

ROBERT LOURDIN
Ingénieur C. N. A. M.
Architecte D. P. L. G.
EXPERT JUDICIAIRE honoraire

54 RUE DE PICPUS, 75012 – PARIS

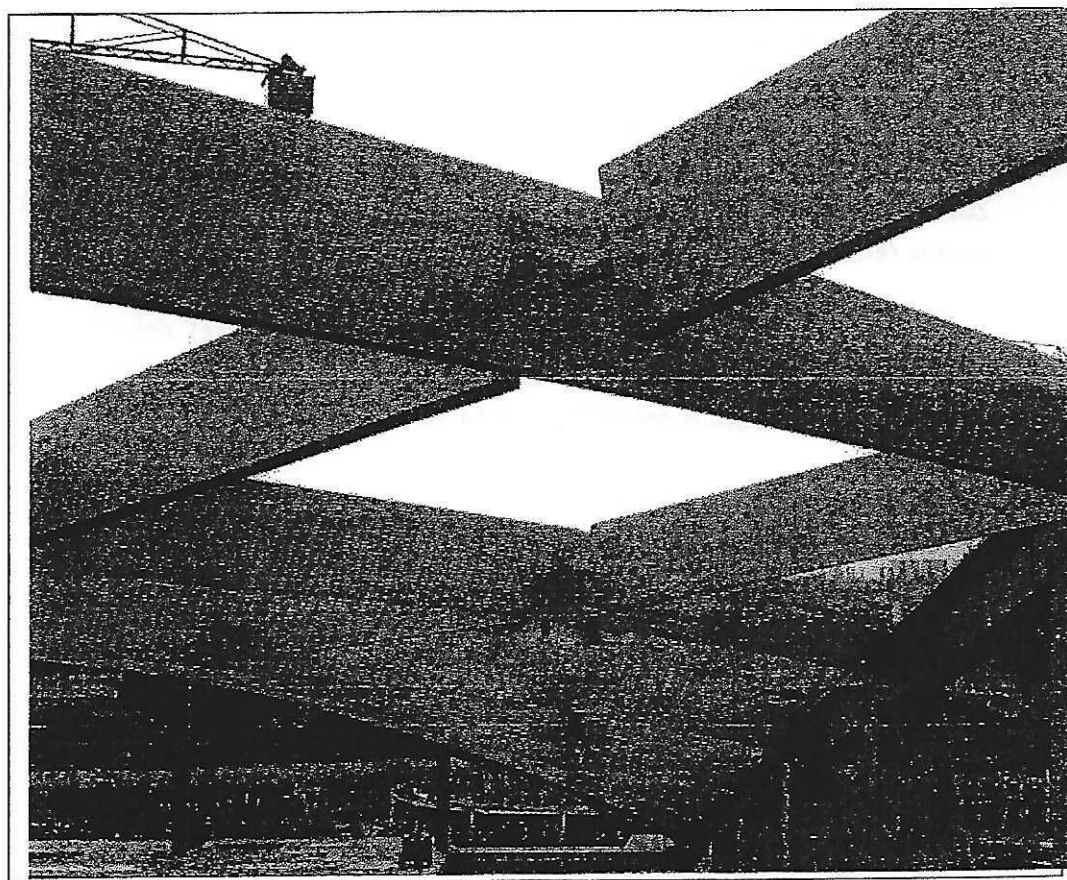
T : 09.71.40.05.91
P : 06.48.11.79.59
lourdin.robert@wanadoo.fr

VILLE D'AULNAY-SOUS-BOIS

STADE NAUTIQUE DE COURSAILLE
SINISTRE DE LA CHARPENTE DE L'OUVRAGE

RAPPORT

SUR LES OPERATIONS DE DIAGNOSTIC



PARIS, le 05 Mars 2015.

I. PREAMBULE

La Ville d'AULNAY SOUS BOIS a subi mi septembre 2014 un sinistre de rupture d'une pièce de la charpente lamellée collée couvrant depuis 1968 le STADE NAUTIQUE DE COURSAILLE.

Les Services Techniques alertés ont fait appel de suite au **Bureau d'études bois Groupe RATHEAU** et au charpentier **Société POTEL**, aux fins de comprendre la nature et la gravité du désordre ; et à la **Société ENTREPOSE** aux fins d'établir un échafaudage d'urgence de la zone sinistrée.

Ils ont aussi confié Mission au Contrôleur Technique **BTP Consultants** dans le cadre d'une collaboration contractuelle existant entre la Ville et cet organisme.

Par suite, le Gestionnaire du Patrimoine bâti responsable de l'ouvrage a recherché en ma personne le concours d'une assistance technique à Maître d'ouvrage.

Celui-ci m'a transmis un premier dossier photos en date du 15 septembre 2014 ; et au 17 septembre 2014, une descente de charge du BET RATHEAU ainsi le devis d'étalement de la Société ENTREPOSE.

Nous avons également convenu d'un premier rendez vous sur place le 23 septembre 2014 à 10 heures sur site, aux fins d'établir un programme de la suite des opérations pour la réfection et réouverture des lieux.

Ainsi, en découvrant le sinistre, j'ai de fait (et vu l'urgence) débuté une action d'assistance technique à Maîtrise d'ouvrage ; dont le présent RAPPORT rend compte jusqu'à ce jour de clôture, selon décision du Maître d'ouvrage.

II. RESUME DES ACTIONS EFFECTUEES

2.1. le 23 septembre 2014, nous avons tenu une première réunion sur site sous la direction des Services Techniques de la Ville avec la participation du BET, du Contrôleur Technique et des Entreprises.

→ le BET RATHEAU avait déjà produit en date du 16 septembre 2014 une descente de charge pour l'étalement de la Société ENTREPOSE.

Cette Entreprise avait par ailleurs pratiquement terminé la mise en œuvre du soutènement de l'ARC sinistré A6, après accord préalable du Contrôleur Technique.

