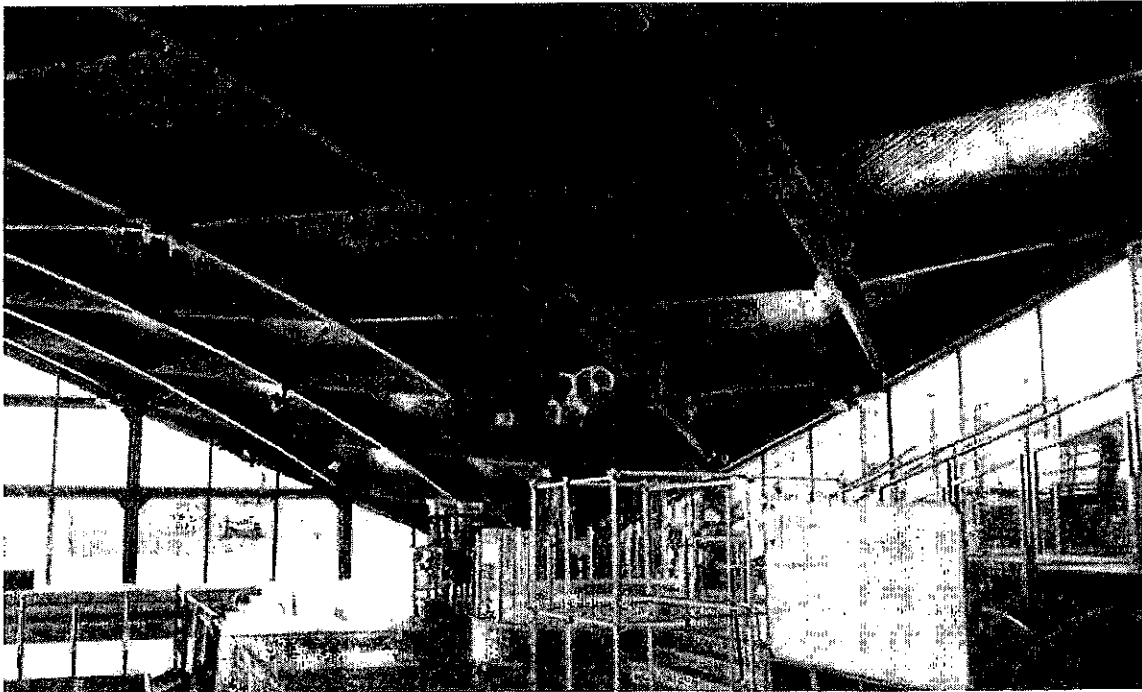


**VILLE D'AULNAY-SOUS-BOIS**

**Stade nautique de Coursaille**

**Désordres intervenus sur la charpente**

**SYNTHESE DES OPERATIONS DE DIAGNOSTIC**



**Rapport établi par Cauris architectes**

88, rue du Pdt Wilson 92300 Levallois

Tél : 01 47 30 49 21

[r.barrot@cauris-architectes.fr](mailto:r.barrot@cauris-architectes.fr)

<http://www.cauris-architectes.fr/>

**Janvier 2015**

## 1 – Objet

Le 14 septembre 2014, une rupture d'un des arcs en lamellé collé constitutif de la charpente du stade nautique a été constaté.

Les services techniques ont immédiatement fait intervenir des prestataires à qui il a été demandé d'entreprendre les opérations et études nécessaires à l'élaboration d'un diagnostic, l'objectif étant de produire des avis argumentés sur les causes probables du désordre et d'évaluer les possibilités et conditions d'une réparation.

Dans ce cadre, le présent rapport vise à établir la synthèse des opérations entreprises par l'ensemble des intervenants dans le cadre de cette mission de diagnostic.

## 2 – Intervenants

Sont intervenus dans le cadre de la mission de diagnostic les personnes ou sociétés suivantes :

- Les services de la ville d'Aulnay-sous-Bois en qualité de Maître d'Ouvrage et de commanditaire, représentés par Mr Ximenes, Mr Roux, Mr Wastiaux, Mr Gomez, Mr Thetiot.
- Robert Lourdin ingénieur conseil intervenant en qualité d'assistant au maître d'ouvrage, Mr Lourdin ayant été à l'origine de la conception de la charpente.
- Le bureau d'études Groupe Ratheau représenté par Mme Jahnich, intervenant en qualité de bureau d'études structure en charge d'établir les mesures, relevés et calculs nécessaires à l'établissement du diagnostic.
- Le Cabinet Cauris architectes représenté par Mr Barrot, intervenant en qualité d'architecte en charge de coordonner les divers intervenants et d'établir un document de synthèse.
- Le bureau de Contrôle BTP consultant représenté par Mr Baron, en charge de contrôler les travaux de soutien provisoire de la charpente et de valider les hypothèses et méthodes de calcul retenues pour l'élaboration du diagnostic.
- La société d'expertise Elex représentée par Mr Estrade, intervenant en qualité d'expert de la compagnie d'assurance Allianz assurant les bâtiments de la ville d'Aulnay-sous-Bois.

