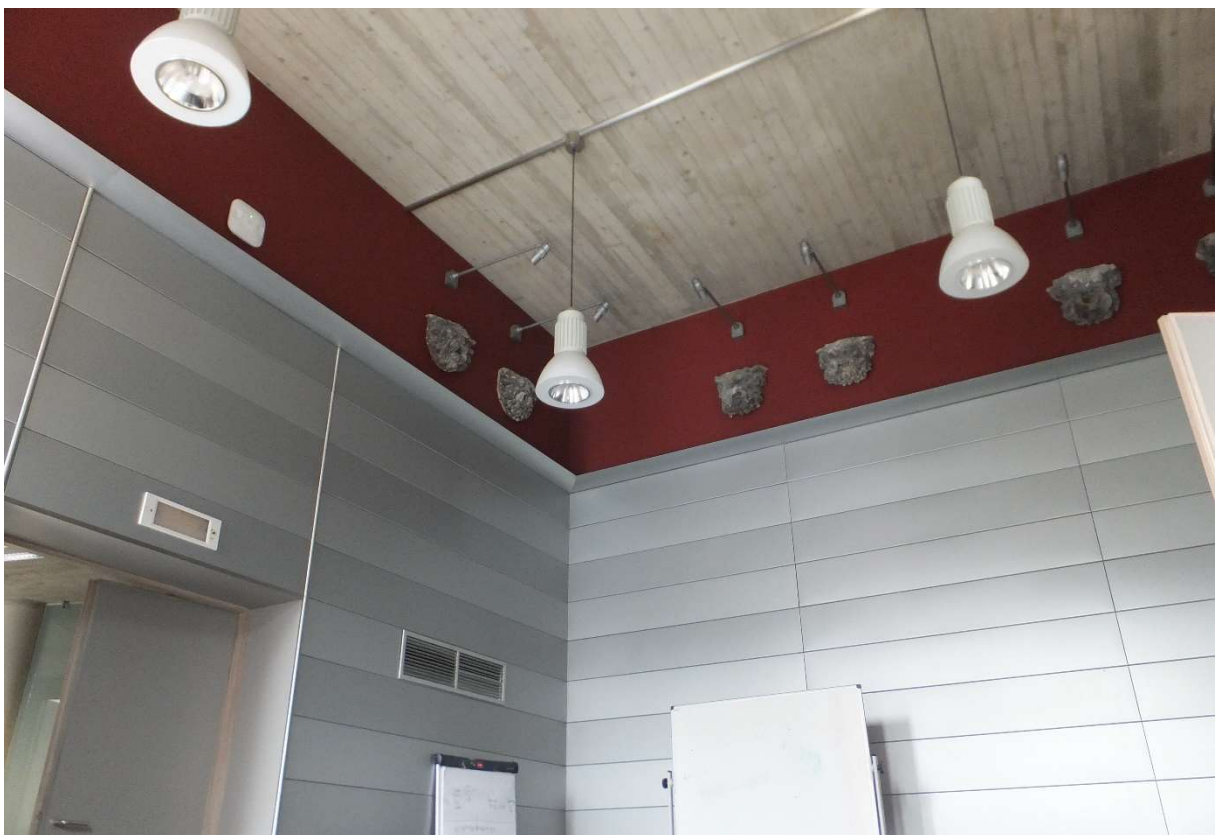
Le bureau a créé de « grand plateaux » séparés par des cloisons entièrement vitrées.

Les dépendances entre les deux hôtels (Desoër et de Bocholtz) ont été démolies, ce qui a permis de créer un nouveau bâtiment et donc d'accroître la surface utile du bâtiment. L'architecte a créé un grand volume cylindrique vitré qui assure l'articulation entre les deux hôtels et contient un ascenseur panoramique. Toutes les nouvelles techniques y sont concentrées. L'architecte a créé une forme cylindrique : selon lui (il reconnaît que c'est subjectif), ce volume paraît « prendre moins de place » qu'un parallélépipède rectangle (même si cette forme n'est pas la plus adaptée pour les expositions). Le verre renforce l'idée de transparence pour laisser la place à l'ancien bâtiment et intégrer au mieux la nouvelle extension.

Tous les châssis ont été remplacés, il n'y avait aucune trace des châssis d'origine (Bag, s.d ; Greisch, s.d. ; Greisch, 2015 ; Herman, 2003).



**Figure 27: Techniques insérées dans la nouvelle extension**



**Figure 28: Salle de réunion – Mascarons d'origine**

## 5.5 MÉTHODOLOGIE

Les informations recueillies concernant la méthodologie suivie par le bureau de Philippe Greisch sont parcellaires, il manque donc d'information pour définir si le bureau suit ses principes.

En ce qui concerne la méthodologie pratique établie dans ce travail :

Le bureau a effectué toutes les études préalables nécessaires (relevés, étude historique,...). Les intervenants ont utilisé de nombreuses techniques propre à la restauration (dendrochronologie, relevés photogrammétriques pour les façades, nettoyage au laser, analyse chromatique pour les tuffeaux, épinglage - insertion de barres en inox adhérentes, greffon pour les pierres, ...).

La restauration de l'hôtel a impliqué de nombreux intervenants spécialisés : architectes, ingénieurs,... ainsi que de nombreux artisans (sculpteurs,...).

Il est difficile de parler ici de compréhension du fonctionnement du bâtiment et de sa structure étant donné qu'il était fortement endommagé et que la plupart des structures internes avaient disparu. De plus, les murs extérieurs ont été démontés et reconstruits.

Un nouveau programme a dû être intégré. Néanmoins, encore une fois, il restait peu de l'intérieur du bâtiment existant.

Le bureau a également mis en place une philosophie de restauration en cherchant à rendre au bâtiment son aspect extérieur originel, après avoir déterminé quels étaient les éléments à mettre en valeur.

On distingue deux types d'interventions : d'abord le démontage et la reconstruction des façades, ensuite la création d'une nouvelle structure interne et d'une nouvelle extension.

L'article 3.14 de la Charte de Victoria Falls préconise d'éviter la dépose autant que possible et l'article 3.17 d'éviter le démontage et la reconstruction (ICOMOS, 2003). Cette solution a été acceptée dans la mesure où on considère que la Renaissance est une période de « façadisme » et donc que la façade est un simple décor (Greisch, 2016).

Le comité de restauration a préféré utiliser du tuffeau plutôt que du béton préfabriqué ayant le même aspect pour les façades. Se pose alors la question de savoir comment il sera possible d'identifier le tuffeau originel du tuffeau placé lors de la restauration dans les années à venir. L'intervention n'est ici clairement pas identifiable.

On pourrait se questionner à propos de la pertinence de conserver une structure qui n'assure plus sa fonction porteuse (les murs extérieurs ne sont plus porteurs) et sur la conservation de l'intégrité de la structure.

La création d'une nouvelle extension permet d'augmenter la surface utile du bâtiment et d'y intégrer les nouvelles techniques nécessaires (ascenseurs, ...). Cette solution permet de contourner la difficulté d'intégrer toutes les nouvelles techniques à un bâtiment existant (où faire passer les gaines techniques, où placer les ascenseurs, ...) qui peuvent être très contraignantes. Alain Dirix (2015) soulignait ce fait dans son interview.

La plupart des planchers et des murs intérieurs ainsi que les charpentes ayant disparus, une nouvelle structure interne a été créée.

En accord avec l'article 12 de la Charte de Venise (ICOMOS, 1964), l'extension créée est clairement identifiable. Selon l'article 13 de la même charte, une adjonction est tolérée si elle respecte l'édifice

et son cadre. C'est le cas ici, l'architecte a voulu créer une extension très « transparente » afin de mettre en valeur l'édifice patrimonial.

Il manque d'information concernant l'observation de l'existant, la formulation d'une analyse suite aux études préalables, le contrôle des interventions et suivi de chantier ainsi que de la création d'une documentation précise sur les interventions.



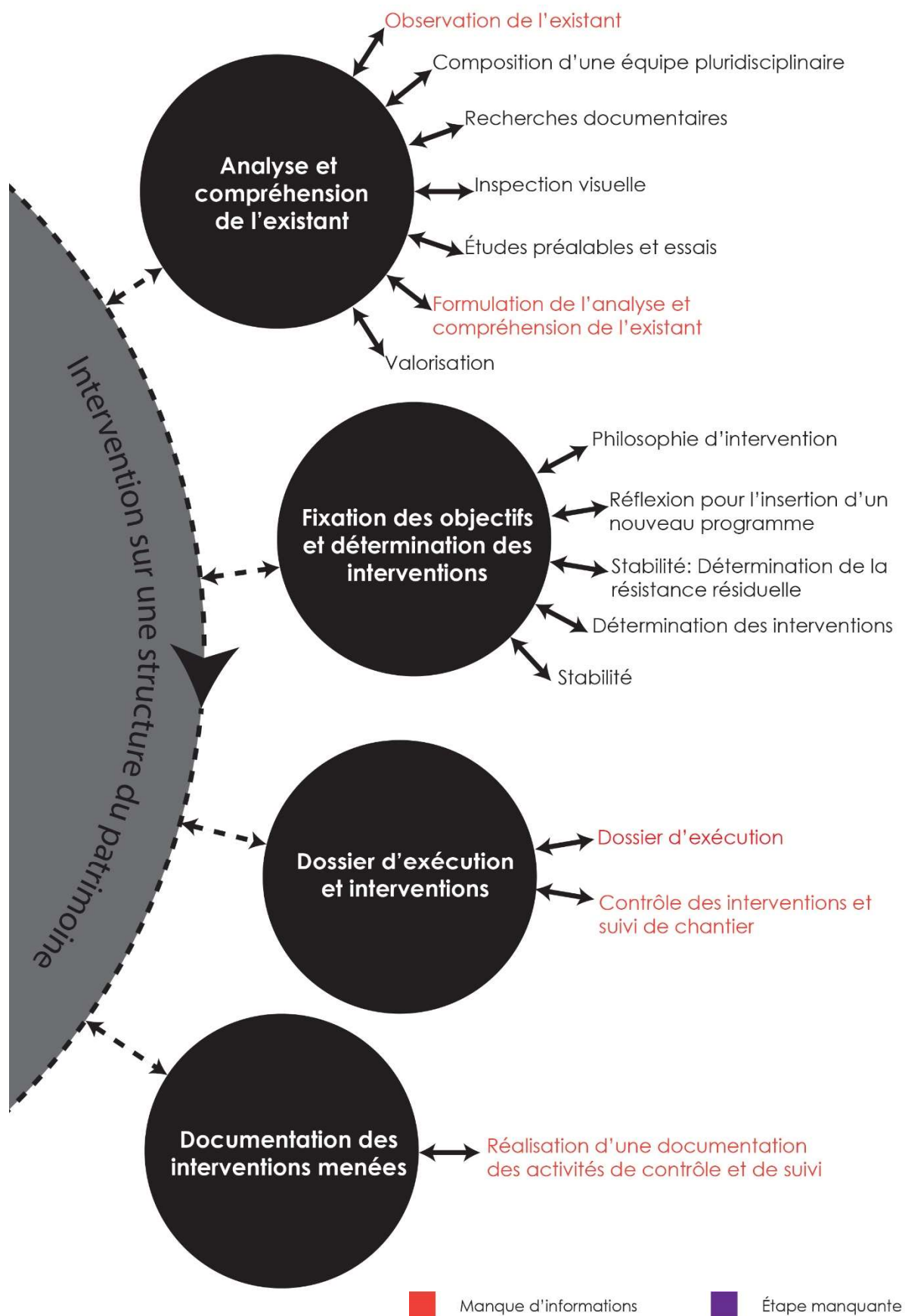


Figure 29: Schéma récapitulatif - Hôtel Desoër

## 5.6 CONCLUSION

Les choix effectués par le bureau Greish permettent de conserver l'enveloppe du bâtiment existant. En ce qui concerne la structure, les façades autrefois porteuses ne le sont désormais plus : la nouvelle structure interne créée est devenue la structure porteuse. On pourrait se questionner à propos la conservation de l'intégrité de la structure, préconisée par les chartes (Article 3.12 de la charte de Victoria Falls) (ICOMOS, 2003).

La structure existante perd donc « son sens », les murs ne soutenant plus que leur propre poids. De plus, ils ont été démontés et reconstruits (Article 3.14 et 3.17 de la Charte de Victoria Falls) (ICOMOS, 2003).

Néanmoins, cette intervention permet de sauver le bâtiment qui était dans un état critique et cette solution permet d'adapter le bâtiment à ces nouvelles fonctions et de répondre aux normes actuelles exigées.

Plusieurs étapes de la méthodologie définie dans ce travail se retrouvent dans la démarche suivie par le bureau, elle est bien suivie, les étapes manquantes sont dues à un manque d'information.

Le bureau a travaillé sur quelques projets de restauration du patrimoine (kiosque à Verviers, tour cybernétique à Liège, ...). Il a de l'expérience dans le domaine.

## 6. CHARPENTES DU TRANSEPT DE LA CATHÉDRALE DE TOURNAI

### 6.1 ACTEURS

- Maître de l'ouvrage : Province de Hainaut
- Auteur de projet : V. Brunelle
- Entreprise : Monument

### 6.2 HISTORIQUE ET PRÉSENTATION

Située non loin de la rive gauche de l'Escaut, la cathédrale Notre-Dame (Unesco, s.d.) domine de ces cinq tours la partie ancienne de la cité scaldienne. Elle est le témoin de l'architecture occidentale médiévale, qui marque le passage du roman au gothique.

Depuis le V<sup>ème</sup> siècle, six édifices se sont succédé à l'emplacement de la cathédrale actuelle. Sa construction remonte principalement aux XII<sup>ème</sup> et XIII<sup>ème</sup> siècles. Elle fut consacrée le 9 mai 1171.

Les charpentes furent réalisées de 1142 à 1150.

La cathédrale a toujours fait l'objet de travaux, que ce soit pour l'embellir, effacer les méfaits du temps, du climat, des événements,... ou pour rendre l'édifice plus spacieux. Le chœur roman étant devenu trop exigü, un chœur gothique est construit à partir de 1243 et est achevé vers 1260. La cathédrale subit ensuite toute une série de transformations au cours des siècles suivants (adjonction du porche occidental, établissement de la chapelle paroissiale,...). À partir de 1784, la cathédrale fait l'objet d'une restauration générale jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

Enchâssée dans le tissu urbain, elle est partiellement dégagée de constructions parasites au XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècle.





**Figure 30: Extrémité du transept – Tour Saint Jean et tour Brunin**

La cathédrale subit également de nombreux troubles (mise à sac en 1566 détruisant la plus grande partie du décor médiéval, tremblement de terre en 1692 détruisant un arc-boutant du chœur, destruction et pillage du mobilier intérieur lors de la révolution française,..). En mai 1940, la ville de Tournai subit un intense bombardement allemand qui incendie la charpente de la nef et la chapelle paroissiale Notre-Dame. Cette chapelle de style gothique et datant du début du XVI<sup>e</sup> siècle est aujourd'hui disparue.

Après avoir subi une tornade le 14 août 1999, la cathédrale de Tournai a montré un déséquilibre dont souffrent le chœur et le transept. Des mesures provisoires ont été prises pour le stabiliser. Suite à cet événement, la ville de Tournai, Ideta (Agence intercommunale de développement), la Province de Hainaut et l'Évêché ont établi ensemble un projet de revitalisation de l'édifice et de son quartier afin de redéployer économiquement la Cité des Cinq Clochers grâce à ses atouts culturels et patrimoniaux.



Figure 31: Extrémité du transept – Tour Marie et tour de la Treille

Le 30 novembre 2000 la cathédrale est classée au patrimoine mondial de l'UNESCO, mettant en évidence la qualité architecturale de l'édifice.

En 2006, un schéma directeur établit le projet de restauration globale, sur 20 ans de la cathédrale et des bâtiments annexes.

Depuis, des experts étudient des solutions techniques pour consolider le chœur tandis que la restauration de la nef romane et du transept avance.

En 2008, la première phase de restauration, déclinée en 4 opérations, a pu commencer. La première étape est focalisée sur la restauration des murs extérieurs de la nef romane et le rétablissement des toitures en plomb (comme à l'origine).

En 2013, la deuxième étape concernant la rénovation des murs et des toitures des cinq tours et du transept a commencé. Elle devrait s'achever en 2017.

Ensuite, l'intérieur de l'édifice devra être remis en ordre.

La quatrième étape se concentre pour sa part sur les études et les travaux préparatoires à prévoir pour la conservation du chœur gothique, afin de procéder à sa restauration.

La seconde phase des travaux concernera quant à elle la restauration globale du chœur gothique. Elle devrait commencer en 2018 et durer 7 ans (Mariage, 2014).

---

## DESCRIPTION

La cathédrale allie les styles roman et gothique et comporte 5 tours de style roman monumentales. Elle mesure 134 mètres de long. La hauteur des tours est de 83 mètres et la hauteur de la voûte du transept est de 50 mètres (la hauteur intérieure maximale de la cathédrale). Celle de la nef romane est de 26 mètres et celle du chœur gothique est de 36 mètres.

### 6.3 DEMANDES ET PHILOSOPHIE DE RESTAURATION

Les charpentes du transept et de la tour lanterne font partie des plus belles et des plus anciennes charpentes romanes d'Europe encore en place et ayant subi peu de transformations. Elles ont donc beaucoup de valeur d'un point de vue archéologique.

Les acteurs ont donc cherché à éviter de remplacer les éléments de la charpente même s'ils étaient endommagés tout en conservant leur fonction porteuse. Ils ont cherché des solutions alternatives à la restauration classique (Clearbout, 2015).

### 6.4 INTERVENTIONS

---

#### CHARPENTE DU TRANSEPT

Tout d'abord, une étude sanitaire a été réalisée. Elle révèle que les arbalétriers des fermes sont fort endommagés. Après calcul, on établit qu'un arbalétrier peut toujours assurer sa fonction porteuse tant qu'il conserve 2/3 de sa section. Or, la pluparts sont fort endommagés et n'ont conservé qu'une demi section saine.

Pour redonner sa fonction statique aux arbalétriers trop endommagés, ils devraient être remplacés. Ceci implique de remplacer environ 70% des arbalétriers. Cette solution a été jugée inacceptable au vu de la valeur archéologique de la charpente.

La solution apportée est passée par plusieurs étapes :

1. Restauration « classique »

Il s'agit de remplacer les parties endommagées des éléments de charpente : utiliser de la résine, réaliser des greffes... ou même remplacer les éléments trop endommagés. Comme dit précédemment, cette solution n'a pas été retenue car elle affectait la valeur archéologique de la structure.

2. Mise en place d'une seconde structure métallique

On créerait ainsi une sorte de « hangar », une seconde structure protégeant et remplaçant la première. Néanmoins, cela entraîne des problèmes d'un point de vue esthétique et cela dénature la structure qui perd ainsi sa fonction porteuse. De plus, seuls les arbalétriers sont très endommagés. Les autres pièces des fermes peuvent toujours remplir leur fonction.