Lors de l'examen des ouvrages, il est apparu que l'ARC adjacent A5 présentait également une fissuration ouverte ; laquelle a nécessité en suivant un complément d'étalement fait en extension de celui déjà réalisé.

→ Nous avons procédé à une première analyse de la situation générale découlant du sinistre, tant matérielle qu'administrative ; établissant :

- En l'état administratif de la situation de chacun des participants, la Mission de chacune des parties présentes en l'affaire eu égard aux nécessités des passations de commande
- Les premiers constats visuels de l'état des pièces sinistrées, avec un premier relevé d'hygrométrie des bois rompus ; dont les basses valeurs d'humidité en service interpellent sur les caractéristiques du matériau.
- Les premières directives de recherche de l'état de stabilité de l'ouvrage dans la zone sinistrée et son impact sur la stabilité d'ensemble de la charpente.

EN RAPPEL DES OBSERVATIONS FAITES :

La charpente du Centre Nautique de Coursaille est composée sur un plan carré de 42m de côté, par une résille à double courbure (selle de cheval ou Paraboloïde-Hyperbolique selon les termes usuels (PH) définissant cette forme).

Elle est matérialisée par des ARCS tendus ou comprimés en bois lamellés collés recevant un remplissage rigide support de couverture.

Les ARCS sont ainsi reliés entre eux par des panneaux préfabriqués ossaturés en treillis multiple rigidifiant le plan de couverture, protégés par une étanchéité multicouche.

Ces ouvrages sont lancés entre des rives métalliques obliques portées sur des contreforts en caissons métalliques.

Ceux-ci sont de hauteurs progressives selon une double ascendance à partir de la diagonale de base du plan, point bas de l'épure géométrique de l'ensemble.

Les deux points hauts de cette coque sont à une altitude différente, la rive la plus haute couvrant la zone de la fosse à plonger.

Sur le plan mécanique, cette différence crée une dissymétrie de la distribution des efforts dans cette zone, où se situe l'ARC A6 sinistré.

L'ensemble de la nappe de structure ainsi édifée présente des déformations différentielles selon les nœuds de raccordement des Arcs de la résille ; avec une rupture de cohésion du bois lamellé collé dans la zone sous la fibre neutre de l'Arc A6 selon une parallèle suivie avec un joint de collage.

D'après les indications des Services Techniques et suivant les traces de colle sur les bois, des travaux d'injection sur des fissures ont été réalisés en 1989 par une Société spécialisée.

Les pièces bois lamellé collé présentent, selon position, des traces (ou des ouvertures) de fissurations de « retrait contrarié » ; des « fissures de délamination » ; ou / et des ruptures de collage des entures de raccordement des lamelles élémentaires.

L'Arc A6 est fendu, avec une double ouverture de fissures traversantes positionnées dans la hauteur du bois sous fibre neutre ; dont la principale est partie d'une délamination du joint de colle, avec rupture d'entures dans les lamelles adjacentes

La pièce s'est dédoublée dans cette hauteur sur 6,50m environ ; avec une dissociation totale de 0 à 5cm de hauteur dans sa zone de sollicitation maximum.

Dans celle-ci, on relève un taux d'humidité des bois d'environ 7%, alors que ceux-ci devraient être au minimum à 10% environ ; ce qui modifie les caractéristiques intrinsèques du matériau dans des proportions dont les règles professionnelles ne donnent pas connaissance.

La problématique des désordres résultants de ces constats est donc complexe, car pouvant résulter de causes multiples.

Pour les reconnaître, il convient :

- En premier,

de connaître le taux d'humidité des pièces de bois dans l'ouvrage (fonction de leur équilibre suivant la température et l'humidité de l'air), aux fins de savoir si l'ensemble des bois de la charpente est affecté par cette dessiccation ; ou si ceci est localisé dans la partie haute affectée par le sinistre, laquelle subit un traitement particulier de reprise de l'air ambiant du volume piscine (défaut déjà signalé en 1989 par SOCOTEC).

- **En second,**

il convient de connaître les efforts (et les contraintes) des diverses pièces de bois de l'ouvrage en tenant compte des déformations constatées de la coque et des variations de volume des bois.

En effet, une surface à double courbure inverse reprend les sollicitations de pesanteur essentiellement par équilibre des cisaillements et sans flexions principales, schéma que les déformations modifient profondément en créant des flexions parasites.

Et ceci est susceptible d'affecter toutes les pièces, pas seulement l'ARC A6 ; ce qui peut être qualificatif de l'étendue d'éventuelles reprises.

→ D'où la nécessité, avant de définir un mode de réparation de la pièce visiblement rompue, de connaître :

- l'humidité de l'air et les températures au sol et en point haut du bâtiment, pour voir quelles pièces de bois sont affectées de dessiccation.
- la valeur des déformations en chaque nœud, afin de pouvoir établir l'état de contrainte des pièces dans les deux directions des nervures de la résille, afin de savoir si la réparation peut être localisée aux ruptures visibles ou doit être plus ou moins généralisée.

Ceci suppose connaître par le calcul :

- les contraintes théoriques initiales
- les contraintes avec les déformations actuelles.

Ceci en relation avec la géométrie existante dans l'ouvrage.

C'est le travail des recherches préalables, avant de pouvoir préconiser une solution de réfection et d'évaluer son budget.

DECISIONS

Dans ce cadre :

- Les Services Techniques de la Ville ont pris en charge :
 - La gestion de la partie administrative des commandes d'urgence et des O.S. y relatifs, ainsi que des décomptes et règlements résultants.