## 3 – Historique

La piscine a été construite en 1968.

En 1984, le système de traitement d'air a été rénové. Des modifications ont été apportées. En particulier un réseau de reprise d'air a été ajouté en partie haute du volume dans l'angle du bâtiment à proximité de l'arc concerné par le désordre.

La charpente a fait l'objet d'un diagnostic technique établi par Socotec en 1988.

Ce rapport mettait en évidence un taux d'humidité des bois insuffisant et la nécessité de conforter certaines zones partiellement dégradées autour des assemblages.

En 1989, une préconisation de travaux de confortements ponctuels a été établie par Mr Brochart, ingénieur conseil et expert.

A la suite, une campagne de réparations de la charpente fut entreprise en 1989 par la société Tac.

Ces réparations ont principalement consisté à injecter de la résine dans les fissures et à faire quelques brochages, à traiter tous les abouts de bracons, à procéder au resserrage des boulons de couronnes d'assemblages. Les zones de réparation se sont essentiellement concentrées autour des assemblages. Ces travaux ont été contrôlés par Socotec.

Enfin, depuis l'origine, plusieurs campagnes de réparation de la structure métallique de la façade ont été conduites sous la direction des services techniques et exécutées par la société Estrade.



#### 4 – Nature de la charpente

La charpente est construite sur la base géométrique en forme d'un paraboloïde-Hyperbolique (PH) communément appelé « selle de cheval », établie sur la base carrée de 42m de côté.

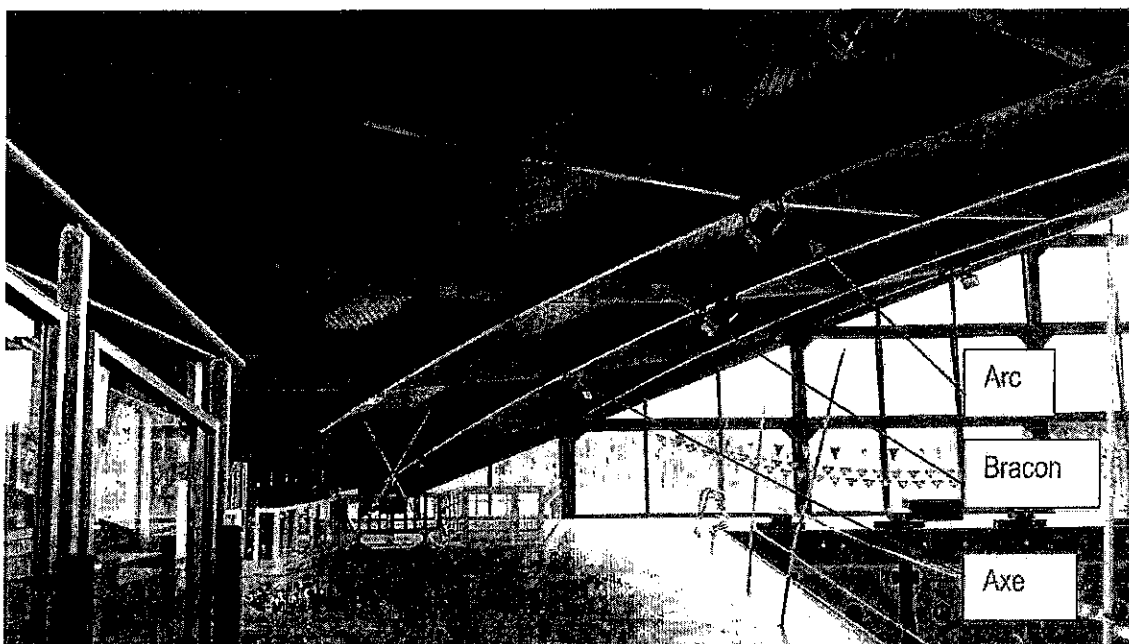
Elle présente donc une double courbure.