3. Renforcer la structure existante.



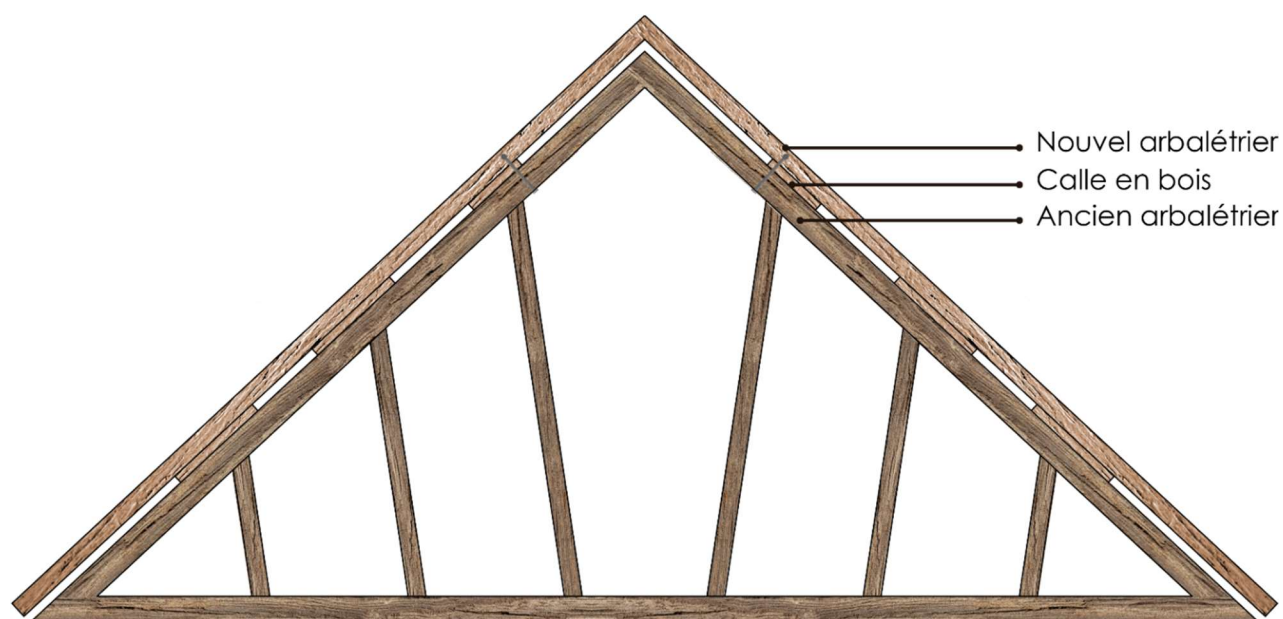


Figure 32: Renfort des arbalétriers de la charpente du transept: Vue de face

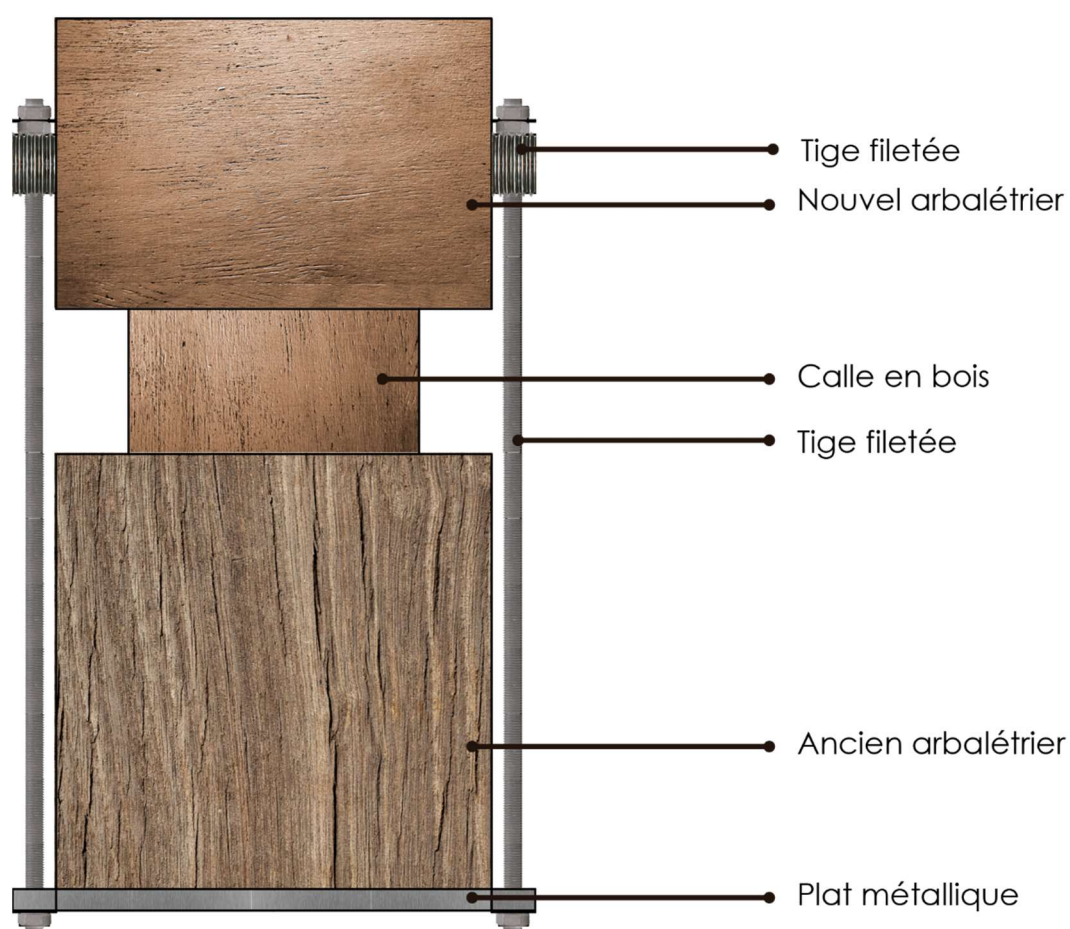


Figure 33: Renfort des arbalétriers de la charpente du transept : Détail



Figure 34: Renfort des arbalétriers de la charpente du transept

Il a donc été décidé de renforcer la structure existante en plaçant un nouvel arbalétrier au-dessus de l'existant. Des calles en bois sont placées aux nœuds entre les deux arbalétriers.

Pour fixer le nouvel élément, une tige est forée dans celui-ci. Cette tige est reliée à un plat métallique passant sous l'ancien arbalétrier par deux autres tiges.

Chaque entrain est différent, les plats sont donc réalisés sur mesure et différents pour chaque arbalétrier.

Cette solution permet de conserver un maximum de la structure ancienne ainsi que sa fonction porteuse. Elle est totalement réversible et totalement démontable (Clearbout, 2016).

---

## TOUR LANTERNE

La même démarche que celle expliquée précédemment a été suivie pour la charpente de la tour lanterne. On s'intéresse ici particulièrement au poinçon de la charpente. Cette charpente repose sur un radier général composé de madriers.

L'étude sanitaire réalisée a révélé que ce poinçon avait brisé les 3 madriers placés sous celui-ci.

Le modèle réalisé par l'ingénieur indique que les charges ne passent pas par le poinçon (le modèle estime environ 700 kg, ce qui est très peu). Or, les trois poutres ont été labourées et brisées sous celui-ci, ce qui veut dire que des charges passent par là. Un calcul inverse a été effectué. Ghislain Claerbout a estimé qu'il fallait 30 à 35 T pour briser ces poutres. Le modèle réalisé ne correspond donc pas à la réalité.

De plus, selon ce modèle, 25T devraient être transmises par les écharpes. Or celle-ci font 25x25, c'est donc impossible.

Les acteurs ont alors réfléchi la manière dont a été construite la charpente : le radier a été construit, puis un tambour a été monté. Le reste de la charpente a été monté petit à petit.

Le modèle a alors été modifié (en enlevant des pièces de charpentes, des nœuds, ...) pour qu'il corresponde plus aux observations réalisées.

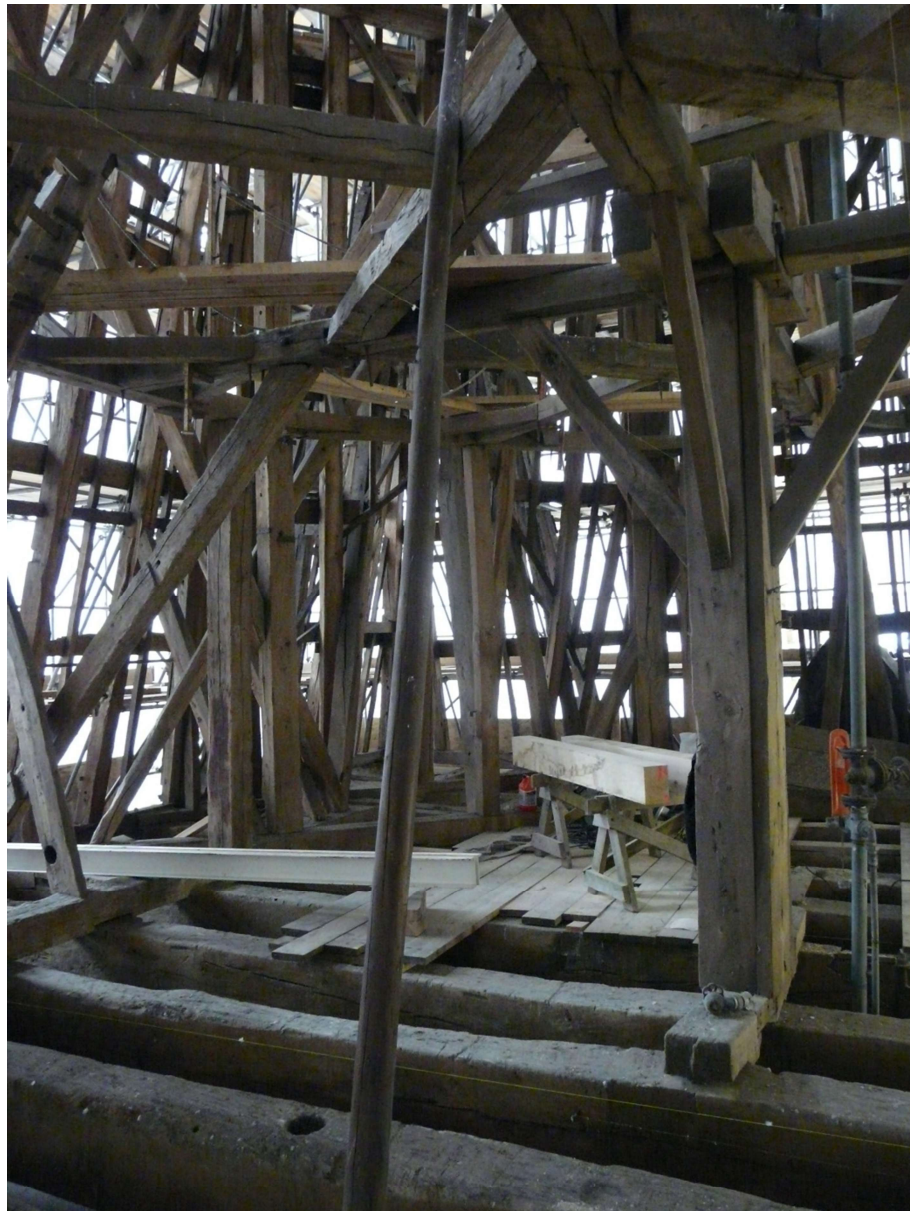


Figure 35: Charpente de la tour lanterne

En éliminant les écharpes dans le modèle, on se rend compte que 30 à 40 T passent par le poinçon, ce qui correspond plus à la réalité.

On a en conclu que les écharpes ont servi pour le montage et qu'elles n'assurent pas le contreventement de la structure.

Si toute cette analyse n'avait pas été faite, on aurait sans doute renforcé les écharpes pour qu'elles puissent reprendre 25 T ce qui aurait engendré une intervention assez lourde.

La solution adoptée ici consiste à placer deux poutrelles métalliques entre les madriers (au lieu de renforcer les poutres en bois). Deux poutres perpendiculaires sont placées sous ces poutres métalliques. Ce système soulage la structure existante.

Une barbotine continue est créée pour empêcher l'ouverture de la structure.



Un plancher cloué à 45° permet de contreventer l'ensemble.

Cette solution est réversible et indépendante de la structure existante. Elle permet de ne pas toucher aux pièces en place et de garder la lisibilité de la structure (Clearbout, 2016).

Suite à une entrevue avec Monsieur Paquet (Paquet, 2016), il s'avère que le diagnostic mené par l'ingénieur est erroné et que la poutre se serait brisée non pas à cause d'une charge trop importante mais plutôt à cause d'un défaut dans l'élément. Ce fait souligne l'importance de l'intervention de plusieurs disciplines et de soigner les études préalables.

## 6.5 MÉTHODOLOGIE

Les principes que suit Ghislain Clearbout sont rappelés ci-dessous :

1. Comprendre la structure avant toute intervention.
2. Déterminer où intervenir et s'il faut renforcer.
3. Rester humble lors de l'intervention
4. Penser à la réversibilité des interventions
5. Créer une seconde structure si les problèmes sont trop importants
6. Penser à l'exécution
7. Être dans certains cas « ingénieur bricoleur », donc créatif.

Les intervenants ont suivi les principes définis pour ce projet : ils ont effectué toutes les études préalables nécessaires (relevés détaillés, étude historique et archéologique, ...) afin de comprendre la structure avant d'intervenir et ils se sont ensuite occupés des études de stabilité. Les interventions proposées sont réversibles et peu intrusives et l'ingénieur a créé des renforts spécifiques, illustrant les principes : rester humble, assurer la réversibilité des interventions et être créatif.

En ce qui concerne la méthodologie pratique établie dans ce travail :

L'ingénieur souligne l'importance d'observer la structure et de chercher à savoir comment elle fonctionne. Néanmoins, il a précisé que le problème l'intéressait, le passionnait. On en revient donc à l'importance que les acteurs aient une certaine sensibilité pour le patrimoine.

Des études préalables ont été réalisées (relevés détaillés, étude historique, étude archéologique, ...).

La restauration de la cathédrale a impliqué de nombreux intervenants spécialisés : architectes, ingénieurs, archéologues... Une équipe pluridisciplinaire a été mise en place.

L'équipe gérant le projet a cherché à comprendre la structure des charpentes, en cherchant les causes des désordres pour pouvoir les traiter. Pour le poinçon de la tour lanterne par exemple, on a cherché à savoir pourquoi certains madriers ont été brisés.

Le modèle de calcul a été revu plusieurs fois pour qu'il corresponde à la réalité, la démarche adoptée est donc itérative.

L'ingénieur souligne que le modèle représente la réalité mais ne lui correspond pas forcément. En effet, on ne sait pas vraiment par où les efforts passent.

Il souligne également que le logiciel ne prend pas en compte le second ordre, et donc les déformations induites par le flambement des éléments. Ces déformations peuvent amener d'autres efforts qui ne sont donc pas pris en compte. Lorsque l'ingénieur réalise un modèle, il « géométrise » la réalité et ne représente donc pas tous les éléments mais il fait en sorte que le modèle corresponde aux observations effectuées sur site.

Il déconseille l'utilisation de logiciels plus complexes (tenant compte du second ordre par exemple), qui deviennent des boîtes noires et où il devient difficile de comprendre le fonctionnement (Clearbout, 2016).

Le bureau a effectué l'étape de valorisation et a également mis en place une philosophie de restauration en cherchant à conserver au maximum la structure existante étant donné la valeur patrimoniale de celle-ci.

On travaille ici essentiellement par des renforts.

Pour les deux types de charpentes (du transept et de la tour lanterne), les renforts mis en place sont réversibles, complètement démontables et indépendants de la structure existante. De plus, ce type d'intervention est clairement identifiable et permet donc de conserver la lisibilité de la structure ancienne.

Les interventions sont contrôlées et les intervenants se rendent régulièrement sur le chantier. Une documentation précise est créée au fur et à mesure de l'avancement du chantier. Néanmoins, celui-ci n'étant pas terminé, il est impossible de savoir si une documentation complète détaillant les interventions sera bien créée. Il manque d'information concernant la création d'une documentation précise pour la formulation de l'analyse du bâtiment existant.



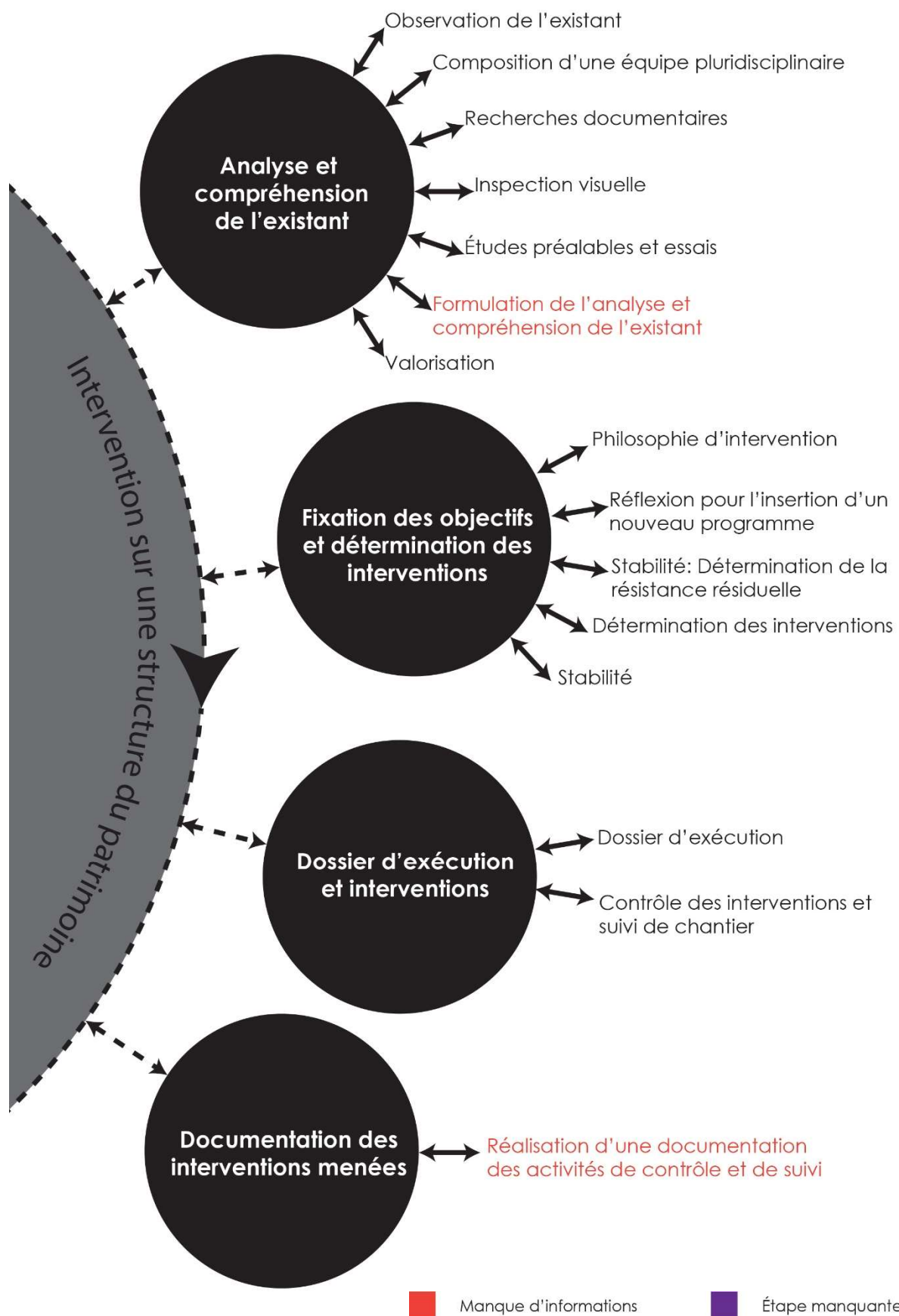


Figure 36: Schéma récapitulatif - Cathédrale de Tournai

## 6.6 CONCLUSION

Les choix effectués par le comité permettent de conserver la structure existante tout en la renforçant pour répondre aux critères actuels. Les renforts sont réversibles. Néanmoins, il n'existe aucune norme décrivant le type de renfort ici mis en place. Il est donc difficile de dire si l'intervention répond aux normes.

Monument est une entreprise spécialisée en restauration, elle a donc l'expérience nécessaire dans le domaine.

Les principes mis en place par les intervenants sont suivis.

La plupart des aspects de la méthodologie définie dans ce travail se retrouvent dans la démarche suivie par les bureaux, elle bien suivie.

Cet exemple met en évidence l'importance de la communication entre les intervenants : en effet, j'ai pu assister à une réunion entre l'entrepreneur et l'ingénieur où ils cherchaient ensemble des solutions pour intervenir sur la tour lanterne et Ghislain Claerbout (2015) a souligné que ce type de relation est rare et qu'il pouvait procéder ainsi avec peu de personnes.

## 7. ÉTABLE TRANSFORMÉE EN HABITATION À CHAPON-SERAING

Cette maison est un projet beaucoup plus petit que ceux présentés précédemment, la réflexion menée par les acteurs n'en est pour autant pas moins intéressante et reste très fine.