- La mise en œuvre des mesures d'Hygrométrie et de Température du volume de la piscine, en intéressant à l'opération l'exploitant, la Société AXIMA.
- Le BET RATHEAU s'est engagé à produire les devis relatifs aux coûts de la mise en œuvre des mesures d'humidité des bois et du relevé de l'état de fissuration des pièces de la résille, ainsi qu'à confirmer les coûts des études de diagnostic de la structure en fonction du schéma des recherches arrêtées.
- Le Contrôleur Technique, Monsieur BARON a fait de même.
- Les Services Techniques se sont interrogés sur l'adjonction d'un Architecte Maître d'œuvre dans l'équipe, compte tenu des divers corps d'état à gérer.

2.2. Le 02 octobre 2014 s'est tenu une deuxième réunion sur site.

→ **Présents :**

Voir compte rendu de Monsieur ROUX suivant convocation du 29 septembre 2014

→ **Constats :**

Hygrométrie des bois : de 7% en parties hautes fissurées accessibles de l'Arc A6, à 12% au sol en pied des bois de la résille.

Cette variation observée nécessite donc bien de poser le diagnostic de cartographie de la dessiccation des bois en fonction du contrôle de l'humidité et de la Température de l'air.

REMARQUE

*En 1984, l'installation d'origine du traitement d'air de la piscine a été rénovée.
La première intervention sur des reprises de fissuration des bois de structure est de 1989, avec des remarques de SOCOTEC sur l'état de dessiccation des bois en partie haute.
Depuis, les choses sont restées en l'état, les réglages T et H de l'air donnant satisfaction d'exploitation.*

Il convient donc bien d'établir la relation entre le contrôle de l'air et l'humidité des bois qui en résulte, en étalonnant les valeurs respectives de ces deux constituants ; ce qui est demandé pour le bois au BET Groupe RATHEAU ; et qui a motivé la demande d'intervention des Services Techniques à l'exploitant thermique (Société AXIMA) pour les recherches sur les caractéristiques de l'air dans le bâtiment.

→ Parallèlement, il convient d'établir par un scanner 3D le relevé réel de la déformée du PH par rapport à l'épure théorique d'origine, aux fins de calculer les contraintes des bois dans l'ouvrage déformé.

Cette opération doit être conduite in situ en parallèle avec le contrôle d'humidité des bois, aux fins de mettre en commun les matériels de relevé dans le volume bâti.

→ Une proposition de planning pour la phase DIAGNOSTIC est prévue à fin octobre 2014, la date de fin des opérations de diagnostic étant proposée au 15 décembre 2014.

→ La Société CAURIS, Monsieur BARROT, Architecte pressenti par les Services Techniques de la Ville pour assurer une Maîtrise d'œuvre de réfection, doit établir une proposition d'intervention par phases séparées couvrant études et réfection.

Elle portera sur la mise en œuvre du mode opératoire de réparation qui découlera du diagnostic et des processus d'appel d'offre et d'intervention des réparateurs qui seront recherchés.

Les Services Techniques entendent passer en premier la commande du Diagnostic, la phase travaux étant suspendue aux décisions de réfection de la Ville.

→ J'ai produit par mail au BET une NOTE TECHNIQUE sur l'humidité des bois et les étalonnages des différentes mesures, ainsi que l'adresse d'un géomètre expérimenté en matière de relevé 3 D.

2.3. Le 16 octobre 2014 s'est tenue d'une 3^{ème} réunion sur site

→ **Présents**

Voir compte rendu de CAURIS, Architecte MOE.

→ **Le BET RATHEAU**

- Fait part de la consultation de deux géomètres – (Cabinet GEX 4D et Société COGERAT) Ceux-ci doivent produire un devis du relevé 3D de la charpente existante.

Celui ci sera complété par un relevé quantitatif avec photographies des fissures des pièces et enregistrement de l'humidité des bois in situ.

- Précise que le relevé des poteaux métalliques porteurs des façades et de leurs sections est prévu dans son diagnostic.
Il lui est demandé d'introduire la stabilité des façades dans ses calculs, aux fins de tenir compte de leurs déformations, les plans détaillés de ces ouvrages étant en possession des ST.

→ **Monsieur ROUX**

Transmet le premier relevé fait par AXIMA de la Température et de l'Humidité de l'air du volume de la piscine couverte, du 02 octobre au 16 octobre 2014.

→ de leur premier examen, il ressort :

Au niveau des plages sol,	T =	21,8 degrés	(écarts + 30% - 16%)
	H	55,2 %	(écarts + 27,3% - 31,5%)
Au niveau du plafond (zone A6)	T =	22,7	degrés /écarts 53,31% - 21,1%
	H =	53,2 %	(écarts + 30,2 - 42,7%)

Ces valeurs sont indicatives d'un équilibre non encore atteint ; leur base sera comparative, mais non directive, lors des prochains résultats.

NOTA :

A titre de référence, pour le bois des structures dans la piscine en fonctionnement, il est important d'avoir :

T ≠ 25° et H ≠ 60%, aux fins que les bois en œuvre s'équilibrent à ≠ 10% d'humidité.

Cette donnée prend en compte les besoins minimaux en équilibre d'humidité du matériau bois à température moyenne de service de la piscine (bassins et fosses en activité) et l'exigence réglementaire minimale de température de l'air ambiant nécessaire à la notion de confort d'exploitation.

L'équilibre du volume d'air intérieur est naturellement différent selon les conditions d'exploitation.

Depuis le sinistre, la piscine n'est plus en exploitation et les bassins sont vides ; ce qui conduit, pour les besoins du renouvellement d'air dans le bâtiment fermé, à maintenir une ventilation de base.

En cette période hivernale celle-ci doit équilibrer températures et humidités intérieures aux fins de limiter les condensations en parois froides, notamment sur les façades vitrées.

Si cette situation de non utilisation devait perdurer, il serait nécessaire de demander à un spécialiste qualifié d'étudier la possibilité d'établir une ventilation naturelle assurant la conservation du volume principal ; bien que le bâtiment ne soit à priori pas actuellement conçu selon l'exploitation de ce principe (entrées et sorties d'air naturel dans l'enveloppe et la couverture).