Constructivement, la double courbure est obtenue par le croisement de 13 arcs en lamellé collé comprimés définissant la courbure dans le sens convexe et de bracons tendus, également en lamellé collé, définissant la courbure dans le sens concave.

Les bracons sont liaisonnés entre eux par des axes métalliques traversant les arcs au niveau de la fibre neutre, c'est-à-dire en son milieu.

Les éléments de charpente en bois lamellé collé reposent en rive de la couverture sur une ceinture métallique supportée par les poteaux en acier des façades.

La couverture est constituée d'une étanchéité multicouche mise en œuvre sur des panneaux composites structurés par une ossature treillis en bois rigidifiant le plan de la couverture.



*Terminologie des éléments constitutifs de la charpente*

#### 5 – Constat du désordre

Le désordre concerne principalement l'arc N°6 situé dans la partie la plus haute du volume se trouvant vers l'extrémité du PH.

Les fissures se situent vers le sommet de l'arc sur la longueur d'une travée.

L'arc en lamellé collé présente sur une longueur approximative de 3,50m une double ouverture de 0 à 5 cm environ, située sous la fibre neutre à approximativement 15 cm de l'intrados (partie inférieure de l'arc).

Cette ouverture part d'une délamination du joint de collage du bois lamellé collé.

Le peigne d'assemblage de la lamelle d'intrados est décollé sans arrachement apparent du bois.

La ferrure de liaison des bracons traversant l'arc à proximité des fissures ne semble pas présenter de rotation ou de déplacement.



Complémentairement à ces fissures principales, des fissures à priori non traversantes sont constatées et se situent dans le prolongement de l'ouverture principale.

Au niveau de l'arc N° 5, il est également constaté un début de fissuration de bien moindre importance (fissure à priori non traversante, mais que l'échafaudage ne permet pas d'examiner sous tous les angles).

Il est constaté aux abords des fissures un taux d'humidité des bois d'environ 7%, très inférieur à des valeurs normales qui devraient se situer à 12% (+/- 2%) pour ce type d'établissement.

Il est observé que le taux d'humidité des bois est normal en partie basse de la charpente.

Il est ressenti une température élevée au niveau de la zone de rupture.

Lors de l'apparition du désordre, la piscine avait été remise en exploitation depuis le 08 septembre suite à une période de fermeture estivale pour entretien annuel.

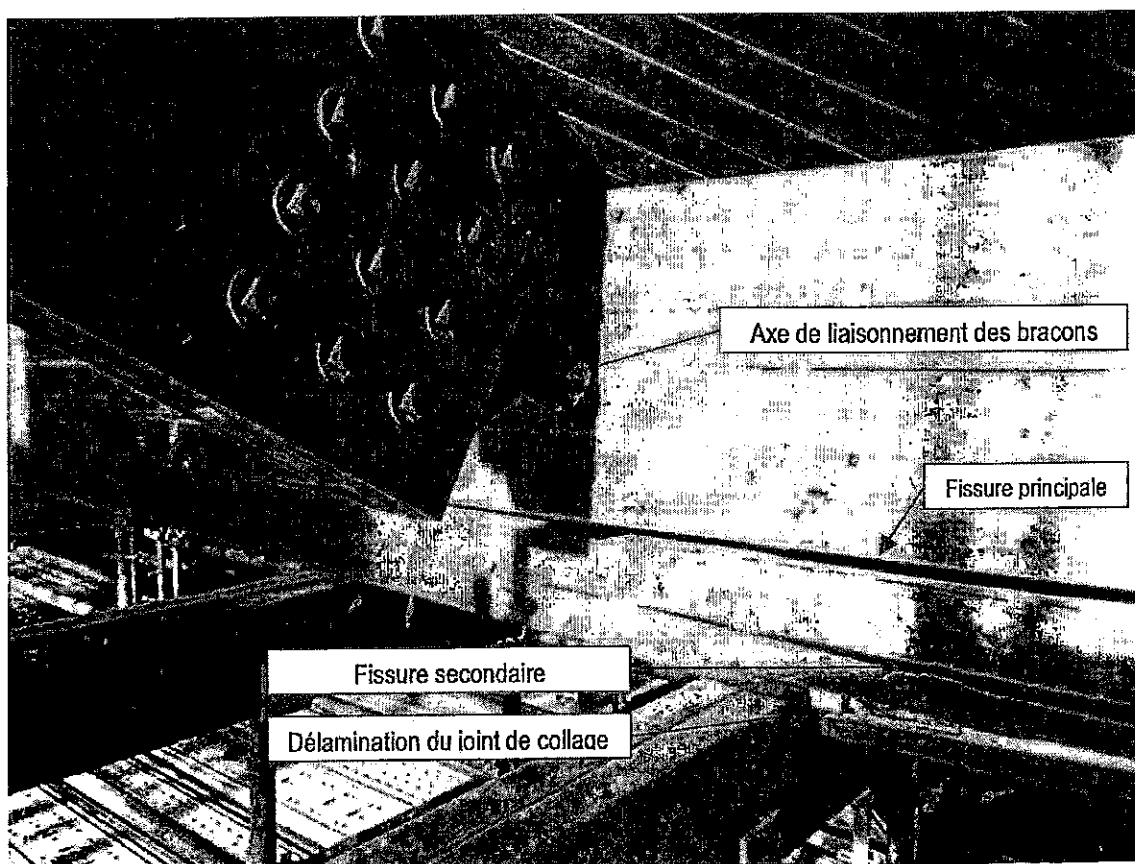
Il est noté que les bassins avaient été vidés lors de la période de fermeture estivale et la ventilation mise au ralenti en fonctionnement tout air neuf (l'air est pris à l'extérieur et introduit puis rejeté sans traitement de son taux d'humidité).