Figure 37: Vue de la grange (Brogneaux, 2007)





Figure 38: Vue depuis la rue des Écoles (Brogneaux, 2007)



Figure 39: Zone d'entrée (Brogneaux, 2007)



Figure 40: Vue depuis de la Cour (Brogneaux, 2007)

## 7.1 ACTEURS

- Études de restauration et rénovation : Thibaut Brogneaux
- Études de stabilité : Maximilien Cornet

## 7.2 HISTORIQUE ET PRÉSENTATION

La ferme se situe à Chapon-Seraing (Verlaine). Selon l'inventaire du patrimoine culturel immobilier ou IPIC (SPW-DGO4, 2016), il s'agit d'une ancienne exploitation agricole datant du premier tiers du XVIIIème siècle.

Le complexe se compose de plusieurs volumes en briques surplombés de toitures en bâtière. Ces volumes sont rassemblés autour d'une cour centrale. On y accède par un porche et, face à celui-ci, se trouve le corps de de logis.

La grange a été construite plus tardivement (peut-être au début du XIXème siècle) (SPW-DGO4, 2016).

## 7.3 DEMANDES ET PHILOSOPHIE DE RESTAURATION

Il s'agit ici d'une réaffectation d'une étable en habitation.

La démarche suivie par l'architecte est de conserver et de respecter les éléments racontant une histoire du passé (voussettes, brique apparente, clefs en façade, encadrement en pierre bleue,...), tout en intervenant de manière contemporaine.

L'architecte propose ici de placer une poutre métallique au rez-de-chaussé pour soutenir les voussettes existantes et de créer un portique métallique pour soutenir les poutres de toiture (Brogneaux, 2016).

## 7.4 INTERVENTIONS

---

### ÉTUDES PRÉALABLES

L'architecte a effectué un relevé géométral. L'étude historique est restée très limitée : il a consulté l'inventaire du patrimoine. Il a également reçu quelques informations du propriétaire actuel (Brogneaux, 2016).

---

### DÉMARCHE SUIVIE

La structure du plafond du rez-de-chaussée se compose de voussettes en briques appuyées sur des poutrelles métalliques.

L'architecte a le souhait de garder cette mise en œuvre du passé et de mettre en avant l'aspect brut du matériau.

À première vue, la structure existante était trop faible. En effet, la portée des poutrelles métalliques était importante et une couche de béton a été coulée sur le plancher supérieur, apportant du poids propre sans collaborer véritablement à la résistance de l'ensemble (dalle non armée, fissurée à plusieurs endroits, non-dimensionnée pour les normes actuelles). L'architecte souhaitait également renforcer la structure existante car il y avait changement d'affectation (d'étable en habitation). De plus, un cloisonnage a été prévu pour créer des chambres à l'étage, c'est-à-dire une charge ponctuelle sur chaque poutrelle alors qu'auparavant, c'était une zone de stockage (foin, ...), ce qui correspond à une charge répartie. Pour rappel, dans le cas d'une charge ponctuelle le moment est donné par  $M = \frac{pl}{4}$  et dans le cas d'une charge répartie par  $M = \frac{pl^2}{8}$ . À chargement total égal, une charge ponctuelle appliquée à une poutre provoque un moment de flexion deux fois plus important que cette même charge répartie sur toute la poutrelle.

La première vérification est un calcul à la flèche qui montre que les normes actuelles ne sont pas vérifiées : cela implique des risques de fissuration des cloisons à l'étage, ...

Il est donc nécessaire de créer un appui intermédiaire au rez-de-chaussée et donc de placer un mur ou une poutre perpendiculaire aux voussettes. Le souhait étant de laisser le rez-de-chaussée ouvert, une poutre était un choix plus approprié.

Se pose alors la question du matériau à utiliser :

- Le bois aurait nécessité une hauteur trop importante et (ou) des points d'appui trop fréquents. De plus, utiliser du bois dans un bâtiment où la structure de plancher est métallique manquait de sens. Ensuite, il fallait créer une poutre continue car on ne pouvait pas placer des colonnes à n'importe quel endroit (en fonction des futures espaces : salon, escalier, cuisine...) et donc les portées de certains tronçons risquaient d'être trop importantes pour ce matériau.
- Le béton était un choix possible mais, de nouveau, la hauteur aurait été trop importante. L'effet massif dérangeait et se posait la question du passage sous la poutre au vu de sa hauteur trop importante. On aurait pu créer une poutre continue avec des armatures supérieures. Toutefois, cette solution nécessite plus de main d'œuvre et posait des problèmes pour la mise en œuvre (il faut couler au plafond).
- L'acier reste la solution la plus appropriée. Ce matériau est le plus cohérent (la structure existante étant métallique) et a le meilleur rapport hauteur / portée. De plus, il a un effet visuel plus léger (car la poutre a une section en H et la quantité de matériau est faible par rapport à sa grande portée). Peu d'appuis seront nécessaires et il amène la possibilité de faire des jonctions à différents endroits (à l'endroit des moments nuls dans le diagramme des moments, sous charges fixes).

Une poutre IPE 300 a été mise en place.

La structure de l'étage pose également problème. Un cheminement similaire a été suivi.

À première vue, les poutres en bois existantes sont trop faibles : elles présentent une flèche déjà bien visible. De plus, la toiture n'est pas isolée, sans finition intérieure et doit être remplacée par une toiture isolée avec des plaques de plâtre. Les charges de neige actuelles doivent être prises en compte. Le poids sera donc plus important.

Thibaut Brogneaux envisage trois solutions :

- placer des poutres plus importantes

Cependant, il faudra certainement placer des 10/30 (car la portée est importante, de 7 à 8 m). L'appui du côté mur intérieur est problématique car celui-ci n'est pas assez fort (une brique d'épaisseur).

- Placer une grande poutre faîtière en bois lamellé collé et des chevrons porteurs faîte-bas de versant

Cette solution est risquée : si la flèche de la poutre faîtière n'est pas bien maîtrisée, il y a un risque de poussée au niveau des têtes de mur. Or, ces murs ne sont pas en bon état, il faudrait, par exemple, créer une poutre de ceinture béton pour reprendre ces poussées.

- diviser la portée en deux

C'est cette dernière solution qui a été choisie car elle permettait de réduire la hauteur de la toiture (pannes 6,5/18 et non 10/30) et de ne pas trop charger le mur intérieur (côté volume vers cour).

L'appui central ne pouvait pas être un mur ou une ferme car on voulait conserver un espace ouvert à l'étage aussi. Un portique a donc été créé.

La même réflexion sur le matériau à utiliser a été menée :

- Un portique en bois aurait été trop encombrant.
- Un portique métallique est la solution la plus efficace et amène en plus la possibilité de s'appuyer sur le sol de l'étage et non sur les murs gouttereaux en briques : ainsi, les murs ne sont pas soumis à un moment de flexion.

Les poussées au pied du portique sont reprises dans une poutrelle existante du plancher de l'étage (l'acier est mis en traction).

Cette poutrelle allait être un peu moins chargée que les autres (car une trémie devait être créée dans le plancher). Cela permet de créer une réserve au niveau des contraintes et donc la possibilité de rajouter de la traction.

Ensuite, il a fallu vérifier que le poids supplémentaire du portique reprenant la toiture n'allait pas causer de problème aux appuis. Cela n'a pas posé de problème, l'appui du portique sur la poutrelle étant près de l'appui de la poutrelle existante sur le mur.

Une vérification à l'effort tranchant a été effectuée (il n'y avait pas de problème pour le moment).

Au niveau des maçonneries, d'un côté, la création de la trémie entraîne une diminution de la charge de plancher compensant l'ajout du poids de toiture. De l'autre côté, Il a fallu créer un asselet de répartition sur la maçonnerie (Brogneaux, 2016).

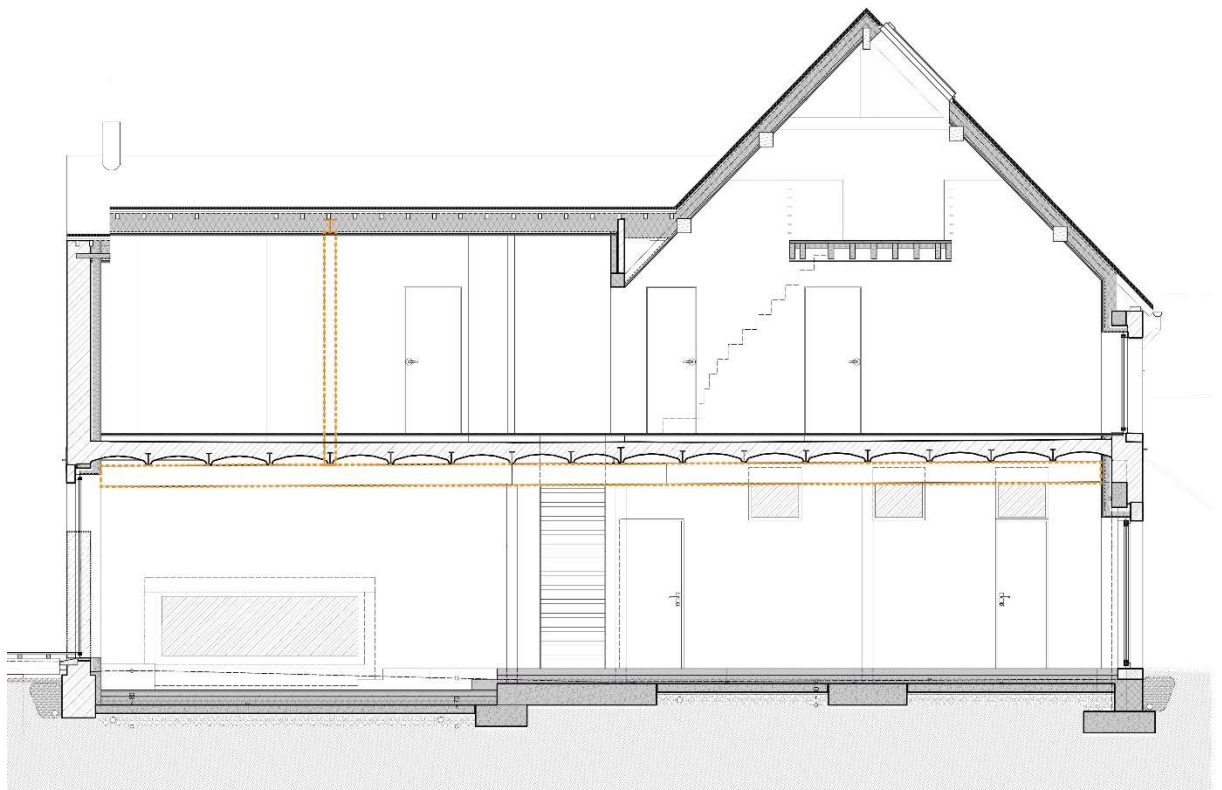


Figure 41: Nouvelle structure métallique et poutre soutenant les voussettes (Brogneaux, 2007)

## 7.5 MÉTHODOLOGIE

Les principes suivis par le bureau sont rappelés ci-dessous :

1. Études préalables (étude historique, sondages, ...)
2. Assurer la qualité de l'espace (point de vue architectural) et rechercher des ambiances en respectant l'existant : fonctionne au visuel (garder l'ancienne maçonnerie visible, ...). Recherche d'ambiance
3. Réflexion sur le programme

Le bureau a suivi la méthodologie qu'il a mise en place sur ce projet. Des études préalables ont été réalisées : l'architecte a réalisé un relevé géométral et glané quelques informations sur l'historique du bâtiment. Il a cherché à respecter et à mettre en valeur le bâtiment et sa structure en la laissant apparente et en créant une nouvelle structure légère et clairement identifiable.

En ce qui concerne la méthodologie établie dans ce travail :

L'architecte a commencé par une phase d'observation en se rendant sur place. Il a travaillé avec un ingénieur stabilité. Au vu de la taille du bâtiment et des travaux à effectuer, il n'y avait pas besoin d'une équipe plus nombreuse. Thibaut Brogneaux a réfléchi aux différentes solutions qu'il a ensuite proposées à l'ingénieur stabilité afin qu'il les vérifie. La solution a ainsi été trouvée.

Après avoir effectué quelques études préalables, il a cherché à comprendre le bâtiment et le fonctionnement de sa structure. Il n'y a pas eu d'étude historique approfondie ni de recherches documentaires. Cela se justifie par la taille du chantier et la valeur patrimoniale de la maison.

Une réflexion pour l'insertion d'un nouveau programme a été menée : la grange est transformée en habitation.

Le bureau a mis en place une philosophie de restauration en cherchant à assurer la qualité du nouvel espace tout en respectant l'existant.

Les deux étapes de stabilité ont été réalisées. Il n'y a qu'un type d'intervention : un renforcement par la création d'une structure en acier.

La nouvelle structure permet de respecter les normes actuelles et de conserver un maximum de la structure existante. Elle est en acier car ce type de matériau assure la réversibilité de l'intervention : les fixations sont ponctuelles, peu nombreuses et endommagent peu la structure existante.

De plus, une structure en acier sera clairement identifiable par rapport à la structure existante qui gardera donc sa lisibilité.

L'architecte a pensé à la mise en œuvre et aux impératifs d'exécution, notamment lors du choix du matériau pour la nouvelle structure.

Les informations concernant le suivi de chantier sont manquantes, le chantier étant terminé depuis quelques temps, ainsi que celles concernant la réalisation d'une documentation des activités de suivi.



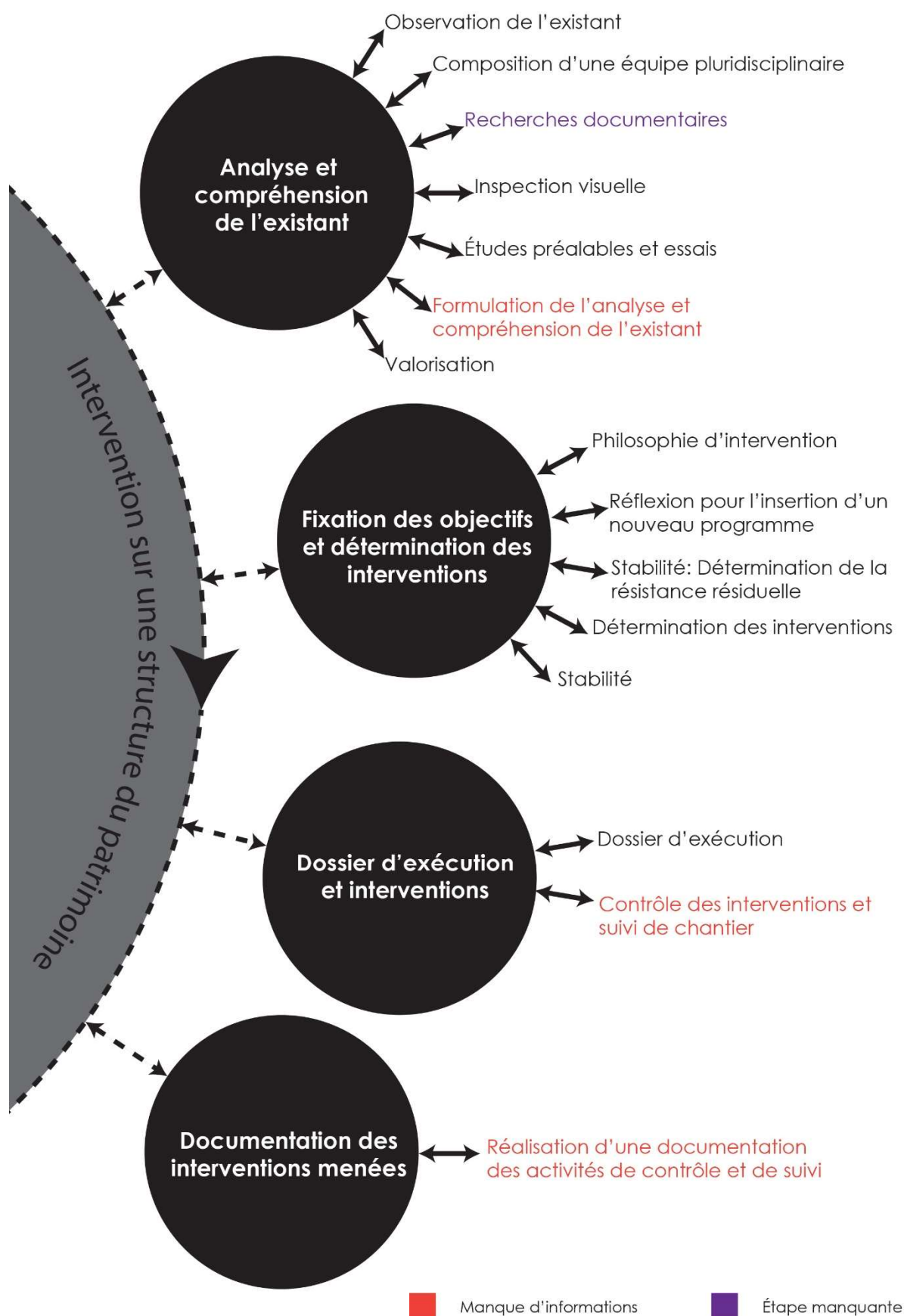


Figure 42: Schéma récapitulatif - Réaffectation d'une étable



## 7.6 CONCLUSION

Les choix effectués par le bureau permettent de conserver le bâtiment existant (et la structure existante) tout en l'adaptant aux besoins actuels et en répondant aux normes exigées.

L'architecte suit les principes qu'il s'est fixés. Plusieurs aspects de la méthodologie définie dans ce travail se retrouvent dans la démarche suivie par le bureau, la démarche globale est similaire.

La taille du projet et son importance patrimoniale sont des critères qui influencent la méthodologie mise en place ici. Dans ce projet, les études préalables et historiques sont restreintes.

La dimension patrimoniale n'est peut-être pas clairement mise en avant dans la démarche de l'architecte comme on pourrait le voir dans des chantiers sur bâtiments classés, avec tout ce que cela peut comporter comme démarches administratives, archéologiques, ... (Brogneaux, 2016).

---

## COMPARAISON

Lorsqu'on intervient sur le patrimoine, on fonctionne au cas par cas. On peut comparer les interventions menées par Origin et par ce bureau, tous deux ont rencontré le problème de voussettes constituées de poutrelles métalliques qu'il fallait renforcer.

Dans le cas d'Origin, ils n'ont pas placé une grande poutre perpendiculaire aux poutrelles et ils ont placé des plats de part et d'autre des semelles des poutrelles. Cette solution, plus compliquée à mettre en œuvre, a été retenue car la hauteur sous plafond était trop faible. De plus, cette solution est plus esthétique.

Dans le cas de la maison de Thibaut Brogneaux, la hauteur sous-plafond était suffisante pour placer une poutre en acier.

## 8. CONCLUSION DES ANALYSES D'EXEMPLES

Suite à ces analyses, on peut répondre à la question : Les praticiens suivent-ils les principes qu'ils se définissent pour intervenir sur une structure du patrimoine ?

Les bureaux n'ont pas forcément de méthodologie définie pour intervenir sur le patrimoine mais ils suivent les méthodologies (pour ceux qui en ont une) ou les différents principes qu'ils se fixent. Ces derniers sont pour la plupart issus ou inspirés des recommandations données dans les chartes internationales, de Venise et de Victoria Falls. Ceci est assez étonnant dans la mesure où cette dernière n'a jamais été citée par les intervenants.

En ce qui concerne la démarche établie dans ce travail, elle est globalement respectée, quel que soit le type de projet. Néanmoins, les intervenants ont donné peu d'informations sur la création de documentation suite aux interventions et à la formulation d'une analyse suite aux études préalables, ils n'ont jamais abordé ces deux points et les quelques éléments recueillis proviennent d'observations personnelles. Cette problématique a déjà été abordée dans le chapitre 3 (Analyse des rencontres).

Pour savoir si un bureau suit vraiment toutes les étapes définies dans ce travail, il faudrait y suivre tout un projet, ce qui n'a pas été possible. Par conséquent, il a été plus pertinent de s'intéresser à la méthodologie donnée par les architectes plutôt qu'à leurs projets réalisés.

Les interventions analysées sont toutes réalisées par des bureaux ayant de l'expérience en restauration et réhabilitation. Elles sont donc toutes pertinentes dans la mesure où tous les intervenants insistent sur la nécessité de comprendre l'existant avant toute intervention, mettent donc en place les études préalables nécessaires et cherchent les solutions les plus adaptées au bâtiment. De plus, les projets analysés ici donnent une bonne idée de la créativité et de l'imagination dont doivent faire preuve les

ingénieurs afin de trouver des solutions innovantes et les moins invasives possibles : on peut citer les plats ajoutés aux poutrelles du plancher de la petite tribune de l'hippodrome de Boitsfort pour augmenter la charge d'utilisation, l'intervention pour sauvegarder le plafond du théâtre royal de Liège, les renforts mis en place pour sauvegarder les arbalétriers de la charpente du transept de la cathédrale de Tournai,...