Si l'importance du volume à traiter peut être compatible avec la mise en œuvre d'une telle solution, l'exigence d'équilibre du bois à 10 % H serait couverte de 0 à 35° T avec 50 à 60% H (air).

→ Un premier planning opérationnel prévoit que :

- Semaine 43, le BET produit aux ST les devis relatifs aux études de diagnostic, aux fins que ceux-ci soient étudiés avec un accord préalable permettant de commencer leur mise en œuvre semaine 44 ; et pris en compte dans une prochaine réunion fixée au 06 novembre 2014 – 9 heures 30 sur site.

NOTA

Le devis groupe RATHEAU N° 1410-442 (diffusé après le 16 octobre 2014) a précisé et chiffré toutes les prestations demandées, pour un total de 24 000 € H.T. (28 800 € TTC).

→ J'ai produit, sous forme de NOTE en date du 22 octobre 2014, une première synthèse de mes observations sur l'état de l'ouvrage et l'avancement des études du DIAGNOSTIC.

2.4. Le 6 novembre 2014 s'est tenue une 4^{ème} réunion sur site

→ **Présents :**

Voir compte rendu de CAURIS Architecte – Maître d'œuvre.

→ **Monsieur ROUX**, pour les ST de la Ville, Maître d'ouvrage :

- Informe que les dispositions administratives encadrant l'opération DIAGNOSTIC initiée du fait de l'urgence, sont engagées par la commune
- Transmet l'enregistrement des relevés T et H faits par AXIMA entre le 17 octobre 2014 et le 31 octobre 2014.

→ **De leur premier examen, il ressort :**

- Que les conditions d'exploitation ont été changées dans la période de mesure ; rendant inopérables les données précédemment acquises.
- Que l'on peut par recoupements supputer que la valeur de T (température de l'air) présente une variation de 1% entre le niveau des plages et le niveau haut ARC A6 ; et selon les mêmes hypothèses, une différence de H (humidité de l'air de 2%)

Je demande que dorénavant T soit réglé en exploitation à 20° (la piscine n'étant pas en exploitation) avec une disposition de renouvellement de l'air soit tout en air neuf, soit tout en renouvellement d'air à **réglage constant**, aux fins de pouvoir raisonner sur une base constante.

- Complémentairement, des mesures faites avec mon hygromètre TRAMEX font apparaître que le bois en niveau haut reprend un peu d'humidité ; ce qui est normal selon la théorie, mais pas encore suffisant pour en tirer leçon.

→ **Le BET RATHEAU**

- Expose que le géomètre n'a pu intervenir semaine 44 comme prévu ; mais débute sur site à partir du 07 novembre, avec les équipes de mesure et de relevé du BET et du charpentier.

Les opérations sur site sont prévues du 07 novembre au 21 novembre.

Les exploitations des relevés seront produites première semaine de décembre.

Ceci conduit à fixer une prochaine réunion au 04 décembre 2014.

- Produit un premier dossier du calcul de vérification des bois de la résille dans la forme théorique de la géométrie conceptuelle d'origine de la charpente du PH de couverture.

Un premier examen montre que dans cette configuration les contraintes dégagées par le système sont partout acceptables ; avec, selon les règlements de l'époque, un confortable coefficient de sécurité sur les contraintes admissibles.

Il en ressort, compte tenu du sinistre, que la recherche des déformations réelles est bien une nécessité ; ce qui ne se fera qu'après l'introduction dans le calcul des déformées relevées par le laser 3 D

→ Je dresse un premier bilan de nos recherches et rappelle leurs objectifs, tels que définis en page 1 ci-avant.

2.5. Le 04 décembre 2014 s'est tenue une 5^{ème} réunion in situ

→ **présents :**

voir compte rendu N° 2 de CAURIS – Architecte –

→ **j'expose aux présents**

Que de nombreux échanges techniques avec le BET RATHEAU ont eu lieu dans cette période, au cours de laquelle il apparaît que :

- Le géomètre a mis plus de temps qu'il n'avait prévu pour effectuer ses relevés in situ ; et surtout pour exploiter ses résultats, cette deuxième phase de son travail n'étant pas encore totalement produite au groupe RATHEAU pour lui permettre une exploitation directe de ses données dans ses calculs avec déformations.
- Les résultats des premiers calculs faits en tenant compte des déformations des façades varient peu en comparaison des calculs effectués avec façades bloquées ; ne révélant pas de déformations-contraintes que l'on ne puisse expliquer dans le cadre de règlements existants ; mais ils n'intègrent pas encore toutes les données de l'existant, notamment les déformées de la charpente.
- Les calculs découlant du logiciel mis en œuvre par le BET ne sont pas complètement significatifs du travail en PH de la structure.

Ils nécessitent l'introduction dans les hypothèses de la seconde direction de reprise des efforts par la résille du PH ; ce qui est consommateur de calculs et de délais.

→ **Le BET RATHEAU**

- Présente le dossier du relevé des sections et des humidités des bois en œuvre (réalisé à la nacelle) ; ce qui, coordonné avec les photos y afférentes, va lui permettre de qualifier et quantifier la réfection des fissurations.
- Propose de tenir une réunion conclusive début janvier compte tenu de la période de NOEL.

Madame JAHNICH argue que ce délai lui est nécessaire pour terminer les calculs de l'existant déformé et établir une proposition technique de reprise avec son pré-chiffrage ; et sous réserve d'une réunion intermédiaire technique d'appréciation de ses options.

→ Après débats, il est évoqué que Monsieur LOURDIN se rende aux bureaux des établissements RATHEAU le 17 ou le 23 décembre 2014, avec le Contrôleur Technique Monsieur BARON (selon disponibilités de celui-ci) ; et que la réunion générale conclusive avec évaluation des coûts travaux soit tenue le 22 janvier 2015 sur site.