Suite à l'apparition du désordre, les bassins ont été vidés à nouveau pour échafauder.

Il est constaté que la zone de rupture est située à proximité de parois vitrées exposées à l'ensoleillement (façade sud/est entièrement vitrée).

Parallèlement à ce constat, dans le cadre des investigations entreprises, il a été constaté un état de corrosion très avancé de certaines parties métalliques situées au niveau des assemblages Arc/poutres et au niveau des assemblages des arcs sur le ceinturage de la couverture située en partie supérieure des façades.

Un reportage photo de ces désordres a été établi par le bet Rateau.



Détail zone de fissures arc N°6



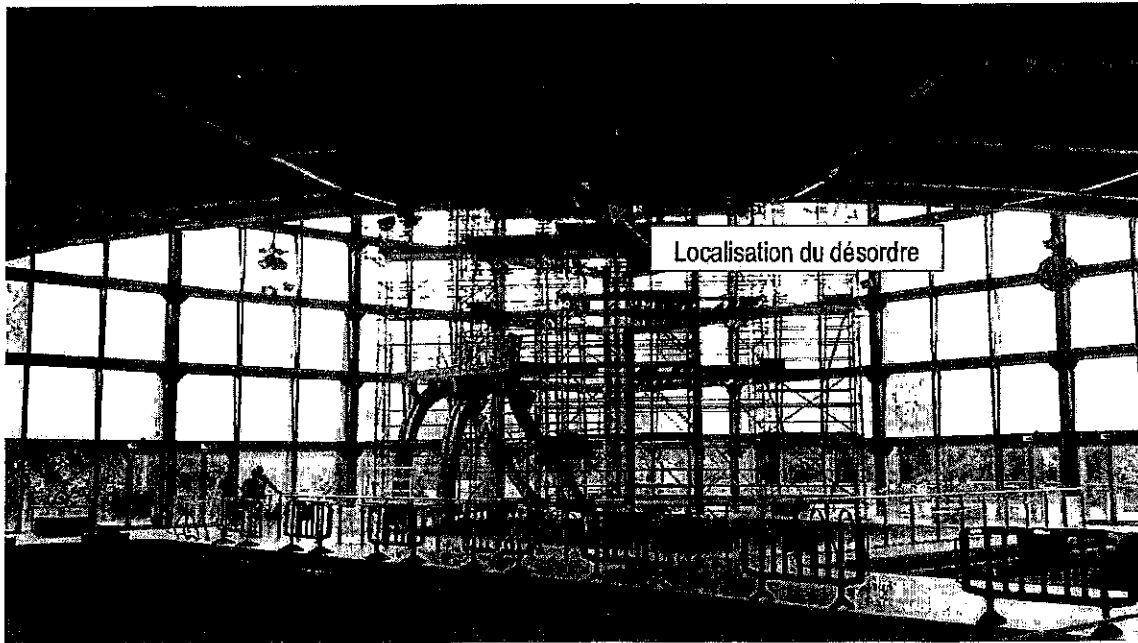
## 5 – Mesures conservatoires

Une tour d'échafaudage a été montée sous les arcs N°5 et 6 pour supporter la charpente aux endroits affaiblis par les ruptures.