# CONCLUSION

## 1. CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'établir une méthodologie que pourrait suivre un ingénieur sur une structure d'un bâtiment du patrimoine et ainsi de répondre à la question : comment un ingénieur doit-il procéder lorsqu'il intervient sur un bâtiment patrimonial afin de garder un équilibre entre le respect des normes actuelles et la conservation de la structure portante ?

Pour ce faire, d'une part, des praticiens ont été rencontrés et interrogés sur leur méthode pour aborder une structure du patrimoine. Ces intervenants travaillent dans des domaines différents et ont dès lors des acquis différents. D'autre part, des méthodologies existantes ont été analysées. À partir de ces éléments, une première proposition de méthodologie a pu être établie. Ensuite, sont venus s'ajouter les apports des praticiens et les manquements de ces derniers par rapport à ces méthodologies existantes pour créer une méthodologie générale applicable à tout type de structure et ainsi répondre à la question posée.

La proposition de méthodologie se répartit en 4 phases :

1. Analyse et compréhension de l'existant : il s'agit, au travers de plusieurs études et observations, de prendre connaissance du bâtiment existant pour au final le comprendre ainsi que le fonctionnement de sa structure.
2. Fixation des objectifs et détermination des interventions : sur base des résultats des études réalisées, on fixe des objectifs à suivre pour la restauration et on détermine les interventions qui seront nécessaires.
3. Dossier d'exécution et interventions
4. Documentation des interventions menées

La méthodologie est reprise ci-dessous :

### ANALYSE ET COMPRÉHENSION DE L'EXISTANT

1. Observation de l'existant : Découverte des lieux et première inspection visuelle
2. Composition d'une équipe pluridisciplinaire dès les premières phases d'étude, en fonction du type et de l'échelle du projet, sous la direction d'un coordinateur bien formé et qualifié
3. Recherches documentaires : Recherches historiques et étude du patrimoine dans son contexte
4. Inspection visuelle : Observation des désordres et des dégradations et réalisation de relevés
5. Études préalables et essais : Détermination des causes des dégradations
6. Formulation de l'analyse critique : Compréhension de l'existant
7. Détermination de la valorisation : Détermination des qualités spécifiques de l'ouvrage à mettre en valeur

### FIXATION DES OBJECTIFS ET DÉTERMINATION DES INTERVENTIONS

8. Détermination de la philosophie d'intervention : Détermination d'une ligne de conduite pour les choix de restauration
9. Réflexion pour l'insertion d'un nouveau programme et détermination des contraintes supplémentaires en cas de réaffectation.
10. Première phase d'études de stabilité : Détermination de la résistance résiduelle (chargement que peut reprendre la structure dans son état actuel)
11. Détermination des interventions en se basant sur le diagnostic
12. Deuxième phase d'études de stabilité : Évaluation de la structure renforcée

## DOSSIER D'EXÉCUTION ET INTERVENTIONS

13. Création du dossier d'exécution
14. Contrôle des interventions et suivi de chantier

## DOCUMENTATION DES INTERVENTIONS MENÉES

15. Réalisation d'une documentation de toutes les activités de contrôle et de suivi

Cette méthodologie est itérative, les étapes ne se suivent pas toujours simplement. Suivant les besoins, certaines doivent être répétées ou réitérées plusieurs fois afin d'obtenir les solutions les plus adaptées au bâtiment. Il est ressorti de ces recherches que travailler sur une structure du patrimoine n'est pas un travail totalement différent du projet d'architecture traditionnel. Il faut réaliser une analyse poussée de la structure et de son fonctionnement et bien comprendre l'édifice existant, les différentes analyses et études préalables sont primordiales pour toute intervention sur le patrimoine.

Une fois cette étape réalisée, tous les éléments sont là pour respecter les valeurs patrimoniales. À partir de ce diagnostic, une ligne de conduite est définie pour guider les choix de restauration, un cadre est ainsi formé. Il est en général posé par le chef de projet et tous les intervenants devront le suivre. Une équipe pluridisciplinaire est nécessaire, la restauration faisant intervenir de nombreux experts dans divers domaines scientifiques. Ensuite, il faut associer le respect des normes. Le chef de projet et l'ingénieur doivent travailler ensemble pour trouver des solutions respectant tant l'aspect patrimonial que les normes actuelles, en fonctionnant si nécessaire de manière itérative. Les échanges entre les intervenants jouent un rôle important dans ce travail. Ainsi, il n'y a pas de solution générale et parfaite, il s'agit plutôt d'un compromis entre la stabilité (le respect des normes actuelles) et la conservation du patrimoine.

Les intervenants choisissent où ils se positionnent entre la conservation de la structure et le respect des normes, la solution dépendra donc de la sensibilité, de la créativité, de la formation et de l'expérience de l'intervenant. Ce choix est fait au cas par cas et de nombreux critères influencent cette décision. Certains, se basant sur leur expérience, seront plus enclin à prendre des risques et à s'éloigner des normes (qui sont souvent considérées comme des codes de bonne pratique par les praticiens) et d'autres les respecteront à la lettre. Ce choix dépendra également du degré d'incertitude (en cas de doutes quant à la fiabilité d'une structure), de l'importance de l'édifice et de l'évolution des techniques. Ces recherches ont mis en évidence la nécessité d'avoir une formation appropriée et de l'expérience afin de travailler sur le patrimoine. Les deux aspects sont complémentaires.

Pour illustrer la méthodologie établie dans ce travail, des exemples d'interventions sur des structures patrimoniales ont été analysés. Ils ont été fournis par les bureaux consultés. Les exemples utilisés sont variés (car la méthodologie est générale et se veut applicable à n'importe quel cas) et parviennent à respecter l'équilibre entre les deux aspects.

Suite à cette analyse, il ressort qu'en général, même si les bureaux n'ont pas de méthodologie clairement définie, ils se définissent des principes à suivre pour réaliser des choix raisonnés de restauration. Ces principes sont cohérents, respectent les chartes et rentrent dans la méthodologie établie ici.

## 2. LIMITES

La méthodologie mise en place ici reste théorique et se base sur des observations personnelles et sur les réponses que les professionnels ont fournies.

La méthodologie se limite au point de vue structurel, ce genre de démarche devrait être réalisée pour tous les domaines d'ingénierie, notamment les techniques spéciales qui présentent beaucoup de contraintes (quant à la place nécessaire pour les intégrer notamment).

La nature des témoignages nécessite une approche critique, tout ce qui est dit lors des interviews doit être pris avec du recul. Il peut y avoir une distinction entre ce qui est dit et ce qui est fait et certaines informations données peuvent être erronées ou partielles.

Seules deux visites de chantier ont pu être réalisées en compagnie des intervenants. Il aurait été intéressant de le faire pour tous les exemples, ces deux interviews ayant été les plus profitables pour la recherche d'informations. Néanmoins, c'était impossible. En effet, certains chantiers étaient déjà terminés. De plus, les intervenants sont difficilement accessibles et peu disponibles. Ce dernier point a beaucoup compliqué ce travail : organiser des rencontres avec tous les intervenants a pris énormément de temps et ils n'avaient qu'un temps limité à accorder.

### 3. PERSPECTIVES

L'approche utilisée ici reste assez innovante : aucune méthodologie complète pour l'intervention sur une structure du patrimoine n'existe. Les professionnels pourraient être intéressés puisqu'ils avouent eux-mêmes qu'il leur arrive de tâtonner jusqu'à trouver une solution.

La méthodologie établie ici a été appliquée à des projets déjà réalisés, il faudrait à présent l'appliquer à un/des nouveau(x) projet(s) à réaliser pour ainsi voir si elle est réellement applicable.

Comme stipulé au début de ce travail, on se concentre sur la Wallonie (de par la réglementation, le choix des professionnels et des projets analysés dans ce travail), mais cette méthodologie devrait être étendue pour être applicable quel que soit l'endroit. Il serait donc intéressant de voir comment les intervenants procèdent hors du territoire wallon.

Les exemples analysés ici présentent des interventions assez pertinentes car elles respectent les deux aspects recherchés. Il serait intéressant d'analyser d'autres projets ou ces interventions ne respectent pas cet équilibre et de comprendre pourquoi elles ont été menées ainsi. Cela pourrait mettre en évidence des points critiques dans la démarche à suivre et auxquels il faudrait faire attention.

Ce travail a également pu mettre en évidence quelques avantages et apports de la formation d'ingénieur civil architecte pour travailler sur le patrimoine : des connaissances scientifiques pour l'appréhension des études préalables, une formation sur la gestion globale de projets, un cours spécifique sur la conservation et la restauration du patrimoine... Toutefois, la restauration est un domaine vaste et complexe, une formation complémentaire reste un atout non négligeable.

# TABLE DES FIGURES

Figure 1: Cathédrale de Tournai.....	14
Figure 2: Schéma récapitulatif .....	45
Figure 3: Hippodrome de Boitsfort : Grande Tribune.....	49
Figure 4: Bâtiment de pesage (Origin, 2014) .....	50
Figure 5: Bâtiment de pesage - plan RDC (Origin, 2014).....	50
Figure 6: Petite tribune (Origin, 2014) .....	51
Figure 7: Mur extérieur : Fissure due aux affouillements et aux tassements (Origin, 2014) .....	52
Figure 8: Achelet en béton.....	53
Figure 9: Principe du radier mis en place sous la tour .....	54
Figure 10: Charpentes .....	55
Figure 11: Principe des plats mis en place au-dessus et en dessous des poutres en I .....	56
Figure 12: Schéma récapitulatif – Boitsfort .....	59
Figure 13: Théâtre royal de Liège.....	61
Figure 14: Plan et coupe (Greisch, 2013) .....	62
Figure 15: Scène: Principe pour la nouvelle structure (Greisch, 2013).....	64
Figure 16: Salle : Principe pour la nouvelle structure (Greisch, 2013).....	66
Figure 17: Principe structurel des nouveaux pieux mis en place (Greisch, 2013) .....	67
Figure 18: Principes pour la mise en place des nouvelles poutres soutenant le plafond existant (Greisch, 2013) .....	68
Figure 19: Principe pour transfert du plafond de la structure existante à la nouvelle structure (Greisch, 2013) .....	68
Figure 20: Principe : Élimination des structures temporaires (Greisch, 2013) .....	69
Figure 21: Schéma récapitulatif - Théâtre Royal de Liège .....	71
Figure 22: Maison à pan de bois (Institut du patrimoine wallon, 2014).....	73
Figure 23: Maison à pan de bois - RDC (A.M. Architectes associés S.A., 2016) .....	74
Figure 24: Nouvelle structure métallique (A.M. Architectes associés S.A., 2016).....	76
Figure 25: Schéma récapitulatif - Exbomont.....	78
Figure 26: Hôtel Desoër de Solières.....	79
Figure 27: Techniques insérées dans la nouvelle extension .....	82
Figure 28: Salle de réunion – Mascarons d’origine.....	82
Figure 29: Schéma récapitulatif - Hôtel Desoër .....	85
Figure 30: Extrémité du transept – Tour Saint Jean et tour Brunin .....	87
Figure 31: Extrémité du transept – Tour Marie et tour de la Treille.....	88
Figure 32: Renfort des arbalétriers de la charpente du transept: Vue de face .....	90
Figure 33: Renfort des arbalétriers de la charpente du transept : Détail.....	90
Figure 34: Renfort des arbalétriers de la charpente du transept .....	91

Figure 35: Charpente de la tour lanterne .....	92
Figure 36: Schéma récapitulatif - Cathédrale de Tournai .....	95
Figure 37: Vue de la grange (Brogneaux, 2007) .....	96
Figure 38: Vue depuis la rue des Écoles (Brogneaux, 2007) .....	97
Figure 39: Zone d'entrée (Brogneaux, 2007) .....	97
Figure 40: Vue depuis de la Cour (Brogneaux, 2007).....	97
Figure 41: Nouvelle structure métallique et poutre soutenant les voussettes (Brogneaux, 2007)....	100
Figure 42: Schéma récapitulatif - Réaffectation d'une étable .....	102

# BIBLIOGRAPHIE

## MONOGRAPHIES

A.M. Architectes associés S.A. (s.d.). *Descriptif du chapitre stabilité*.

Herman, C. s dir. Culot, M. (2003). *Espace Wallonie : L'hôtel Desoër de Solières – Liège*. Bruxelles, Belgique : AAM Archives d'Architecture Moderne éditions.

Mariage, F. (2014). *Cathédrale Notre-Dame de Tournai*.

Origin, (s.d.). *Méthodologie de restauration*.

Origin,(s.d.). *Hippodrome de Watermael-Boitsfort : Restauration du gros-œuvre fermé de la grande tribune, de la petite tribune et du bâtiment de pesage*.

## COURS

Paquet, P. (2013-2014). *Conservation et restauration du patrimoine culturel immobilier*.

## ACTES DE CONGRÈS

Greisch.(2013, juin). *Chantier de l'Opéra Royal de Wallonie : Les défis techniques d'une transformation audacieuse*.

Provost, M. (2014, février). *Reprise des structures, Cas des structures du patrimoine immobilier*. Communication présentée lors de la journée d'étude FABI, Namur, Belgique.

Rammer, Y. (2014, février). *Évaluation de la fiabilité structurale de constructions existantes*. Communication présentée lors de la journée d'étude FABI, Namur, Belgique.

## SITES INTERNET

A.M. Architectes associés S.A. (s.d.). *Réflexions*. Consulté le 23 mai 2016, en ligne sur : [http://www.aasa.be/fr\\_FR/home/reflexions.html](http://www.aasa.be/fr_FR/home/reflexions.html)

CSTC. (2007, mars). *Les Eurocodes et les annexes nationales*. Consulté le 19 avril 2016, en ligne sur : [http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards\\_regulations&pag=fire&art=news&niv01=eurocodes and national annexes](http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=fire&art=news&niv01=eurocodes and national annexes)

Bag. (s.d.). *Hôtel De Soer De Solières Liège*. Consulté le 19 mars 2016, en ligne sur: [http://www.bagsa.be/website/0063\\_hotel\\_desoer.html](http://www.bagsa.be/website/0063_hotel_desoer.html)

Bag. (s.d.). *Équipe : Philippe Greisch*. Consulté le 23 mai 2016, en ligne sur : [http://www.bagsa.be/website/Equipe\\_Greisch.html](http://www.bagsa.be/website/Equipe_Greisch.html)

CSTC. (2013, février). *Les nœuds constructifs : La protection contre l'incendie*. Consulté le 19 mars 2016, en ligne sur : [http://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=agendapresentations&doc=doc\\_392\\_YM\\_Noeuds\\_constructifs\\_incendie.pdf&lang=nl](http://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=agendapresentations&doc=doc_392_YM_Noeuds_constructifs_incendie.pdf&lang=nl)

CSTC. (2014, janvier). *Les Normes de base*. Consulté le 19 avril 2016, en ligne sur : [http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards\\_regulations&pag=fire&art=standards and regulations&niv01=belgian fire safety requirements&niv02=base standards](http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=standards_regulations&pag=fire&art=standards and regulations&niv01=belgian fire safety requirements&niv02=base standards)



Dethier architecture. (s.d.). *Profil*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://www.icomos.org/charters/chartes.pdf> <http://www.dethier.be/fr/about/profil>

École de Chaillot. (s.d.). *L'école de Chaillot*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://www.citechailot.fr/fr/formation/>

Greisch.(s.d.). *Greisch : Présentation*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://www.greisch.com/presentation.html>

Greisch.(s.d.). *Opéra royal de Wallonie à Liège – restauration et rénovation*. Consulté le 13 mars 2016, en ligne sur : [http://www.greisch.com/projet/opera\\_royal\\_wallonie\\_liege\\_restauracion\\_renovation.html](http://www.greisch.com/projet/opera_royal_wallonie_liege_restauracion_renovation.html)

Greisch.(s.d.). *Réhabilitation de l'Hôtel Desoër de Solières à Liège*. Consulté le 19 mars 2016, en ligne sur : [http://www.greisch.com/projet/hotel\\_desoer\\_stabilite.html](http://www.greisch.com/projet/hotel_desoer_stabilite.html)

ICCROM. (2016). *Qu'est-ce que l'ICCROM*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://www.iccrom.org/fr/about/what-is-iccrom/>

ICOMOS. ( s.d.). *Assemblée générale – Jusqu'à 2014*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://www.icomos.org/fr/a-propos-de-licomos/gouvernance/assemblee-generale>

ICOMOS. (s.d.). *L'ICOMOS en bref*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://www.icomos.org/fr/a-propos-de-licomos/mission-et-vision/licomos-en-bref>

Monument. (s.d.). *Group Monument*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://www.monument.be/fr/group/>

Origin.(2014). *Origin : Présentation*. Consulté le 20 août 2016, en ligne sur : <http://www.origin.eu/origin.cfm>

Origin.(2014). *Opéra Royal de Wallonie à Liège*. Consulté le 13 mars 2016, en ligne sur : <http://www.origin.eu/project.html?pro=77&lang=fr&cat=7&catttype=epoque>

Samyn and partners. (2014, avril). *Dr Ir Philippe Samyn architecte et ingénieur-conseil*. Consulté le 14 mai 2016, en ligne sur : <http://samynandpartners.be/fr/portfolio/000-dr-ir-philippe-samyn>

SPW – DGO4 (2016, mars) *Inventaire du patrimoine : Inventaire du patrimoine culturel immobilier : Verlaine*. Consulté le 23 mai 2016, en ligne sur : [http://spw.wallonie.be/dgo4/site\\_ipic/index.php/recherche/recherche](http://spw.wallonie.be/dgo4/site_ipic/index.php/recherche/recherche) et <http://spw.wallonie.be/dgo4/tinymce/apps/ipic/views/documents/communes/VERLAINE.pdf>,

SPW – DGO4 (2016, mars) *Inventaire du patrimoine : Inventaire du patrimoine culturel immobilier : Stoumont*. Consulté le 23 mai 2016, en ligne sur : [http://spw.wallonie.be/dgo4/site\\_ipic/index.php/recherche/recherche](http://spw.wallonie.be/dgo4/site_ipic/index.php/recherche/recherche) et <http://spw.wallonie.be/dgo4/tinymce/apps/ipic/views/documents/communes/STOUMONT.pdf>

Institut du patrimoine wallon (2014). *Maison sise à la Gleize – Exbomont n°46*. Catalogue immobilier institut du patrimoine wallon 2014. Consulté le 13 mars 2016, en ligne sur : <http://www.institutdupatrimoine.be/images/missions/pdf/Patrimoine%20immobilier/Catalogue%20immobilier/catalogue-immo.pdf>

## CHARTES

ICOMOS. (2000). *Charte de Cracovie*.

ICOMOS. (1964). *Charte de Venise*.

ICOMOS. (2003). *Charte Nizhny Tagil pour le patrimoine industriel*.

ICOMOS. (1999). *Principes à suivre pour la Conservation des Structures Historiques en Bois*.

ICOMOS. (2003). *Principes pour l'analyse, la conservation et la restauration des structures du patrimoine architectural*.

## RAPPORT DE RECHERCHE

CEN/TC250/W2. (2013, août). *Assessment and retrofitting of existing structures: Scientific and technical report*. Zürich.

## INTERVIEWS

Brogneaux, T. (2015, août). *Communication personnelle*.

Brogneaux, T. (2016, avril). *Communication personnelle*.

Clearbout, G. (2015, novembre). *Communication personnelle*.

Clearbout, G. (2016, avril). *Communication personnelle*.

Closset, P. (2015, novembre). *Communication personnelle*.

Dassonville, C. (2016, janvier). *Communication personnelle*.

Dethier, D. (2015, septembre). *Communication personnelle*.

De Wolf, D. (2015, août). *Communication personnelle*.

Dirix, A. (2015, août). *Communication personnelle*.

Dupperoy, F. (2016, février). *Communication personnelle*.

Greisch, P. (2015, novembre). *Communication personnelle*.

Jacques, Y. (2016, février). *Communication personnelle*.

Lejeune, A. (2015, juin). *Communication personnelle*.

Paquet, P. (2016, juillet). *Communication personnelle*.