Rendez vous à confirmer entre les intéressés.

→ **Monsieur ROUX**, pour les Services Techniques de la Ville :

- Produit l'enregistrement des relevés T et H faits par AXIMA entre le 7 novembre et le 24 novembre 2014.

→ De leur premier examen ressort que la température moyenne de l'air du bâtiment est maintenant de 24,5 degrés avec une humidité moyenne de 38%.

Ces valeurs conduisent à un équilibre d'humidité des bois de 7%, qui ne suffisent pas au bon comportement de fissibilité du matériau en site Classe II (classement correspondant à l'exploitation du bâtiment).

Pour rappel les bois devraient être au minimum à 10% d'humidité à cœur.

A priori, ressort donc un problème d'adéquation du traitement d'air en partie haute de la piscine couverte avec la nécessaire humidité naturelle ambiante d'équilibre des bois mis en œuvre.

Les observations faites montrent que cet équilibre du bois est bien respecté en parties basses de l'ouvrage ; c'est donc bien le traitement de l'air en parties hautes de la voûte qui apparaît à revoir.

- Informe que les démarches administratives de régularisation des lettres de commande des missions d'étude sont en cours au service des Marchés.

2.6. Le 17 décembre 2014 s'est tenue d'une sixième réunion in situ.

→ **Présents :** voir compte rendu CAURIS N° 3.

→ **Monsieur BARON** Contrôleur Technique ne pouvant se libérer avant début janvier 2015, cette réunion s'est tenue avec les collaborateurs techniciens du BET et les Services Techniques, aux fins de recadrer le planning en tenant compte des avancées de l'étude de structure.

- Les résultats des calculs réalisés par le BET une fois exposés, il ressort la nécessité, compte tenu des spécificités du logiciel ITECH mis en œuvre, d'en réaliser une analyse par phases afin de vérifier que la logique des opérations d'introduction des déplacements réels de l'ouvrage au cours de ses années d'existence se retrouve bien prise en compte dans les résultats prévisionnels obtenus ; ce qui n'apparaît pas homogène dans toutes les conclusions présentées.
- Il est décidé qu'une réunion technique se tiendra au bureau du groupe RATHEAU avec Monsieur LOURDIN le 23 décembre 2014 ; une réunion de présentation des résultats sera faite dans les mêmes conditions à Monsieur BARON le 06 janvier 2015, précédant techniquement la réunion conclusive fixée au 22 janvier 2015.

→ Ce jour, une mesure d'Humidité de 7 à 7,5% dans les bois de l'Arc A6 a été relevée avec l'hygromètre à pointes TRAMEX ; ce qui confirme le faible taux d'Humidité de l'air en partie haute.

Il est rappelé pour AXIMA qu'il est souhaitable avec T à 25°, d'obtenir un taux d'humidité relative de 60%, aux fins que les bois s'équilibrent à 10% minimum.

→ **Le BET RATHEAU**

Confirme avoir reçu les plans des relevés du géomètre en date du 11 décembre 2014. Le document produit les plans de comparaison entre la géométrie théorique de la structure initiale et celle relevée in situ.

Les missions périphériques préalables aux calculs étant ainsi finalisées, il reste à produire l'analyse affinée des résultats des calculs.

Ce qui sera proposé le 23 décembre 2014.

2.7. Le 23 décembre 2014 – s'est tenue une réunion technique dans les bureaux du groupe RATHEAU.

→ **Présents** – Madame JAHNICH – Monsieur BRAULT – Monsieur LOURDIN

→ **Examen des propositions faites**

De l'ensemble des études produites par le BET depuis le début de son intervention se dégagent en synthèse les données suivantes, matérialisant les étapes principales de la recherche des causes du sinistre et des possibilités de réfection de l'ouvrage :

NOTA :

Les calculs ont été conduits selon l'EUROCODE 5 ; et en fin de phase 4, recoupés par rapport aux règles CB71 (bien que l'ouvrage date de 1968) ; sans que soit relevées de véritables différences entre les résultats des deux spécifications.

- **Phase 1**

Etablissement des hypothèses réglementaires de chargement : CPV + N + V.
(CPV : charges permanentes verticales – N : neige – V : vent)

Modélisation de la charpente théorique selon plans d'archives, avec appuis bloqués sur la sablière métallique périphérique et panneaux de couverture rigides en plan supérieur.

Résultats satisfaisants justifiant la stabilité de l'ouvrage initialement bâti.

- **Phase 2**

Reprise de ce calcul en prenant en compte les effets des déplacements des porteurs métalliques des façades, ces ouvrages étant relevés sur les plans d'archives

Ceux-ci se déforment en plan de $\pm 5\text{mm}$ maximum en tête, avec un point d'inflexion du cadre constitua par les sablières de rive situé à peu près à l'appui de l'Arc A6.

L'influence du déplacement des façades est faible, les contraintes maxi des bois n'excèdent pas $78,3 \text{ Kgcm}^2$ en tenant compte des combinaisons de charge les plus défavorables.

- **Phase 3**

Introduction dans la modélisation des déformées réelles de la charpente, relevées par différence entre la surface théorique et les déplacements spatiaux des nœuds de croisement de la résille relevés par la géométrie ; celle-ci ressort comme étant considérée mono-directionnelle par le logiciel.

Les résultats obtenus ne sont pas cohérents et sortent de l'échelle des contraintes envisageables.

- **Phase 4**

Tenant compte du fait que la structure est bidirectionnelle, introduction dans la modélisation du coefficient de raideur résultant de la géométrie spatiale des pièces à partir des déformées de l'ouvrage sous son poids propre.

Cette solution répartit les efforts entre les pièces comprimées et les pièces tendues dans toute la surface, avec en résultat une contrainte des bois admissible sous ce chargement.