Samyn, P. (2015, août). *Communication personnelle*.

Vermijlen, A. (2015, juillet). *Communication personnelle*.

## PLANS D'EXÉCUTIONS ET PHOTOS

Origin, (2014). *Hippodrome de Boitsfort/Hippodroom van Bosvoorde : Restauration du gros œuvre fermé de la petite tribune, de la grande tribune et du bâtiment de pesage*.

Brogneaux, T. (2007). *0401 Transformation d'une étable en habitation rue des Écoles 20 4537 Verlaine*.

#### COMPLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

Droh lme. (2014, septembre) *Coup d'envoi de la rénovation de l'hippodrome de Boitsfort*. Consulté le 13 mai 2016, en ligne sur : <http://www.drohme.be/fr/post/22/coup-denvoi-de-la-renovation-de-lhippodrome-de-boitsfort>

Duval, G. (1990). *Restauration et réutilisation des monuments anciens : techniques contemporaines*. Bruxelles, Belgique : Mardaga.

Duvivier, P. en collaboration Monfort, B. (2008). *Méthodologie pour la préparation des travaux de restauration des monuments en béton*. Université de Liège, Liège, Belgique.

Froidevaux, Y-M. (1986). *Techniques de l'architecture ancienne : construction et restauration*. Liège, Belgique : Mardaga.

Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht (2011). *Architectural heritage protection: Guidelines for planning authorithies*. En ligne sur : [http://www.buildingsofireland.ie/FindOutMore/Architectural%20Heritage%20Protection%20-%20Guidelines%20for%20Planning%20Authorities%20\(2011\).pdf](http://www.buildingsofireland.ie/FindOutMore/Architectural%20Heritage%20Protection%20-%20Guidelines%20for%20Planning%20Authorities%20(2011).pdf), consulté le 30 juin 2015.

Gillard, A. (2010). *Inventaire et analyse de l'état des églises paroissiales en béton dans l'arrondissement de Liège*. Université de Liège, Liège, Belgique.

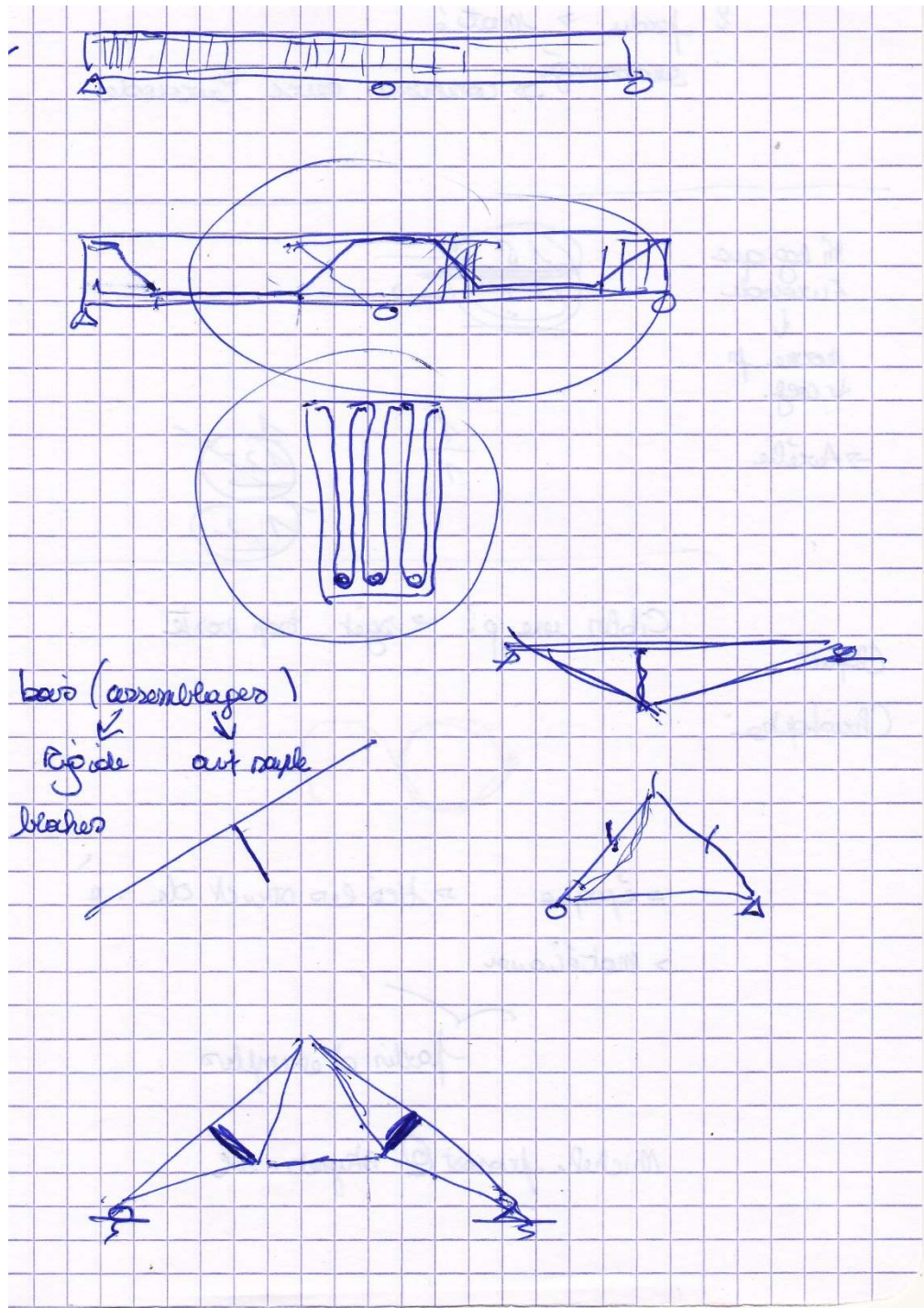
(1999, avril). *Décret relatif à la conservation et à la protection du patrimoine*.

# ANNEXES

# RENCONTRES

## 1. ORIGIN

MICHEL PROVOST (17/07/2015)



Les bâtiments anciens n'ont pas été dimensionnés avec les Eurocodes et la façon de construire a évolué, quel que soit le type de matériau. Par exemple, pour le béton, suivant la période de construction les armatures ne sont pas placées de la même façon. Pour les bois, les assemblages sont réalisés de façon différente.

## À CONSULTER

Provost, M. (2014, février). *Reprise des structures, Cas des structures du patrimoine immobilier*. Communication présentée lors de la journée d'étude FABI, Namur, Belgique.

Rammer, Y. (2014, février). *Évaluation de la fiabilité structurale de constructions existantes*. Communication présentée lors de la journée d'étude FABI, Namur, Belgique.

(2012). Bases for design of structures – Assessment of existing structures

## 2. ANDRÉ LEJEUNE (22/07/2015)

### MÉTHODE

1. Relevé détaillé (Évaluer la stabilité dimensionnelle, comment a évolué la structure dans le temps, a-t-elle été renforcée ? Est-ce réversible ou non ?)
2. Consulter des historiens de l'art et les archives (Comment a évolué le bâtiment ? Comment a-t-on construit le bâtiment ? Y-a-t-il quelque chose qui n'a pas été ?)
3. Étudier comment le bâtiment se comporte, études préalables (dendrochronologie, ...)
4. Stabilité (attention, aujourd'hui, prendre en compte le sismique et l'incendie)

Peut-on reprendre les efforts autrement (greffes, résines, ...) ?

### À SAVOIR

1. Ne jamais changer le chargement : exemple à Saint-Jacques où on a suspendu les voûtes
2. Attention au point de vue social, les avis changent (les grands projets prennent du temps)
3. Par rapport aux normes actuelles, on peut obtenir des dérogations (isolation, etc...). Le bâtiment n'a pas été conçu en tenant compte des normes actuelles !
4. Approche différente en France et en Belgique (Voir Louvres, Châteaux de la Loire)
5. Maçonnerie -> attention au mortier : mortier au ciment plus dur que mortier à la chaux et les points durs attirent l'effort et les bâtiments bougent (chaud/froid, occupants, ...)
6. Éviter de bloquer totalement les appuis -> induit des efforts
7. Bois et pierre : consulter des experts et effectuer des carottages
8. Fondations : En général à renforcer, attention aux nappes et aux tassements (Tournai)
  - Responsabilité décennale : faire des essais (attention budget)
  - Consulter des cartes géotechniques
9. Béton armé : attention hypothèses sur les armatures (approche visuelle)
10. Consulter la charte de Venise et les Eurocodes
11. Réaffectation (ex : églises): Implique des contraintes techniques supplémentaires (HVAC)

### PROJETS

La salle académique : Faire appel à plusieurs entreprises différentes (pas d'entreprise générale) et permettre ainsi aux artisans de travailler correctement -> rôle important de coordination

## 3. ALAIN DIRIX (12/08/2015)

### MÉTHODE :

1. Principes habituels (études préliminaires, historiques, sondages, ...)

2. Distinction entre conservation et réhabilitation : dans le cas d'une nouvelle affectation, le programme ne correspond pas au bâtiment existant et les contraintes sont différentes
3. réfléchir pour intégrer un nouveau programme en conservant les éléments significatifs.

L'architecte met l'accent sur le programme. Il part du principe qu'il ne faut pas rester prisonnier de la structure existante. Dans le cas d'une réaffectation, le programme ne correspond pas au bâtiment existant. Dans certains cas, il privilégiera le fait d'apporter quelque chose et de mettre en valeur l'architecture plutôt que de conserver absolument tous les éléments patrimoniaux (conservation des éléments significatifs).

#### PHILOSOPHIE :

Charte de Venise

#### PROJETS :

Abbatiale de la Paix Dieu (1718-1720) :

- maçonnerie et charpente conservées, renforcement des voûtes => conservation de la géométrie de l'édifice
- Structures contemporaines « clairement repérables » à l'intérieur (ex : structures métalliques)
- Aile des hôtes -> transformation pour hébergement (structures intérieures disparues)

Val Benoit (bâtiment de génie civil) :

- Pas classé
- bâtiment moderniste en béton armé -> conservation de la structure porteuse mais « décalage » des façades

Brasserie (hôpital, 18<sup>e</sup>) :

- Petit bâtiment classé
- Conserve les planchers et leur structure -> HP trop basse (2m28) -> dérogation

Maisons en Hors-Château (Liège):

- Techniques doivent passer entre deux poutres existantes -> réflexion en plan
- Réflexion pour le placement des circulations verticales (maisons très étroites)

Hôpital du Val d'or (1889) :

- Ne conserve pas tous les planchers existant mais plutôt les éléments significatifs

#### REMARQUES :

- Bureau travaillant souvent avec Greisch où les ingénieurs ont une certaine sensibilité par rapport à la question patrimoniale
- Rencontre plus souvent des problèmes dus aux techniques spéciales plutôt qu'à la structure



#### 4. THIBAUT BROGNEAUX (20/08/2015)

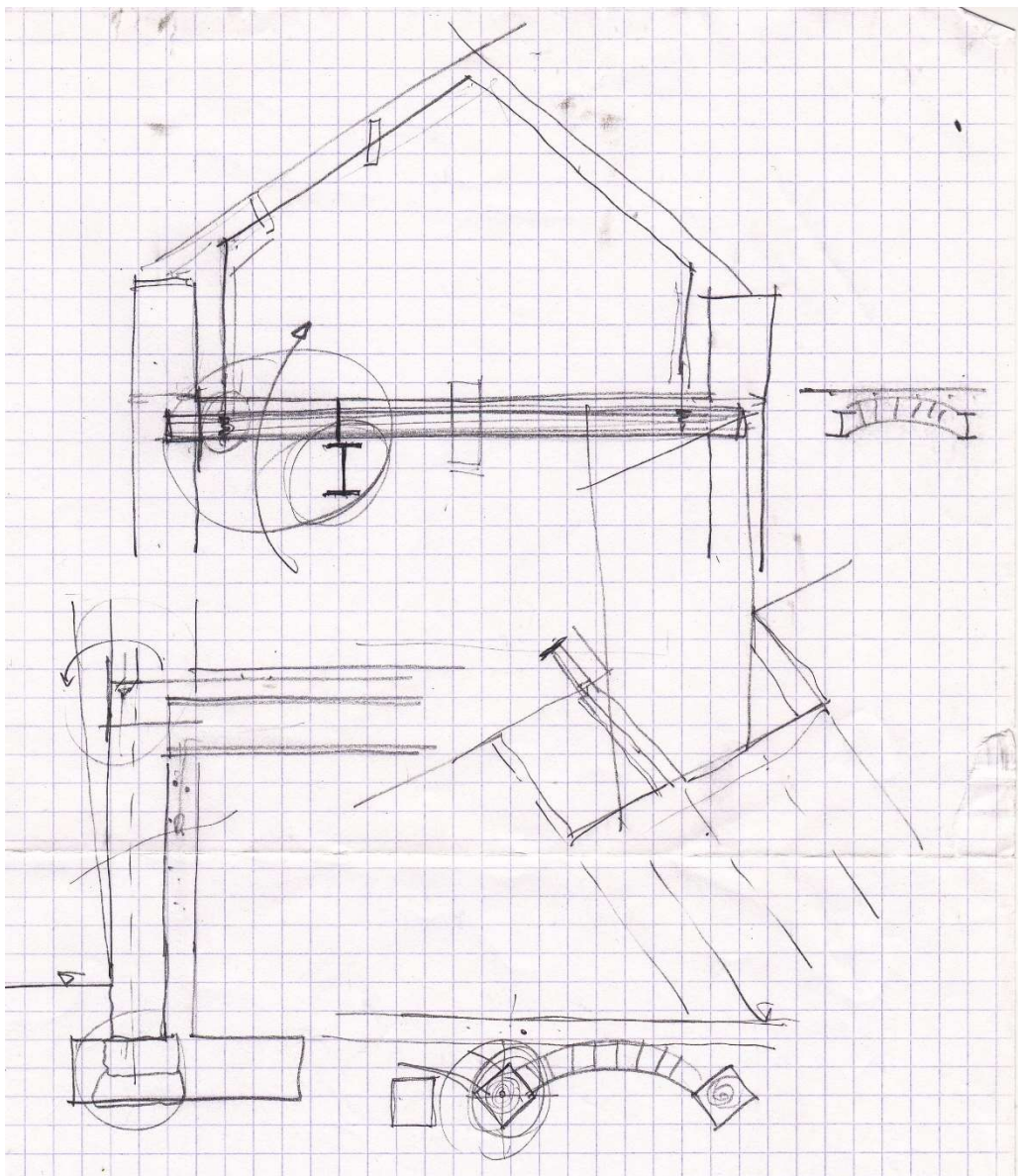
##### MÉTHODE :

Assurer la qualité de l'espace (point de vue architectural) :

- Fonctionne au visuel : Garder visible les briques, la maçonnerie
- Recherche d'ambiance : Garder un aspect brut
- Réflexion sur le programme : Inutile de garder certains éléments si les locaux deviennent des pièces techniques

##### PHILOSOPHIE :

- Notion de réotracivité : On ne peut pas changer les normes.
- Se renseigner sur les normes anciennes





## PROJETS :

Maison rue du pont 19

- Devanture métallique
- Fenestration conservée
- Création d'un portique (dégager une pièce, pas de mur mitoyen)
- Poutres conservées -> pourquoi ? Elle fait partie du lieu et assure la stabilité
- Ré-ancrage des bois aux appuis

Réhabilitation d'une grange en maison d'habitation (18<sup>e</sup>)

- Conserve un maximum mais accueille un nouveau programme (percement pour l'escalier, ...)
- Création d'un nouveau portique métallique
- Contacter le responsable stabilité du projet : Maximilien Cornet, 0476/50.27.45, Rue Simenon

## LIMITE :

Coût, valeur patrimoniale, nouvelles normes,...

### 5. PHILIPPE SAMYN (22/08/2015)

#### 1. PREMIER PRINCIPE : LES NORMES NE SONT PAS DES LOIS

- Normes = commodité, facilité. On peut faire le parallèle avec des recettes de cuisine (or il y a plusieurs façons de faire la cuisine).
- L'objectif des normes étant d'assurer la sécurité, il faut proposer des alternatives présentant le même niveau de sécurité.
- Les appliquer dans le cadre du patrimoine n'a pas de sens.

---

EX : NORMES POUR LES GARDE-CORPS : ARRÊTÉ ROYAL

- Ne trouve pas d'application dans le cadre du patrimoine (il faudrait le détruire).

---

NORMES INCENDIES (TEXTE LÉGAL)

Ex : pas appliquée à l'hôtel de ville de Bruxelles

- Des dérogations sont possibles, des principes de sécurité équivalents existent.
- La commission peut accorder des dérogations, il faut justifier ses propositions.

Mêmes dans les bâtiments neufs, des dérogations peuvent être demandées.

---

NOTION DE RÉTROACTIVITÉ :

- on ne modifie pas les règles à posteriori.

#### 2. IL FAUT DU BON SENS ET DE LA COMPÉTENCE

---

EX : FONCTIONNEMENT DU BUREAU

- Engager des jeunes plus intelligents afin qu'ils puissent avoir leur place

- Jeunes ayant des inspirations humaine plus raffinées (bonheur, qualité de vie, un certain détachement matériel, ...)
  - Il faut un bon (très bon) niveau de compétence ainsi qu'une moralité (individuelle et en équipe) irréprochable.
    - Côtes pour tous les cours (grades,...),
    - Outils informatiques (Revit, Rhino, ...),
    - 3 langues
    - Une compétence « exotique », une originalité
- + Moralité et engagement social

➔ Le système ne fonctionne pas si tous ces éléments ne sont pas rencontrés.

On peut faire le parallèle avec le bureau Greisch.

### 3. MORALITÉ CONSTRUCTIVE

Architecture contemporaine (><Constructions des 50 dernières années : Image au détriment du fond) :

- Développement durable
- Construire plus modeste MAIS faire un beau geste
- ➔ constructions sérieuses mais pratiques
- ➔ Au moins de moyens on a, au mieux on construit.

---

EX : CHILI

- Le peu de moyens induit un génie géométrique (il n'a pas d'autre choix que d'être intelligent)
- Obligation de bien construire, construire mieux devient une obligation morale

---

ARCHI STAR :

Ex :

- Lyon confluence
- Gehry (fondation Louis Vuitton)
- Calatrava (Liège) >< Gare de Leuven, 15 x moins cher pour le même programme

Privilégier les petites œuvres d'art (les grandes œuvres pour les tyrans). Ce n'est pas parce qu'on peut le faire qu'on doit le faire.

Les revues ne présentent que ces « injures ». Il vaudrait mieux présenter les projets modestes et raffinés.

### 4. POUR LE PATRIMOINE :

---

#### 1. ETUDIER LA GÉOMÉTRIE

- Étudier la morphologie structurelle
- Lorsque la géométrie est maîtrisée, on réalise des économies (design build -> bien dessiné, permet d'investir ailleurs)

- // Chili (pas d'autre choix que d'être intelligent): anciennement, on avait une certaine intelligence constructive

**Avant, cela faisait office de règle, aujourd'hui, c'est plutôt une exception. Il est donc relativement « facile » d'intervenir sur du patrimoine.**

---

## 2. PRENDRE LE TEMPS D'APPRENDRE, DE COMPRENDRE LA STRUCTURE

- Bien regarder quel est le tracé régulateur, la façon dont c'est construit.

Ex : Intervention à côté du couvent Saint-Ghislain

- Plan d'Horta (intelligence constructive)
- On a pu s'appuyer sur des murs de 1800
- **Etre respectueux lors de l'intervention**

Ex : Franck Lloyd Wright (détails constructifs)

Ex : RESIDENCE PALACE (Futur siège du Conseil européen et centre de presse international)

- Vieux planchers datant de 1930
- Plan d'armatures retrouvées, on estime une capacité de 150 kg/m<sup>2</sup>. Que faire ? détruire les 11 planchers ?

---

## 3. CONNAITRE LE VÉCU DU BÂTIMENT, SE RENSEIGNER SUR SON HISTOIRE, SURCE QUI S'EST PASSÉ

- faire des relevés afin de savoir de quoi on parle avant d'entamer les calculs.

---

## 4. ALLER SUR PLACE, « GRATTER », « ÊTRE VOYEUR »

- Découverte de 10 cm de chape
- Enlèvement de la chape (sable = 250 kg/m<sup>2</sup>)
- 250 + 150 = 400 kg/m<sup>2</sup> -> conforme aux normes

## 5. À MÉDITER :

Le scientifique découvre, l'artiste crée, l'ingénieur invente. L'ingénieur doit être un peu des trois (et pas simplement un technicien).

Il n'y a jamais de réel problème pour remettre aux normes.

## 6. EXEMPLES :

---

EX : FERME STASSART (1830)- BUREAU DE SAMYN AND PARTNERS

- Il est toujours possible de faire quelque chose avec un peu de réflexion




---

EX : MAISON DE LA RADIO FLAGEY

- Studio 4
- Éléments suspendus (tiges en acier HP)




---

EX : RENOVATION DE 150 LOGEMENTS – LE FOYER BRUXELLOIS

- Création de terrasses : intervention contemporaine visible
- Respect de l'architecture existante




---

EX : ECOLE SUPÉRIEURE ERASMUS

- Rénovation des façades mais conservation du rythme



---

EX : REAFFECTATION DE LA BRASSERIE LAMOT EN ESPACE DE BUREAUX POUR SEGHERS ENGINEERING

- Faible hauteur sous-plafond (entre 2,3 et 2,5m) -> dérogations
- Convaincre l'urbanisme et ne pas détruire



---

EX : GEMBLoux, FERME

- Création d'un amphi de 600 places (agronomic faculty) dans une ancienne ferme



---

EX : MAISON DE LA CULTURE À NAMUR (BOURGEOIS)

- « mauvais » projet mais séduisant (tout comme le patrimoine, qui a du charme, une histoire)



7. PATRIMOINE = AUBAINE

- source d'inspiration
- représente un « challenge »
- Anciens bâtiments = économie sur plusieurs plans (gains tout azimut)

Source images : <http://samynandpartners.be>

## 6. GREISCH - DAVID DE WOLF (25/08/2015)

### NORMES= CODE DE BONNE PRATIQUE

Elles sont conseillées mais pas imposées. Elles apportent du confort, mais ce qui intéresse ici c'est la résistance et la sécurité (Sauf la norme incendie - arrêté royal)

Différence entre les normes de l'époque et les normes actuelles (ne fonctionne plus aujourd'hui)

Possibilité de jouer sur les charges mais pas sur les matériaux.

### ETRE RÉALISTE

---

#### EX : MUSÉE HORTA (HABITATION TRANSFORMÉE EN MUSÉE)

- Exemple, l'escalier ne répond pas aux normes pour les musées. Mais étant donné le bâtiment on considère qu'on peut y déroger

Jouer sur les Eurocodes

---

#### EX : EC 6 : MAÇONNERIE

- On considère qu'il n'y a pas de traction
- Les coefficients varient de 1,7 à 3 (fort variable)

### MÉTHODE :

- Principe habituels (essais de sol, étude historique, ...)
- Distinction entre le travail de l'architecte (étude historique, ...) et de l'ingénieur (étude sanitaires, ...)
- Relevés (pathologies) : géomètre (l'ingé participe)

Création de modèles

- Attention à la sensibilité, plus ils sont complexes, plus ils sont faux (mènent à des résultats très différents pour de petites variations). Il vaut donc mieux un modèle simple avec une précision de 10% plutôt qu'un modèle complexe avec une précision de 1%.
- Le modèle peut être affiné (si la situation existante le justifie)

*Les honoraires deviennent insuffisants :*

- *Les interventions sur une structure existante demande beaucoup de recherches*
- *Les administrations sont très exigeantes*
- *Le métier se complexifie (techniques spéciales,...) et il y a de plus en plus d'intervenants (coordination, acoustique, paysagistes,...)*

*Relevés laser :*

- *Beaucoup d'infos*
- *Repasser sur place pour les pathologies*

Modèles à recommencer plusieurs fois (jusqu'à ce que ça fonctionne). Le modèle obtenu ne sera pas forcément correct.

On y arrive toujours (orgueil de l'ingénieur). On prend de plus en plus de détails en compte. Il faut être créatif. L'expérience permet d'aller de plus en plus vite.

## TRAVAIL SUR L'ABBATIALE

Division de l'intervention en trois parties :

- Voute
- Charpente
- Projet

---

### PROJET

- Insertion de gradins (nouvelles structure)

---

### CHARPENTE

- Remplacement des pièces endommagées

---

### VOÛTES

- Comment fonctionnent-elles ?
- Re-maçonner à l'identique
- Coque en béton de chaux sur la moitié de l'édifice (nef, pas transept) avec un treillis poule (repandre la flexion)
- Pas de renfort dans le cas où les matériaux sont impeccables. Ce n'est pas le cas ici. Les briques sont en béton état et le mortier également puisque les joints ont été refaits. Cependant, on rejointoie sur seulement +/- 2 cm. Il y avait trop d'incertitudes et les voutes étaient en mauvais état.

## PROBLÈME RENCONTRÉ : CONSIDÈRE QUE LES INGÉNIEURS VEULENT TROP RENFORCER

Même exemple avec un arc (Rose cloître BXL)

- L'ingénieur veut un tirant
- Fonctionne sans tirant si le sol est impeccable -> pas le cas ici (érosion, ...)
- Fonctionne avec des paramètres optimaux, comment les garantir ? Comment les garantir sur le long terme ?

Notes : DDGM, fonctionne sans ingénieur

- Pas de changement d'affectation
- Ne modifie rien
- Construit à l'identique

Piscine d'Ixelles

- Documentation sur le projet : se rend compte que ne correspond pas à la réalité
- Reconstruction de la cuve (influence des politiques)

## DIFFÉRENTS MATÉRIAUX :

### ACIER

- Matériaux le plus simple (état facilement visible, essai facile, assemblages très visibles)
- Modèles précis

### BOIS

- Assemblages moins maîtrisés
- Matériaux non homogène
- Pathologie et insectes

### MAÇONNERIE

- Traction (pas considérée ds EC)
- Grandes variations
- Difficulté par rapport au sol et aux fondations

### BÉTON ARMÉ

- Matériaux le plus difficile (dépend de la qualité du béton, de l'acier)
- Où sont les armatures ? Démontez le parachevement, on ne peut pas aller partout

## NORMES INCENDIES

- Attention à l'enrobage
- Possibilité de faire des calculs feu réels -> savoir utiliser les outils (fct car Greisch grand bureau)

## APPROCHE ET PHILOSOPHIE

- Change tous les 20 ans
- Charte de Venise + autres (connait pas nom)
- Mettre le minimum là où c'est nécessaire, interventions minimalistes
- Avant, façon différente de voir, structures plus massives alors qu'on aurait pu faire plus fin
- Aujourd'hui, acier HP -> permet plus de finesse, d'élégance

## 7. DANIEL DETHIER (01/09/2015)

Définir la nomenclature des structures

Maçonnerie :

- Peu de problèmes, stable

Bois et métal

- Humidité et pourriture (résine)/ corrosion et remplacement

Limiter les charges par l'agencement du programme



- Ex : Archives : 600 kg/m<sup>2</sup> >> 300
- Limiter accès
- Difficile dans le cas des normes incendie

---

## NORMES INCENDIES

- Peinture RF
- Traitement pour le bois
- Autres systèmes : sprinklers, détection, nouvelles structures permettant la protection des utilisateurs si l'ancienne structure venait à s'effondrer
- Avant : détection, après : protection

Il faut beaucoup de pratique et d'imagination ! Il faut souvent sortir du problème, l'aborder autrement (utiliser des moyens détournés)

On fonctionne au cas par cas.

## EXEMPLES

Bruxelles : Tour Brunfaut

- Structure métallique, 20 étages
- Mauvaise acoustique
- Pas de plancher en béton possible, même pas en bois (trop lourd)
- Renforts structurels -> fondations insuffisantes
- Construction de nouvelles fondations et d'une nouvelle structure (/ / échafaudages)
- Étages supplémentaire, construction de « ponts »
- Avantages nouvelle structure : feu OK, planchers OK, Surpoids repris par la nouvelle structure

Manège de la caserne Fonck

Centre culturel à Eupen

## PHILOSOPHIE

- Intervenir de façon claire
- Marquer l'intervention
- Qu'est ce qui est important ?
- Réversibilité
- Rester humble, discret
- Laisser pour dans le cas où quelques années, nouvelles techniques

## MÉTHODE

- Analyse historique
- Descente de charges

## ARCHI

- Voir globalement (% ingénieur, vision ciblée), il a toutes les infos, il doit orienter les choses
- L'archi conseille, se base sur l'avis de nombreux spécialistes

- Il faut qu'il ait une opinion de ce qu'il veut réaliser afin de convaincre les autres intervenants

#### TROUVE TOUJOURS DES SOLUTIONS !

- // porte : intervention se voient (tirants). S'il l'avait confiée à un menuisier, il l'aurait refaite, ou serait intervenu, les moulures auraient sûrement été détruites. Solution facile et moins chère.

Soulager : éléments de renforts (tendus plutôt que comprimés car plus fins !)

Utiliser de nouveaux matériaux

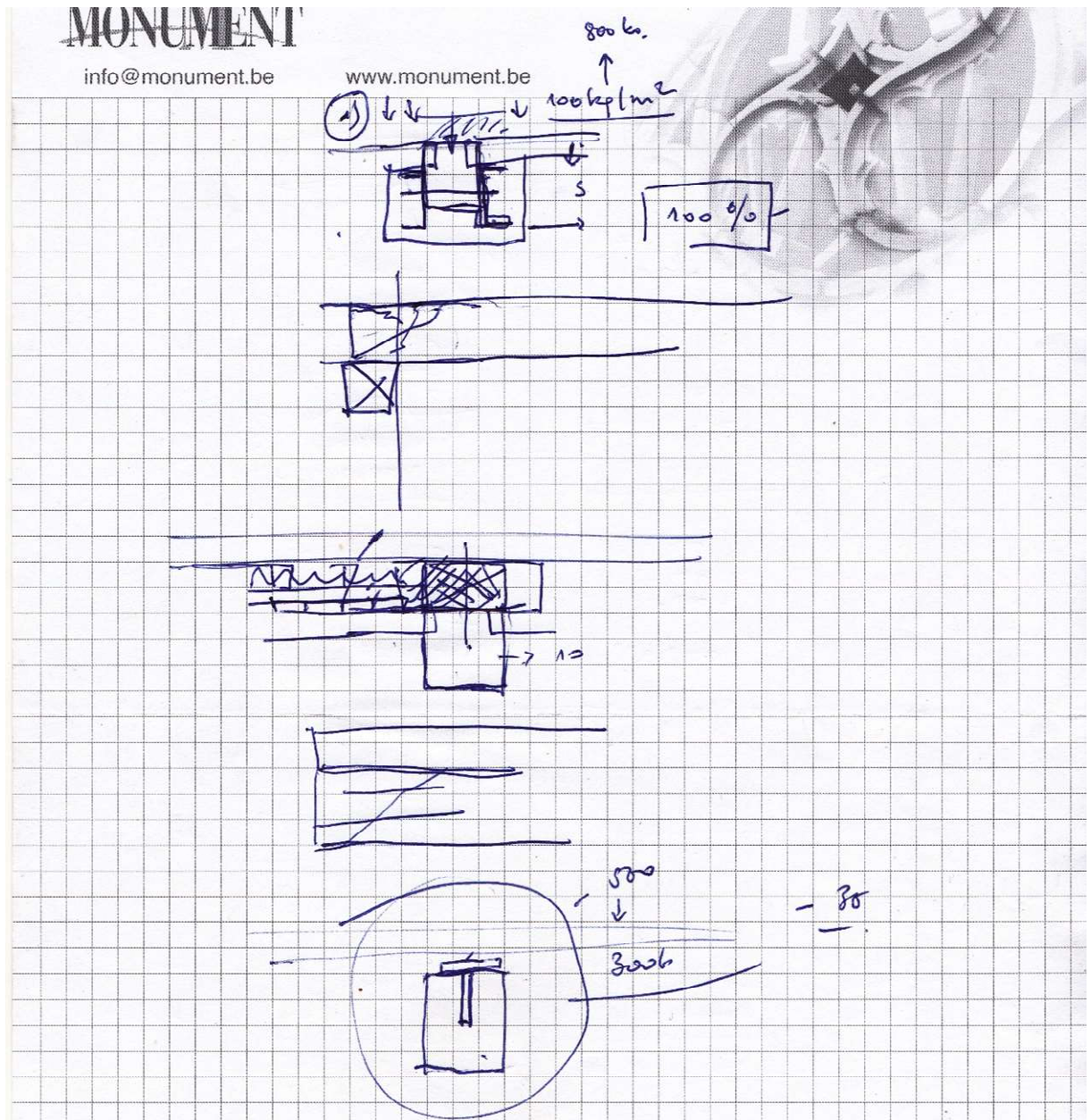
#### 8. GHISLAIN CLEARBOUT (27/11/2015)

#### MÉTHODOLOGIE

1. Comprendre la structure (comment ça marche) avant toute intervention. Il faut étudier le bâtiment, effectuer des relevés précis, ...
  2. Évaluer la **résistance résiduelle** (ex d'une poutre pourrie, que peut-elle reprendre ?)
  3. Que faut-il renforcer ? (que peut-elle reprendre une fois traitée ?)
  4. Rester humble (le bâtiment a tenu jusque-là)
  5. Réversibilité des interventions (ex : renforcement des maçonneries avec du coulis de chaux et pas de la résine epoxy).
  6. Création d'une seconde structure si les problèmes sont trop importants (indépendante et réversible)
  7. Penser à l'exécution (permis par l'expérience du chantier), il faut concevoir quelque chose de faisable.
- Ex : attention s'il faut de trop hautes qualifications pour réaliser le poste
  - Il faut être dans certains cas « ingénieur bricoleur »

Il faut prendre en compte que les normes actuelles sont plus exigeantes que les normes anciennes.

Réaffectation : renforts plancher : différentes méthodes (voir schémas)



Mauvais exemple : Prieuré de Godinne (afin de respecter les normes actuelles, on a recouvert toute la structure existante des planchers).

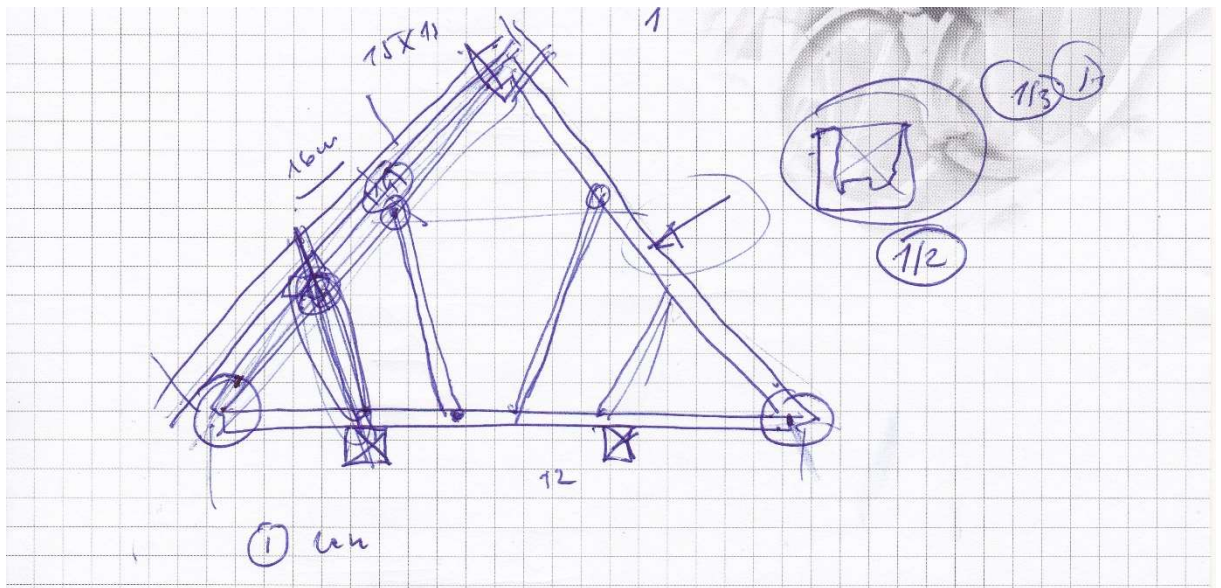
Renfort fondation : Pieux « flottant » : pieux ne fonctionnant pas à la résistance à la pointe (cela créerait un point dur et il faudrait placer tout le bâtiment sur pieux) mais fonctionne au frottement latéral.

#### EXEMPLE : CHARPENTE DE LA CATHÉDRALE DE TOURNAI

Renforcement de la charpente en bois du XI<sup>ème</sup> siècle

1. Étude de la structure existante (Résistance résiduelle : coins pourris, mauvais nœuds, mérule, ...) -> mesures précises de la résistance, étude sanitaire, ...
2. Intervention
  1. Pièces critiques dans le  $\Lambda$  (sections pourries). Les calculs montrent qu'il faut  $\frac{1}{2}$  section min pour que la charpente soit OK. Ce n'est pas le cas -> Mauvaises section à remplacer
  2. Charpente métallique (attention à l'aspect)

### 3. Ajout de chevrons 15x18 par-dessus (réversible !)



#### « PHILOSOPHIE »

- Souligne l'importance de la collaboration Ingé-maitre d'ouvrage-archi
- >> Greisch : prendre des risques (>< responsabilité décennale)

#### 9. CHANTAL DASSONVILLE (26/01/2016)

#### PROBLÉMATIQUE :

1. Multiplication des normes dans tous les domaines
2. Problème sociétal : on est de plus en plus judiciaireisé (dû à une certaine peur de l'accident)

#### 2 TYPES DE NORMES :

1. Améliorer la qualité des bâtiments (PEB, ...)
2. Crainte de l'accident (surévaluation afin de les éviter – c'est une assurance, une protection – mise en place d'organismes comme SECO)

#### DISTINCTION ENTRE LE PUBLIC ET LE PRIVÉ

Qui est responsable ?

- plus problématique dans le cas du public, les responsabilités sont plus diffuses

#### TROUVER DES EXEMPLES POUR LESQUELS C'EST LA STRUCTURES QUI EST INTÉRESSANTE À CONSERVER

- Bien se renseigner pour savoir ce qui fait l'objet du classement dans le bâtiment et pourquoi il a été classé (conservation de la structure si elle est prépondérante)
- Cas du théâtre de l'émulation à Liège classé par « opportunisme » afin de bénéficier de financements du patrimoine)
  - ➔ Classé pour 2 raisons :

- Pieux Franki (utilisés pour la première fois)
- Transparence à la lumière (d'où l'importance de rechercher les intentions de l'architecte et dans ce cas-là, attention à porter sur les châssis).

Intéressant pour la structure :

- Ville du Havre (architecte Perret), ville classée : la qualité patrimoniale vient de l'aspect structurel
- Halle de Perret (Montataire) : transformation en salle de spectacle et école de musique

#### CONSERVATION DE LA STRUCTURE

1. Dérogations (mais responsabilité de tous)
2. Structure « mise sous cloche » (ex : Halle de Schaerbeek)

#### EXEMPLES CITÉS

1. Château de Seneffe (musée)
2. Mac's (Grand Hornu) -> Intervention suivant la charte de Venise (pas de reconstitution, interventions clairement visible,...)
3. Fonderie Boch (important à conserver car origine de la ville)

#### HALLES DE SCHAERBEEK

- Structure acier-verre
- Intervention : transformation des halles en salle de spectacle, nécessité de mettre en œuvre une toiture acoustique et les équipements de scène. Le poids est trop important pour être repris par la structure existante. La structure étant belle et fine, on a voulu éviter de la renforcer pour garder ses qualités esthétiques. Une nouvelle structure (bien distincte) a été mise en place pour soutenir les nouveaux équipements et permettre de toujours voir l'ancienne structure.
- Marché couvert Sainte-Marie en 1865, archi : Gustave Hansotte
- Détruites en 1898 par un incendie
- Nouvelles halles en 1901 de Henri Van Massenhove
- Reste en activité jusqu'en 1920 et abandonné
- Racheté en 1973 par la Cocof et cédé en 1983 à la communauté française
- Ajout d'une toiture acoustique et de l'équipement scénique induisant un poids supplémentaire
- Pas de classement

#### CONCLUSION

1. Bien connaître le bâtiment
2. Comprendre pourquoi il est intéressant (inutile de s'acharner sur la structure si elle n'est pas l'intérêt du bâtiment)

## 10. FRANÇOISE DUPPEROY (10/02/2016)

- La réalité et les calculs seront toujours différents : on dit « ça tient » même si le bâtiment n'est plus aux normes
- Conserver l'authenticité : Il arrive qu'il faille conserver certaines choses qui ne sont pas forcément bien pensées (À titre d'exemple, citons les premières charpentes qui ont été conçues : elles ont évolué depuis le XII<sup>ème</sup> siècle et se sont perfectionnées)
- En restauration, l'architecte doit poser des limites, un cadre, donner des contraintes pour s'adapter au bâtiment existant (il n'y a pas de recette, c'est une attitude) pour les ingénieurs qui n'ont pas forcément d'attitudes pour la restauration

Il faut trouver un équilibre entre ce qu'attend l'architecte et ce que l'ingénieur peut donner. Une démarche progressive doit se mettre en place.