A l'état limite ultime (ELU), la combinaison la plus défavorable de CPV + N + V montre que les Arcs sommitaux A6/A7 sont les plus contraints, l'Arc A6 (sinistré) l'étant moins que l'Arc A7 sur lequel il n'a pas été relevé de désordres.

A noter que cet état est logique et se retrouve (plus faiblement) restant dans les 3 autres zones d'appuis de la couverture.

Ce calcul peut encore être recoupé par l'introduction du critère réel de raideur des panneaux travaillant en support de couverture ; et est à compléter pour établir l'état de contrainte des pièces ; chaque nœud est également à vérifier en fonction des capacités de reprise des assemblages existants, aux fins d'établir ses capacités de stabilité en complément des capacités du bois lamellé collé .

NDLE :

Les établissements RATHEAU ont fermé du 24 décembre 2014 au 05 janvier 2015.

2.8. Le 06 janvier 2015 – tenue au BET RATHEAU d'une réunion technique d'information du contrôleur technique BTP CONSULTANT.

→ **PRESENTS**

Monsieur BARON, Madame JAHNICH, Monsieur BRAULT, Monsieur LOURDIN.

Nous avons exposé à Monsieur BARON les hypothèses et les avancées des différents postes de l'expertise.

A savoir :

- La recherche en cours par AXIMA de l'équilibre Température – Humidité de l'air, et % Humidité des bois ; dont les premiers résultats montrent une carence d'humidité de l'air en partie haute de bâtiment, zone où a eu lieu la rupture de l'Arc A6.
- Les variations des déformées entre épure théorique initiale et relevés du scanner 3D du bâtiment, dont la différenciation génère des contraintes dans le système de la charpente.
- Les hypothèses des actions de chargement de l'ouvrage.
- Les résultats obtenus selon ces données dans les différents passages de calcul déjà réalisés avec le logiciel ITECH du BET RATHEAU.
- Les modélisations complémentaires encore à faire pour appréhender avec ce logiciel l'équilibre des efforts dans les deux directions de la résille, en fonction de la raideur réelle du panneautage support de couverture.

Nous avons confronté nos expériences et convenu d'un commun accord qu'une modélisation de référence de l'ouvrage devait inclure le détail des ossatures des panneaux ; ce qui génère une forte augmentation des temps de calcul, mais reflète le comportement complet des éléments travaillants de l'ouvrage.

Ce complément d'étude (phase 5) reste à faire.

Monsieur BARON confirmera plus avant ses observations et / ou son accord sur le dossier DIAGNOSTIC qui lui sera soumis par le BET le 23 janvier 2015.

2.9. Le 12 janvier 2015, j'ai visité le site

aux fins de relever l'évolution de l'humidité des bois dans l'ambiance à 24° T et 37%H Air relevée fin décembre.

L'hygromètre à frappe a indiqué H% Bois à 10,2 % en parties pleines de l'Arc A6 et 9,6% dans la fente de la fissure délamérée.

Cette information montre que le matériau réagit bien au relèvement des conditions ambiantes ; et donc que, en maîtrisant celles-ci, on peut le rééquilibrer de façons compatibles avec le respect des conditions de service du bâtiment.

2.10 Le 20 janvier 2015, j'ai visité le BET RATHEAU

Aux fins d'apprécier la pertinence des résultats ressortant des différents passages machine dans le modèle réalisé ; dont le dernier décidé le 06 janvier incluant la résille multiple des panneaux supports de couverture dans la structure porteuse.

De cet examen est ressorti :

- Que l'apport de raideur du panneautage assurait une meilleure répartition des efforts entre les pièces de la résille, diminuant de façon sensible certaines pointes de contrainte relevées en phase 4.
- Mais que les assemblages panneaux-résille existants étaient théoriquement insuffisants pour transmettre les efforts entre ces pièces.

Compte tenu de l'inaccessibilité matérielle de ces assembleurs, qui condamne l'idée de renforts des assemblages, cette solution n'apparaît pas être à retenir.

Le BET RATHEAU a donc décidé de retenir dans son diagnostic les éléments de calcul obtenus en phase 4 mise à jour avec les dernières informations.

Selon premières conclusions de nos échanges, la réparation mécanique de la structure existante serait réalisable ; ce qui sera traité sous l'angle mécanique dans le RAPPORT DU BET RATHEAU et dans le RAPPORT de SYNTHESE du Maître d'œuvre Cabinet CAURIS, qui seront produits le 23 janvier 2015.

2.11 Le 23 Janvier 2015 s'est tenue une septième réunion sur Site.

Son objet était d'exposer à Monsieur SOUMI, Directeur des Services Techniques de la Ville d'AULNAY SOUS BOIS, et à ses principaux collaborateurs les conclusions du travail de diagnostic réalisé depuis le constat du Sinistre.

L'objectif de la Mission confiée aux techniciens mandatés par la Ville était de produire des avis argumentés sur les causes probables du sinistre et l'évaluation des possibles conditions d'une réparation.

J'ai ci-avant résumé les diverses phases et aspects du travail produit par chacun dans le cadre de cette Mission, dans lequel les techniciens ont ainsi présenté leurs conclusions :

- **Le BET RATHEAU**, en exposant suivant un power point les relevés et calculs de l'ouvrage en état initial et en état sinistré.
- **Le Cabinet CAURIS**, en présentant son RAPPORT de SYNTHESE des opérations de diagnostic, avec sa projection sur une possibilité de réparation

- **Le Contrôleur Technique**, en faisant part de son appréciation positive sur les hypothèses et développements résultants du diagnostic qui lui a été présenté,

Ayant, quant à moi assumé ma mission de « **gérer sur le plan technique les intervenants extérieurs de la Maîtrise d'ouvrage ; soit en pratique de coordonner les concepts et développements d'étude de ces techniciens** ».