### MÉTHODE

1. Comprendre le bâtiment (histoire, d'où viennent les désordres)

Conseil : se concentrer sur les structures après 1850. Au XIX<sup>e</sup> siècle, de nouveaux matériaux (béton,...) sont introduits et la façon de construire change. En effet, avant les matériaux limitait les possibilités.

Il y a 3 niveaux d'intervention pour les structures :

- On ne touche à rien
- On remplace tout
- On remplace seulement une partie

### EXEMPLES

- Notre-Dame à la Rose
- Château de Seneffe
- Cathédrale de Tournai
- Val Saint-Lambert

### À CONSULTER

Hoffsummer, P. (1956). Les charpentes du XI<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle : typologie et évolution en France du Nord et en Belgique.

# PROJETS

## 1. HIPPODROME DE BOITSFORT

- Personnes interviewés : Aurélie Vermijlen (ingénieur stabilité) et Julie Scandolo (chef de projet)
- Date : 31 juillet 2015

---

### PESAGE

Plusieurs problèmes sont rencontrés dans ce bâtiment. On observe de nombreuses fissures en façade ainsi qu'à l'intérieur du bâtiment et des basculements de mur. Ces désordres sont dus à plusieurs facteurs :

#### 1. Des affouillements :

Ceux-ci sont dus au mauvais écoulement des eaux de pluies et au système d'égouttage endommagé.

#### 2. Des tassements de sol et des fondations insuffisantes :

Lors de leur visite sur site, les architectes ont repéré des tassements de sol à plusieurs endroits. Le terrain étant en pente, un remblai a été mis en place (la qualité du terrain est mauvaise).

Les fondations étaient insuffisantes par endroit. Les plans de fondations n'ont pas été retrouvés, il a donc fallu faire des essais afin de connaître la situation existante. Ceux-ci ont montré que les fondations étaient relativement bonnes, descendant jusqu'à environ 1,5m de profondeur. Cependant, lors du chantier, l'entrepreneur se rend compte que la tour bascule. On réalise alors des sondages et on découvre qu'elle n'est pas assez fondée. Cela a surpris étant donné que le bâtiment a été construit en une seule phase. De plus, c'est la partie la plus critique du bâtiment où les charges sont les plus importantes. Le bureau ne sait pas pourquoi cette partie du bâtiment a été moins fondée.

#### 3. Des charpentes sous-dimensionnées.

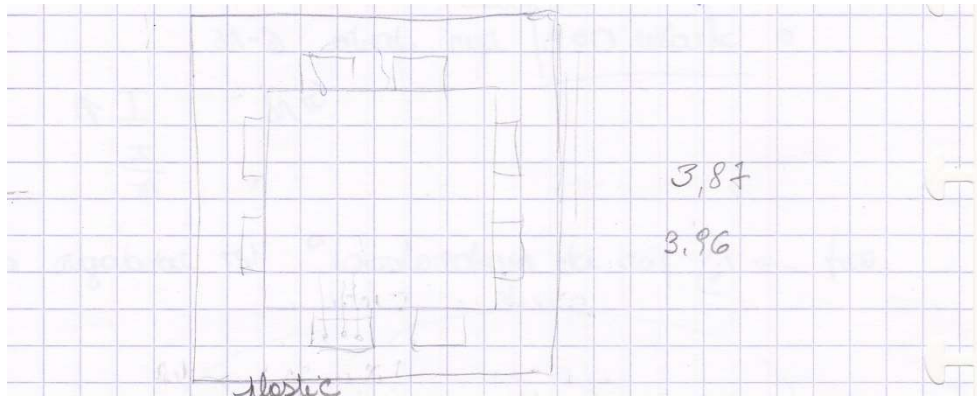
Les appuis de charpente sont en mauvais état et pousse les têtes de mur.

Il faut soit « stabiliser » soit « redresser » le bâtiment. Dans ce cas, il a été décidé de stabiliser le bâtiment au vu des déformations importantes.

L'ingénieur stabilité a agi ponctuellement. Pour stabiliser la fissure visible à l'extérieur (sur la photo ci-dessus), elle a placé un achelet en béton dans la partie portante à l'intérieur du bâtiment. Ceci permet une répartition des charges et donc d'éviter l'ouverture de la fissure. À l'extérieur, les briques seront rejointoyées.

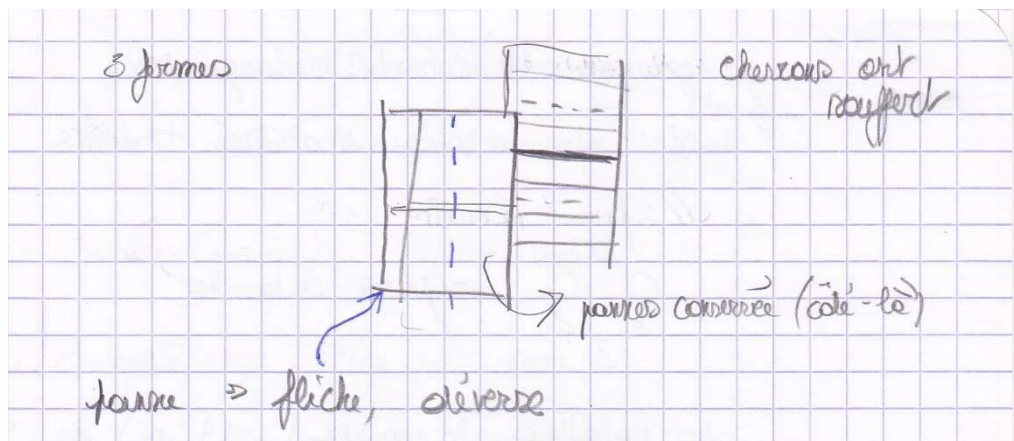
Pour la tour, il a été décidé de créer un radier intérieur (donc or gel) s'ancrant dans la maçonnerie existante. La tour ne nécessite ainsi pas de fondations plus profondes. Les micropieux n'ont pas été utilisés ici (cette technologie nécessite du matériel et un savoir-faire particulier).





Les pieds de toitures poussaient aux appuis, les pannes sablières ont bougé entraînant les murs qui ont basculé par endroit, entraînant la création de fissures notamment à côté de l'annexe moderne. Pour pallier à ce désordre, une poutre de ceinture en béton a été réalisée et les charpentes ont été remplacées.

La charpente se compose de fermes et de pannes. De manière générale, la charpente a été sous-dimensionnée. Les pannes présentaient des flèches importantes et elles déversaient. Deux fermes ont été complètement remplacées. Il n'y avait qu'une seule panne, ce qui était insuffisant pour reprendre les charges, l'ingénieur a calculé qu'il en fallait deux. La panne existante a été enlevée et deux nouvelles pannes ont été ajoutées et placée de part et d'autre de l'emplacement de l'ancienne panne afin que l'aspect visuel soit correct et cohérent.



Des parties importantes de la structure portante de la toiture ont été remplacées. Les flèches étaient trop importantes et elles déversaient. Cela a été « justifié » par une qualité de bois médiocre et des assemblages de mauvaise qualité. De plus, la structure de la toiture n'est pas visible et elle n'a pas été réalisée « dans les règles de l'art » à l'époque.

Selon le souhait du client, plusieurs baies ont été agrandies. Il a donc fallu calculer si la maçonnerie pouvait reprendre les charges ainsi redistribuées. Pour éviter les tassements, l'ingénieur a estimé que la charge pouvait être augmentée de 10 à 15%. Cette règle a permis de déterminer jusqu'à quelle largeur les baies pouvaient être élargies.

#### PETITE TRIBUNE

Le premier souci rencontré dans la petite tribune est que le plancher ne pouvait pas reprendre la charge d'exploitation de  $400 \text{ kg/m}^2$  exigée actuellement pour un public debout. La charge exigée pour des personnes assises est moins importante et pouvait être reprise par les voussettes existantes. Dans



ce cas de figure, soit on limite l'accès (et on considère que les personnes seront assises), soit on renforce la structure. Après discussion avec le client, il a été décidé de renforcer la structure.

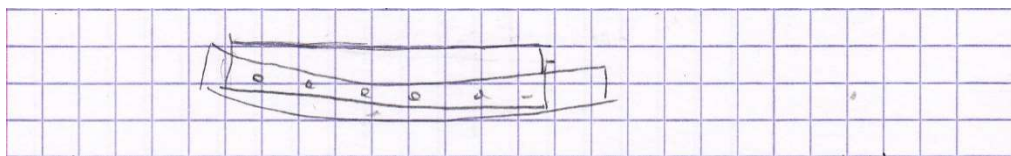
Le plancher se compose de voussettes. Dans ce type de structure, ce sont les poutrelles (en I) qui sont en général dimensionnantes (une fois les poutrelles dimensionnées, on considère que la maçonnerie est suffisamment résistante).

Placer une poutre perpendiculaire en dessous des poutrelles n'était pas possible : le dessous des tribunes est un espace utilisé et la hauteur sous plafond étant déjà très faible. De plus, cette intervention n'aurait pas été esthétique. Pour les mêmes raisons, il n'était pas non plus possible de placer une poutre perpendiculaire au-dessus des poutrelles. Cela aurait empêché l'accès à la tribune.

L'ingénieur a décidé de fixer un plat à la semelle supérieure et un à la semelle inférieure des poutrelles, augmentant ainsi l'inertie de ces dernières. La structure ainsi renforcée répond à la norme actuelle.

La toiture a été complètement remplacée, pour les mêmes raisons que celles du pesage :

- Les désordres constatés étaient très importants : les flèches étaient trop importantes et les poutres déversaient.
- Des raidisseurs représentaient un coup trop important



- La qualité du bois et des assemblages était médiocre
- La charpente n'est pas visible et elle n'a pas été réalisée « dans les règles de l'art » à l'époque.

## 2. THÉÂTRE ROYAL DE LIÈGE

- Personne interviewé : Philippe Closset
- Date : 01 décembre 2015

### INTERVENTIONS

#### HISTORIQUE ET PRÉSENTATION

- Le bâtiment date de 1830, le fronton a été ajouté au 20<sup>e</sup>.
- On fonctionne avec deux volumes distincts : scène et salle

#### DEMANDES ET PHILOSOPHIE

Le bâtiment nécessite des transformations : une cage de scène plus grande et plus haute, de nouvelles techniques, des locaux supplémentaires... afin de pouvoir accueillir des tournées internationales. Il faut augmenter le volume uniquement au-dessus de la scène entraîne une dissymétrie du bâtiment, il est donc décidé, pour conserver l'harmonie, de hausser tout le bâtiment (on placera au-dessus de la salle de spectacle une salle de répétition et des bureaux)

- On supprime les appentis pour retrouver le volume d'origine (volumétrie de la fin du XIX<sup>e</sup>)

Scène :

- Les contraintes sont importantes (à cause des risques incendies) -> séparation de la scène et de la salle par un « rideau de fer », porte en guillotine + grand mur en béton et métal
- Structure principale : (voiles épais de 0,8 – 1 m)
- Modifications de la fosse d'orchestre (acoustique)

Salle :

- Classée

Analyses réalisées :

- Carottages
- Relevés
- Essais de sol (on se situe sur un ancien bras de Meuse, le sol est de mauvaise qualité)

Normes incendie :

- Division ancien/nouveau
- Balcons en fonte et bois : ne respectent pas les normes, ils ne sont pas RF (dérogations)
- Les bâtiments anciens ne sont pas soumis à l'arrêté royal : l'avis des pompiers a fait foi (suite à beaucoup de discussions)

Nouvelle structure :

- Grande poutre treillis, colonnes en béton et micropieux (choix du à la mauvaise qualité du sol). Il n'y a pas de point dur créé (la maçonnerie au mortier de chaux est suffisamment souple pour répartir les contraintes)

Coupole :

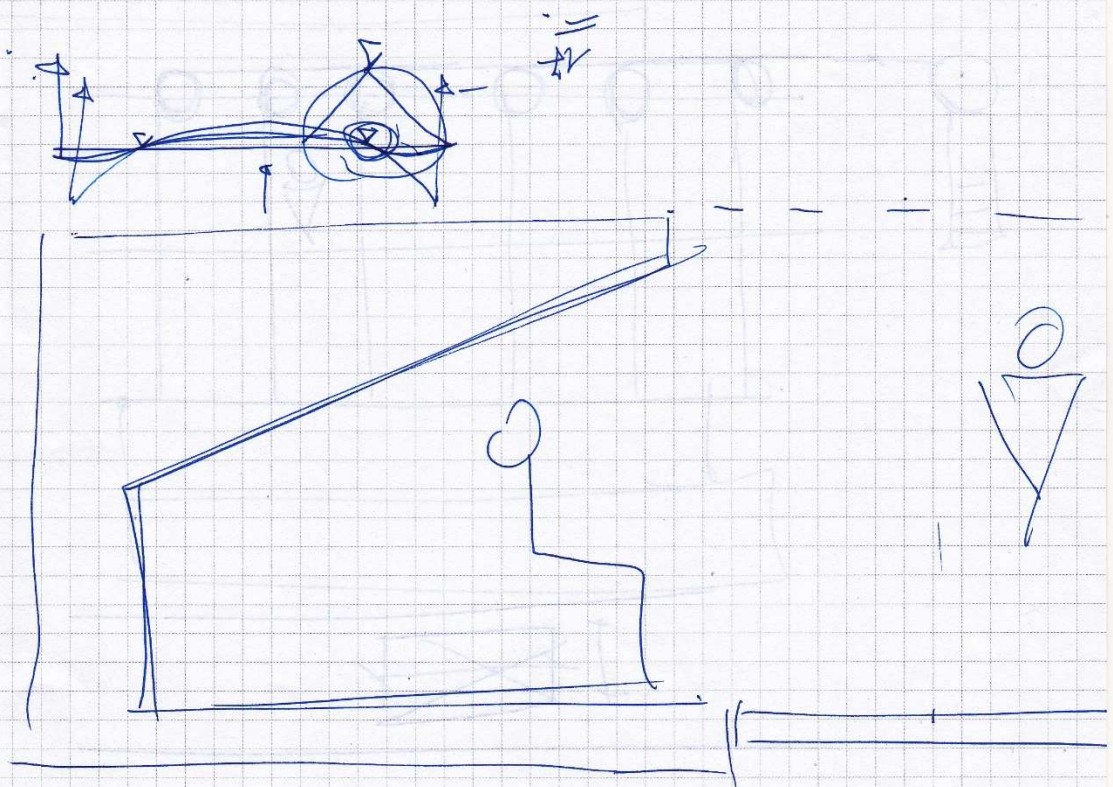
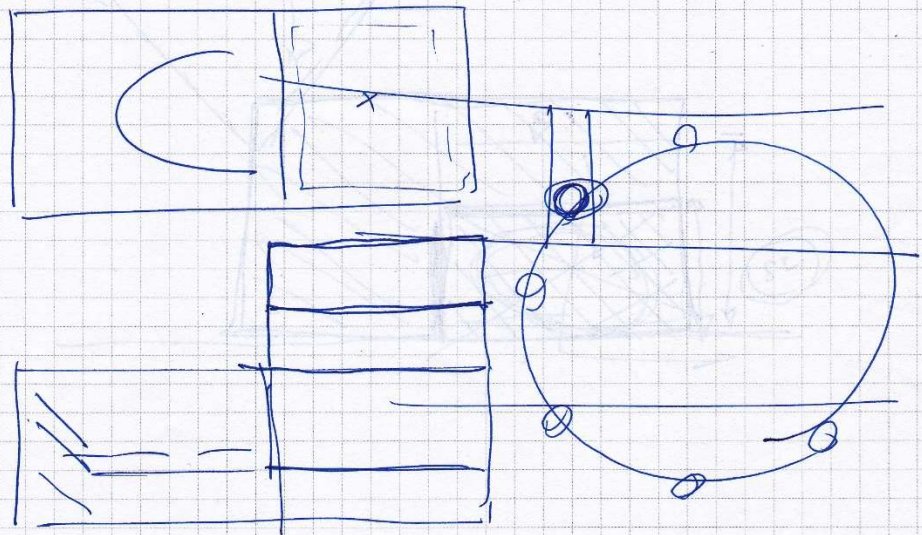
- Plafond classé suspendu à l'ancienne structure

Bureaux : planchers légers (bois et métal) afin qu'ils soient RF 2h, utilisation de promat (protection passive contre incendie) et plâtre

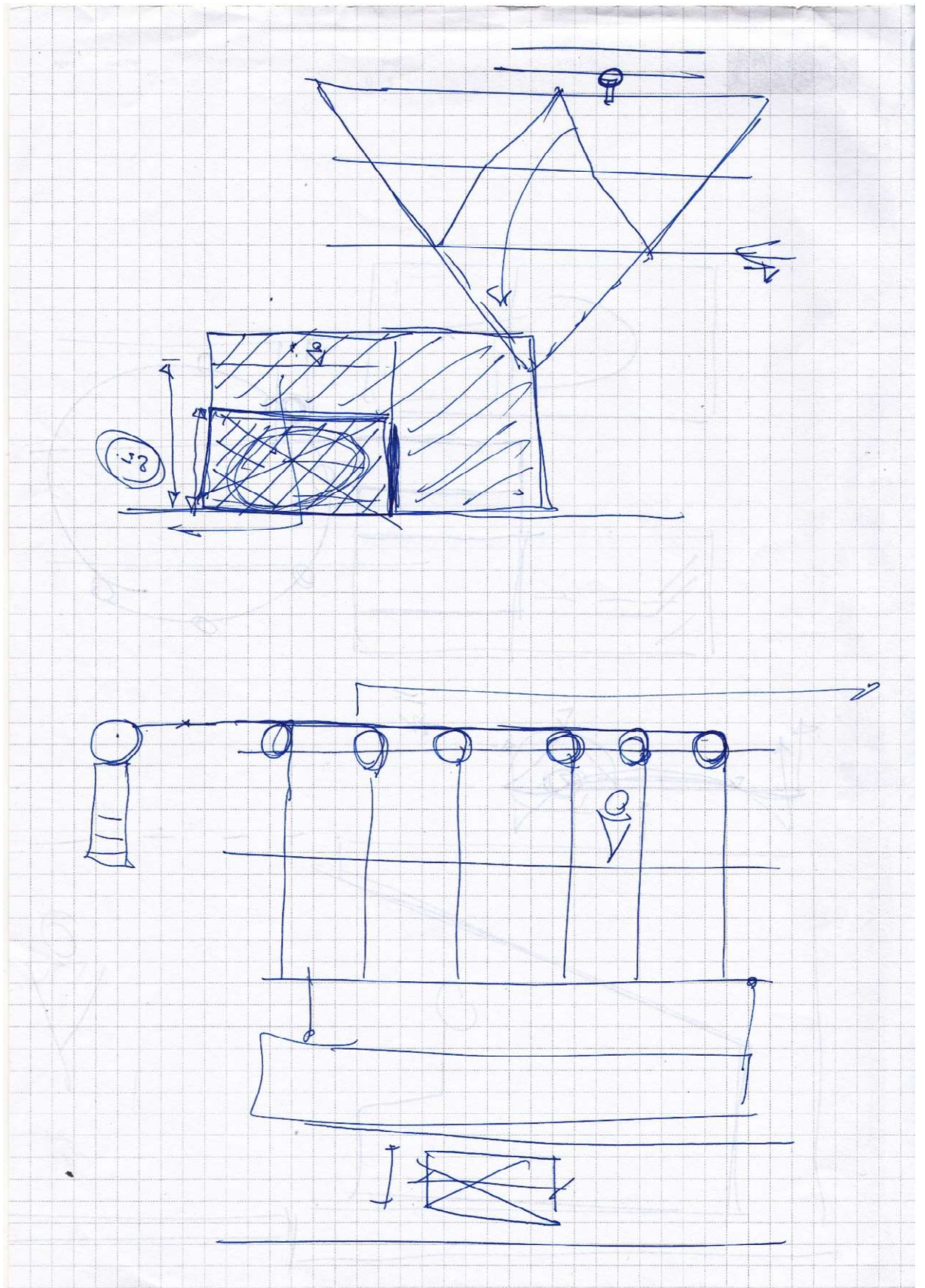
Salle de répétition :