Les informations fournies par les Techniciens ont satisfait aux questionnements de la Maîtrise d'ouvrage, laquelle a demandé un court délai pour formuler d'éventuelles observations post exposés.

Par courrier du 18 février 2015, les Services Techniques m'ont demandé deux modifications de plume et le dépôt du présent RAPPORT.

D'où mes conclusions ci après :

III. ANALYSE DES APPORTS DES ACTIONS CONDUITES.

L'objectif du Diagnostic demandé par les Services Techniques de la VILLE est de :

- Rechercher les causes du sinistre
- Définir la réparabilité de l'ouvrage.

Les opérations de recherche permettent à ce jour d'établir les faits suivants :

3.1. LES CAUSES DU SINISTRE

Aucun des éléments techniques étudiés n'a établi de façon probante une seule cause directe au sinistre.

Seul un faisceau de faits se corrélant a été relevé ;

Soit :

3.11 Défauts de collage

Le constat visuel du sinistre est un affaissement de l'ARC A6 par une rupture du bois dans la partie inférieure de cet Arc comprimé (A6 = 2^{ème} Arc en tête du PH dans son point haut).

- Cette rupture se traduit principalement par une double fissuration traversante de la pièce, accompagnée de micro fissures de séchage dans la hauteur de l'Arc.
- L'ouverture de la fissure principale se présente sous forme d'une fente de 0 à 5cm de hauteur sur 6,50m environ ; la seconde fissure située entre la première et le bas de la poutre, présente une rupture par traction du bois dans la zone inférieure de la pièce, avec arrachement du collage urée formol des aboutages sans ruptures du bois des peignes.
Ce qui se traduit par un décollement ; pouvant être imputé au vieillissement de la colle urée formol, sensible au temps qui passe et aux températures élevées.

Les fissures principales laissent apparaître dans les bois fissurés une délamination partielle du joint de colle résorcine interne de la pièce, se poursuivant (et s'interpénétrant par endroits) avec le fil du bois fendu.

D'où, après 47 ans de bonne tenue, l'hypothèse que la délamination constatée a pu générer l'amorce de la fissuration affaiblissant la pièce pour la conduire à une rupture brutale.

3.12 L'humidité du bois et du bâtiment.

La mesure d'humidité des bois après sinistre a montré que dans le chant de la fissure, le bois était équilibré à 7%, la pièce étant en moyenne à 8%.

Ce taux d'humidité constaté du bois après sinistre est très bas et sort des limites usuelles du calcul réglementaire.

Les bois d'un bâtiment – piscine en exploitation (catégorie 2) devraient être à 12% ($\pm 2\%$) pour une température ambiante de l'air de 25° et une humidité minimale de 70%.

Le contrôle de l'ambiance intérieure du bâtiment après sinistre a établi que ces données d'exploitation n'étaient pas, et de loin, respectées dans les parties hautes du bâtiment, zone du sinistre.

Encore aujourd'hui, malgré 3 mois d'essais de régulation, la température moyenne dans cette zone est de 24° et l'humidité de l'air de 36%.

Le taux très bas d'humidité des bois peut modifier la structure interne du matériau, lequel perd alors son eau de constitution après avoir perdu son eau intra – cellulaire ; ce qui l'affaiblit et le rend plus fissile, sans que ceci soit quantifié dans les règles professionnelles.

D'où une incertitude sur les caractéristiques physiques et mécanique du bois sinistré, les règlements définissant ces valeurs ne prenant pas en compte des siccités inférieures à 10% (sauf extrapolations théoriques).

Si des recherches théoriques sont possibles, des prélèvements de confirmation dans les ARC actuellement en charge sont matériellement non envisageables.

3.13 Les contraintes mécaniques des structures.

Préalablement et à titre de vérification, la structure représentée dans les plans d'archive des constructeurs a été recalculée par le BET RATHEAU.

Les résultats donnent satisfaction sur les dispositions d'origine ($\sigma = 84,1 < 240 \text{ Kgcm}^2$).

Puis la structure déformée existante a été calculée dans le cadre de la réglementation de l'EUROCODE 5 selon différentes hypothèses détaillées dans le RAPPORT du BET.

Du modèle retenu ressort pour l'Arc A6 une contrainte maximale aux ELU dans la combinaison de charges la plus défavorable de $173,4 \text{ Kgcm}^2 < 240$; ce qui établit que la fissuration et la rupture dans cette pièce ne provient pas directement d'un excès de contrainte, bien qu'elle soit naturellement chargée à 75% de ses capacités ; ce qui en soi n'est pas réhabilitaire, mais limite.

3.14 Conclusions

Si aucune des considérations exposées ci-dessus n'apparaît suffisante à elle seule pour être cause du sinistre, la superposition de l'état de contrainte en flexion – compression et d'un affaiblissement des qualités intrinsèques du bois du fait du fluage et d'une dessiccation à long terme, peut en être la cause.

Complémentairement, le vieillissement du bois et du collage de l'aboutage des planches élémentaires dans la zone de rupture située sous la fissure basse du faîtage de l'Arc A6, peut avoir généré par traction axiale dans les aboutages et traction perpendiculaire la fissure supérieure dans le joint affaibli par la délamination partielle du collage des 3 lamelles supérieures les séparant.

Ceci n'est qu'une hypothèse plausible des causes du sinistre, qu'il ne m'est pas possible de quantifier en l'état des données analysées.

3.2 LA POSSIBILITE DE REPARATION :

Ce poste a été établi à l'issue d'exposés d'hypothèses de faisabilité avec le BET RATHEAU et les techniciens.

3.21 Préambule

→ Une réparation de structure en résille est la remise en état d'un système par ajout ou modification d'éléments structuraux : pièces de bois, assemblages.

Elle ne peut, à priori dans le cadre de nos connaissances, régénérer les qualités physiques et mécaniques d'un matériau végétal altéré dans sa constitution. Et qui le restera plus ou moins partiellement selon ses capacités restantes d'absorption de l'humidité de l'air ambiant.