- Plancher : hourdis + chape (pas de béton lourd)

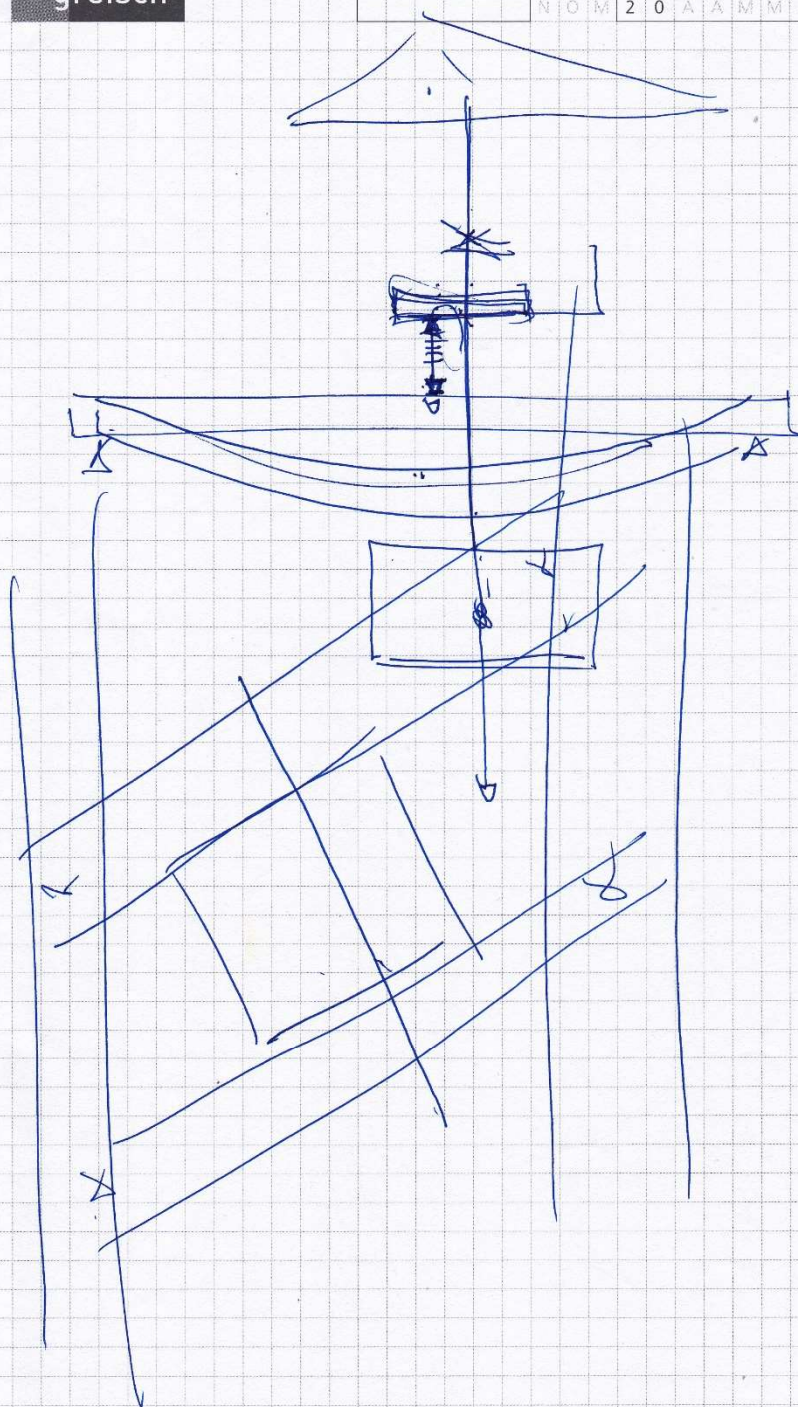
Création de 2 nouveaux ascenseurs.











### 3. HOTEL DESOËR

- Personne interviewé : Philippe Greisch
- Date : 18 novembre 2015

#### BASES

Tout projet est accompagné d'un comité (CMS + aménagement du territoire)-> très contraignant.

Les décisions prises avec ce comité ne sont pas remises en question par la suite. Cela permet de respecter les délais, d'avancer et de rassurer le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage.

Met en évidence le problème de la réaffectation -> il faut conserver le bâtiment mais aussi en assurer la viabilité -> implique des concessions.

#### PHILOSOPHIE

Charte de Venise :

- Éviter le « faux » et privilégier une intervention contemporaine permettant la lecture de l'ancien et du nouveau
- Réversibilité

#### SOLUTIONS

Avoir de l'imagination et de l'expérience

- Dérogations
- Contrôler le taux d'occupation (exemple du musée Curtius)
- Réaffectation : Annexe contemporaine comprenant les techniques.

#### HOTEL DESOËR

Objectif : Reconstruire l'aspect initial

Utilisation de nombreuses techniques :

- Dendrochronologie
- Relevés photogrammétriques (façades)
- Nettoyage au laser,...
- Analyse chromatique pour les tuffeaux
- Épinglage (insertion de barres en inox adhésives), les barres en tension permettent d'éviter les fissures
- Greffon pour les pierres

Les charpentes et les planchers ont été détruits lors de l'incendie.

- ➔ Nouvelles structure (reposant sur de nouvelles fondations) indépendante de la structure existante (planchers et colonnes en béton dans lesquelles passent les techniques). Les façades sont non-porteuses.

L'incendie a entraîné des dégradations au niveau de la façade, les tuffeaux ont explosé sous l'action de la chaleur. Les façades ont été complètement démontées et refaites (certains tuffeaux ont été

récupérés). Cette solution a été acceptée dans la mesure où on considère que la renaissance est une période de « façadisme », la façade est un décor.

De nouveaux tuffeaux ont été sculptés, les tuffeaux conservés ont été nettoyés au laser.

Tous les châssis ont été remplacés (aucune trace).

Pourquoi la tour de verre ?

- M<sup>2</sup> d'exposition manquant
- Permet l'insertion des techniques actuelles (ascenseurs,...) ce qui aurait été difficile dans l'ancien bâtiment

Forme : subjectif, le cylindre paraît « prendre moins de place » qu'un parallélépipède (même si cette forme n'est pas la plus adaptée pour les expositions). Le verre renforce l'idée de transparence pour laisser la place à l'ancien bâtiment.

Intervention de Henri Debras :

- Consolidation (création d'une poutre de ceinture qui a été refaite lors de la restauration de 2000).

#### À CONSULTER

- Herman, C., *L'hôtel Desoër à Liège*
- Jean Eischen

#### QUESTIONS

1. Pour les façades, le comité a préféré utiliser du tuffeau plutôt que du béton préfabriqué ayant le même aspect. Dans 100 ans, comment pourra-t-on identifier le tuffeau originel du tuffeau placé lors de la restauration ? Cela n'est-il pas en contradiction avec la charte de Venise ?
2. Le tuffeau n'est pas la pierre la plus résistante, peut-on se poser des questions quant à sa durabilité ?

#### 4. MAISON À PAN DE BOIS À EXBOMONT (22/02)

- Personne interviewé : Yves Jacques
- Date : 22 février 2016

#### MÉTHODE

Il a acquis ses connaissances en restauration en travaillant avec André Lejeune.

#### À CONSULTER

- A.M. Architectes associés S.A. (s.d.). *Descriptif du chapitre stabilité* : décrit les interventions menées sur la maison à pan de bois d'Exbomont.
- Haut fourneau Saint-Michel
- La Paix-Dieu (renforcement des planchers)
- Notre-Dame à la rose de Lessines

## INTERVENTIONS

### HISTORIQUE ET PRÉSENTATION

- Ferme datant de 1750, à trois travées

### DEMANDES ET PHILOSOPHIE

- Pour que le patrimoine continue à vivre, il doit s'adapter.
- Les intentions sont de conserver un maximum l'existant (le bois originel).

### INTERVENTIONS

- Études préalables : dendrochronologie, relevé archéologique

Ces études permettent de bien comprendre le bâtiment. Le relevé consiste à examiner chaque pièce en cours de chantier et on détermine si elles sont à remplacer ou non. Les pièces sont numérotées et on note leur position.

On observe que la structure est assez bien conservée.

- Stabilité

Les pans de bois n'ont pas été recalculés (bien dimensionné à la base), seule la nouvelle structure a été dimensionnée.

- Interventions

Les bois trop endommagés sont remplacés. Notamment les sablières, proche du sol, qui sont trop endommagées. On fonctionne en démontant les pièces et en observant leur état. On décide alors de les renforcer (greffons), de les remplacer ou de ne rien faire.

Le remplissage est démonté (torchis à réaliser par un artisan).

Une nouvelle structure métallique est conçue, c'est une sorte de « béquille intérieure » Elle permet :

- De libérer l'espace intérieur
- De créer une intervention clairement séparée de la structure existante (bien visible et clairement identifiable)
- Respecter des normes actuelles (volumes habitables) et de créer des planchers
- D'assurer la Réversibilité (n'altère pas la structure existante, fixation ponctuelles)

La structure est constituée de 6 colonnes sur 6 plots, ce sont des poutrelles d'acier HEA 120.

On reconstruit les murs déformés sans déformation (comme à l'origine), le toit est refait (grande déformation –fluage du bois- et ajout d'isolation), les tenons doivent être reconstitués.

## 5. CHARPENTES DE LA CATHÉDRALE DE TOURNAI

- Personne interviewé : Ghislain Clearbout
- Date : 05 avril 2016



## INTERVENTIONS

---

### CHARPENTE DU TRANSEPT

Suite à l'étude sanitaire, on se rend compte que les arbalétriers des fermes sont fort endommagés. Après calcul, on établit qu'une pièce assure encore ses fonctions même si elle perd 1/3 de sa section. Hors, à bcp d'endroits les pièces sont endommagées à environ 50%.

Pour redonner sa fonction statique, les pièces seraient à remplacer. Ce qui implique de remplacer 50 à 70% des pièces, ce qui est inacceptable comme expliquer plus tôt.

Plusieurs solutions ont été envisagées et la solution a au fur et à mesure évolué.

#### 4. Restauration classique

Il s'agit de remplacer les parties endommagées, d'utiliser de la résine, de réaliser des greffes... Cette solution entraîne.

- 5. Mise en place d'une seconde structure métallique, créant un « hangar ». Cela entraîne des problèmes pour l'esthétique et dénature.
- 6. Renforcer la structure existante.

En effet, la plupart des pièces sont encore bonnes et peuvent encore assurer leur fonction portante. Seuls les arbalétriers sont à renforcer.

Il a été décidé de placer un nouvel arbalétrier au-dessus de l'existant et de placer des appuis aux nœuds. Les parties bonnes travaillent encore.

Pour fixer le renfort, une tige est placée dans le nouveau chevron et reliée par deux tiges un plat passant sous l'ancien arbalétrier.

Cette solution est totalement réversible et totalement démontable. Toute la charpente existante est conservée.

---

### TOUR LANTERNE

La tour mesure 19m sur 23 et 26 m de haut.

C'est une des plus belle charpente romane d'Europe.

Une étude sanitaire a été réalisée, la majorité des nœuds sont à revoir. Il faudrait placer des tiges filetées dans la structure existante, entraînant une perte de la valeur archéologique.

La même démarche que pour les charpentes du transept a été effectuée.

L'ensemble repose sur un radier général composé de madriers.

Une fois le modèle réalisé par l'ingénieur, on se rend compte que les charges ne passent pas par le poinçon (environ 700 kg, ce qui est très peu). Or, les trois poutres ont été labourées et brisées sous le poinçon, ce qui veut dire que des charges passent. Un calcul inverse a été effectué. G Clearboot a estimé qu'il fallait 30 à 35 T pour briser ces poutres. Le modèle réalisé ne correspond donc pas à la réalité.

L'ingénieur souligne que le modèle représente la réalité mais ne lui correspond pas forcément. On en sait pas vraiment par où les efforts passent.

De plus, selon ce modèle, 25T devrait passer par les écharpes. Or celle-ci font 25x25, c'est donc impossible.

Les acteurs ont alors réfléchi à comment a été construit la charpente. Le radier a été construit, puis un tambour a été monté. Le reste de la charpente a été monté petit à petit.

Si on retire les écharpes dans le modèle, on se rend compte que 30 à 40 T passent par le poinçon, ce qui correspond plus à la réalité.

Pour adapter le modèle à la réalité, on le modifie petit à petit, en enlevant des pièces... Et finalement on arrive à la charge estimée par G Clearboot.

Les écharpes ont donc servi au montage et non au contreventement.

On constate également que les pieds de charpentes ont bougé de 25 cm et que les chevrons ont été coupés. Ils ne fonctionnent donc pas.

Si toute cette analyse n'avait pas été faite, on aurait sans doute renforcé les écharpes pour qu'elles puissent reprendre 25 T. Cela aurait été une intervention assez lourde.

Le radier s'est affaissé de 8 cm.

Cette solution est également réversible et est indépendante, donc permet de ne pas toucher aux pièces en place et de garder la lisibilité de la structure

Deux poutres métalliques sont placées entre les madriers (au lieu de renforcer les poutres en bois). Les placer entre n'est pas visible. Ce système soulage la structure existante, PARACHUTE.

Deux poutres perpendiculaires sont placées sous ces poutres métalliques.

Une barbotine continue est créée pour empêcher l'ouverture de la structure.

Un plancher cloué à 45° permet de contreventer l'ensemble.

## 6. ÉTABLE TRANSFORMÉE EN HABITATION À CHAPON-SERAING

- Personne interviewé : Thibaut Brogneux
- Date : 12 avril 2016

### INTERVENTIONS

1. Quels types d'études préliminaires avez-vous eu besoin de réaliser pour ce projet ? (étude historique, étude sanitaire, relevés, ...)
  - relevé géométral
  - étude historique très limitée... informations lapidaires reprises à l'inventaire du patrimoine et informations du propriétaire actuel (la maman du client habite dans le corps principal de la ferme).
2. Avez-vous réalisé une étude historique ?

non

3. Pourquoi avez-vous décidé de créer une structure métallique ? Quels sont les avantages d'une telle intervention ?

présence de voussettes en briques appuyées sur poutrelles métalliques existantes —> souhait de garder cette mise en œuvre du passé avec l'intérêt de l'aspect brut du matériau

Dès lors, les renforcements de structure, nécessairement laissés apparents au rez-de-chaussée dans l'esprit « loft », pouvaient être idéalement en structure métallique également.

#### 4. Comment en êtes-vous arrivé à cette solution ?

Voici le cheminement en gros des réflexions pour les voussettes :

7. A vue de nez, la structure existante était trop faible : portée importante des poutrelles métalliques, couche de béton coulée sur le plancher supérieur apportant du poids propre sans collaborer véritablement à la résistance de l'ensemble (dalle non armée, fissurée à plusieurs endroits) pas dimensionnée pour les normes actuelles et, dès lors qu'il y avait changement d'affectation (étable en habitation), je souhaitais renforcer la structure. Raison supplémentaire : cloisonnage pour les chambres prévu à l'étage = charge ponctuelle sur chaque poutrelle, alors qu'actuellement zone de stockage (foin, etc.) = charge répartie. NB : à chargement total égal, une charge ponctuelle appliquée à une poutre provoque un moment 2 X + important que cette même charge répartie sur toute la poutrelle.
8. Vérifications : calcul à la flèche, pas dans les normes actuelles —> risque de fissuration des cloisons à l'étage, etc.
9. Nécessité de créer un appui intermédiaire —> au rdc, nécessité d'une poutre perpendiculaire aux voussettes (ou mur, mais vu que le souhait était de laisser le rdc totalement ouvert —> poutre)
10. quel matériau ?
  - bois : aurait nécessité une hauteur trop importante et/ou des points d'appui trop fréquents, puis quel sens dans un bâtiment où la structure de plancher est métallique ? difficile de créer une poutre continue (presque nécessaire, car on ne pouvait placer des colonnes à n'importe quel endroit en fonction des futures espaces : salon, escalier, cuisine... et donc les portées de certains tronçons allaient être un peu grand de toute façon)
  - béton : possible, mais à nouveau hauteur trop importante : effet massif non souhaité et quid passage sous la poutre ? mais possibilité de créer une poutre continue avec armatures sup. adaptée, toutefois plus de main d'œuvre et quid mise en œuvre pour la couler car au plafond ?
  - acier : cohérence avec existante et meilleur rapport hauteur / portée + effet visuel plus léger (car en H) / grande portée, moins d'appuis, possibilité de faire des jonctions à différents endroits (à l'endroit des moments nuls dans le diagramme des moments, sous charges fixes)

Voici le cheminement en gros des réflexions pour l'étage (portique soutenant la toiture) :

1. A vue de nez, poutres en bois initiales trop faibles : flèche déjà bien visible, toiture non isolée sans finition intérieure remplacée par toiture isolée avec plaques de plâtre & charges de neige actuelles = plus de poids
2. trois solutions : A. placer des poutres plus importantes, mais certainement nécessité de placer des 10/30 (car portées 7 à 8 m), quid flèche et appui du côté mur intérieur : il n'était pas assez fort (car 1 brique d'épaisseur) B. idem avec une grande poutre faîtière en BLC puis chevrons porteurs faîte-bas de versant : si flèche poutre faîtière pas bien maîtrisée,

risque de poussée au pied des murs, hors les murs n'étaient pas en bon état et absence de poutre de ceinture béton p.ex. pour reprendre ces poussées C. diviser la portée en deux

3. choix solution C, car cela allait permettre de réduire la hauteur de la toiture (pannes 6,5/18) et de ne pas trop charger le mur intérieur (côté volume vers cour)
4. appui central = mur ou ferme : non car nécessité d'avoir un espace ouvert à l'étage aussi —> portique
5. portique bois trop encombrant —> portique métalliques le plus efficace et possibilité de s'appuyer sur le sol de l'étage et non sur les murs gouttereaux en briques : les murs ne sont pas soumis à moment de flexion
6. les poussées au pied du portique sont reprises dans une poutrelle existante du plancher de l'étage: acier mis en traction
7. cette poutrelle allait être un peu moins chargée que les autres (car création d'une trémie dans le plancher) = réserve au niveau des contraintes = possibilité de rajouter de la traction
8. aux appuis : vérif que le poids supplémentaire du portique reprenant la toiture n'allait pas causer de problème : ok car appui portique sur poutrelle est près de l'appui de la poutrelle existante sur le mur = vérif effort tranchant et pas problème de moment + au niveau des maçonneries vu que création d'une trémie d'un côté, cela faisait bouf (moins de poids de plancher = plus de poids de toiture), de l'autre côté, nécessité plus importante d'un asselet de répartition sur maçonnerie.

5. Comment avez-vous travaillé avec l'ingénieur ?

J'ai réfléchi aux différentes solutions cf. point précédent : ai demandé de vérifier la solution finale à l'ingénieur et c'était bon.

6. Comment avez-vous acquis l'expérience pour travailler sur un bâtiment patrimonial ?

Stage réalisé dans un petit bureau d'architecture où j'ai eu les mains dans le cambouis dès le début : bcp de rénovations à gérer de A & Z, bcp de chantier = mise en application des éléments théoriques vu lors de nos études avec une pratique in situ;

Plus largement, sur un bâtiment patrimonial : cf. points 1 & 2, vu que pas d'étude historique spécifique, la démarche a été de conserver et respecter les éléments racontant une histoire du passé (voussettes, brique apparente, clefs en façade, encadrement en PB, etc.), tout en intervenant de manière contemporaine. En somme démarche de l'architecte comme tout autre rénovation... la dimension patrimoniale n'est peut-être pas clairement mise en avant comme on pourrait le voir dans des chantiers sur bâtiments classés, avec tout ce que cela peut comporter comme démarches administratives, archéologiques, etc.