3.22 Rétablissement de l'état physique des bois.

En l'état, le bois constituant la résille porteuse est en œuvre depuis 47 ans.

Depuis 1984, il subit dans la partie haute du bâtiment un assèchement forcé dû à une trop faible hygrométrie de l'air, déjà souligné en 1989 par SOCOTEC.

Les essais de régulation de l'air conduits dans la présente phase d'étude montrent que le matériau reprend de l'humidité en fonction du rétablissement de meilleures conditions d'équilibre Température – Humidité de l'ensemble.

On peut donc penser que l'ossature va retrouver un degré d'humidité correct pour son usage si l'on poursuit la recherche de cet équilibre.

Ce qui limitera les fissures dues aux retraits de séchage ; mais ne rétablira pas forcément les caractéristiques mécaniques intrinsèques du bois, celles-ci pouvant avoir été modifiées de façon irréversible par 30 ans de dessiccation (minéralisation des tissus).

3.23 Rétablissement de l'état mécanique du bois lamellé collé

→ La délamination constatée dans le joint des fissures principales de l'Arc A6 est un phénomène non prévisible et rare, dû à un défaut de collage ou à un excès de traction perpendiculaire au plan de colle.

De même pour l'amorce relevée dans l'ARC A5 après le sinistre.

Les recherches conduites par le BET RATHEAU lors des relevés in situ n'ont pas visuellement révélé ailleurs que dans l'Arc A6, beaucoup d'exemples représentatifs de ce phénomène ; qui à priori ne semble pas être développé dans la structure.

Celle-ci est plutôt affectée de fissures de retraits, ce phénomène se manifestant un peu partout, y compris dans des fissures déjà réparées en 1989.

De même pour le décollement des aboutages, qui est apparu limité à la partie haute sinistrée.

Mais de fait, ces types de désordres existent (nœud I 11 par exemple) ; et nécessitent la reprise de ceux qui sont apparents, les potentiels défauts non apparents ne pouvant préventivement faire l'objet d'une réparation, faute d'être décelables.

A l'exemple de ce qui a déjà été fait en 1989, les fissures visibles peuvent être traitées, mais avec leurs colmatages confortés mécaniquement en tant que de besoin.

Seules les pièces présentant une délamination ouverte devront être apparentées à une fissuration de classe 4 et traitées avec injections et couturage mécanique selon prescriptions professionnelles, afin que leur continuité mécanique soit rétablie.

Les micros-fissures classe 1 ne seront pas traitées, la reprise d'humidité des bois devant entraîner une reprise de volume qui les comblera en grande partie ; les fissures Classe II et III seront injectées après ouverture.

3.24 Rétablissement de l'état de résistance de la charpente bois

L'état de déformation actuel et le sinistre de rupture de l'Arc A6 a modifié l'état d'équilibre ancien de la charpente initiale, déplaçant et amplifiant les efforts dans toute la structure.

Les calculs 3D du bâtiment, réalisés par le BET avec intégration des déplacements des façades dans le cadre des efforts réglementaires à l'E C 5, conduit à prévoir une faisabilité de renforcements par :

- Pour les Arcs comprimés A6 et A7, un renfort par flasquage de bois lamellé collé (ou de bois reconstitué) posé filant sous les axes des bracons tendus.

- L'arc A6 sera totalement soutenu par sapines provisoires et purgé de ses bois altérés ; lesquels seront remplacés par une pièce bois lamellé collé taillée à demande et associée par brochage à la partie supérieure ; puis pose des 2 moises.
- L'arc A7 sera moisé dito A6 sans autre renfort.
- Pour les Arcs tendus (suite de 2 bracons), pose en renfort d'une poutre moisée passant sous l'Arc A1 entre N7/N9, et dito sur B7/B9

Les nœuds d'appui de ces renforts seront à renforcer par ferrures soudées aux extrémités dans les sablières.

Les plans d'exécution devront prévoir les plats soudés nécessaires (à façonner pour chacun d'eux) et les éventuels antiflambements de l'âme de la sablière.

3.25 Conclusions

→ Faisabilité de la réparation.

Si l'on tient compte des restrictions du préambule (3.21 – et 3.22 ci-avant) le sinistre ressort de l'étude du BET RATHEAU comme étant réparable, la faisabilité des dispositions de renfort ci-dessous ayant été testée à partir des résultats du calcul de diagnostic 3D.

Le problème le plus délicat apparaît être la manutention – pose en hauteur des pièces de grande longueur à partir du sol des plages et bassins.

Les ouvrages Béton Armé existants (déjà fissurés) devront être étayés en sous-sol dans les zones de charge qui devront être définies lors des études d'exécution.

→ Les coûts

En première approche, et par recoupements a été évalué le montant des travaux de réparation de la charpente à : (sans interventions sur la couverture)	150 250 € H.T.
Ce prix peut être comparé avec celui d'une dépose de l'existant plus une reconstruction évalué à (hors prix de couverture)	1 100 000 € H.T.

Selon moi, un complément pour imprévu est à prévoir en plus de ces travaux, ainsi qu'un budget pour l'adaptation de la ventilation et d'éventuelles interventions sur les réseaux en toiture.

→ **Le RAPPORT**

Le présent RAPPORT clôt la Mission D'Assistant Technique à la Maîtrise d'ouvrage de la Ville d'AULNAY SOUS BOIS, que celle-ci m'a confiée par convention du 02 octobre 2014, régularisée par décision N° 383 du 13 février 2015.

Fait à PARIS, le 10 mars 2015.


ROBERT LOURDIN
ARCHITECTE DPLG
AGENCE D'ARCHITECTURE
ET D'INGENIERIE
10, RUE DE PICPUS
75014 PARIS 01 43 44 06 64