Les bassins ont été vidés.

Il est noté que le coût de location de l'échafaudage est très important. Cette installation fut très utile en phase diagnostic car elle permet d'avoir accès à la zone de fissures.

Au titre des solutions réparatoires, il sera donc évoqué son éventuel remplacement par des sapines en bois.



## 6 – Nature des investigations entreprises

### 6-1 Objectifs

Les investigations ont été entreprises pour répondre aux objectifs suivants :

- Tenter de déterminer les causes des désordres constatés sur la charpente.
- Evaluer si d'autres parties de charpente présentent également des risques de rupture.
- Apprécier si la charpente est réparable.

### 6-2 Mesure des taux d'humidité des bois et de leur évolution

Le taux d'humidité des bois mesuré dans la zone de rupture étant anormalement faible et pouvant contribuer à la cause du désordre, il a été entrepris les actions suivantes :

- Relevé du taux d'humidité du bois sur l'ensemble de la charpente au moyen d'une nacelle et d'un appareil de mesure à frappe FMC/FME de type Brookhuis Micro-électronics BV, afin de déterminer si la dessiccation était généralisée ou uniquement localisée à certaines zones. Une cartographie du taux d'humidité des bois a donc été entreprise sur l'ensemble de la charpente par le bet Ratheau (voir relevé des mesures figurant en annexe où sont répertoriées les valeurs obtenues inférieures à 10% considérées comme limite basse admissible).



- Mise en place d'enregistreurs de température et d'humidité positionnés au niveau des plages, d'une part, et au niveau de la zone de rupture, d'autre part. Ce dispositif devant permettre d'établir une relation entre la température et le taux d'humidité ambiante suivant les altimétries. Les enregistrements ont été effectués par la société Axima/Coffely.
- Stabilisation de la température dans le bâtiment aux alentours de 25°C correspondant aux conditions d'exploitation afin de contrôler les évolutions dans des conditions réelles.



Mesures du taux d'humidité du bois effectuées à proximité de la fissure le 17/12/2014 :  
Valeur légèrement supérieure à 7%

### 6 -3 Vérifications par le calcul

La rupture de l'arc N°6 pouvant être mécanique, consécutive à des efforts anormaux, lesquels pourraient par ailleurs générer des désordres sur d'autres parties de la charpente, il a été déterminé par l'ensemble des intervenants que la réflexion devait porter sur l'ensemble de la structure.

Dans ce cadre, il a été entrepris dans un premier temps un calcul des contraintes sur la base de la géométrie théorique et des sections de bois telles que définies par les plans d'origine.

Ce calcul a été entrepris par le bet Ratheau suivant les règles définies par l'Eurocode.

Le calcul met en évidence que les bois sont sollicités très normalement, au tiers de leur capacité de résistante (contrainte n'excédant pas 84.1 DaN/cm<sup>2</sup>).

La stabilité de l'ouvrage n'est pas mise en défaut par cette vérification.

Il est noté que les arcs N°6 et N°7 sont ceux supportant le plus d'efforts.

Ce calcul restant théorique dans la mesure où il ne tient pas compte des contraintes générées par d'éventuels déplacements des éléments de charpente pouvant provoquer des flexions parasites, d'une part, et des sections de bois réelles, d'autre part, il a été procédé à un relevé dans l'espace de tous les nœuds d'assemblage, ainsi qu'un relevé des sections de bois, d'autre part.

Ce travail a été exécuté par un géomètre sous la conduite du bet Ratheau.

Un plan des sections réelles a été établi par le bet Ratheau (voir plan des sections relevés joint en annexe).

La comparaison entre les positions théoriques issues des plans d'origine et la position réelle issue du relevé met en évidence des différences significatives.

Des déplacements ou des déformations existent donc réellement.

Ce travail d'investigation met également en évidence une différence entre les sections de bois théoriques et réelles.



Différents calculs de résistance a donc été effectué en intégrant les contraintes liées aux déplacements relevés y compris au niveau des appuis situés en partie supérieure des façades, d'une part, et en tenant compte des sections de bois réelles, d'autre part.

Ces calculs ont été entrepris par le bet Ratheau suivant les règles définies par l'Eurocode.

Ils ont été conduits de la façon la plus complète qu'il soit en plusieurs étapes successives et en intégrant dans le calcul tous les éléments participant à la stabilité de l'ouvrage.

Les résultats sont évoqués dans l'analyse qui suit.

## 7 – Eléments d'analyse

### 7-1 Humidité des bois

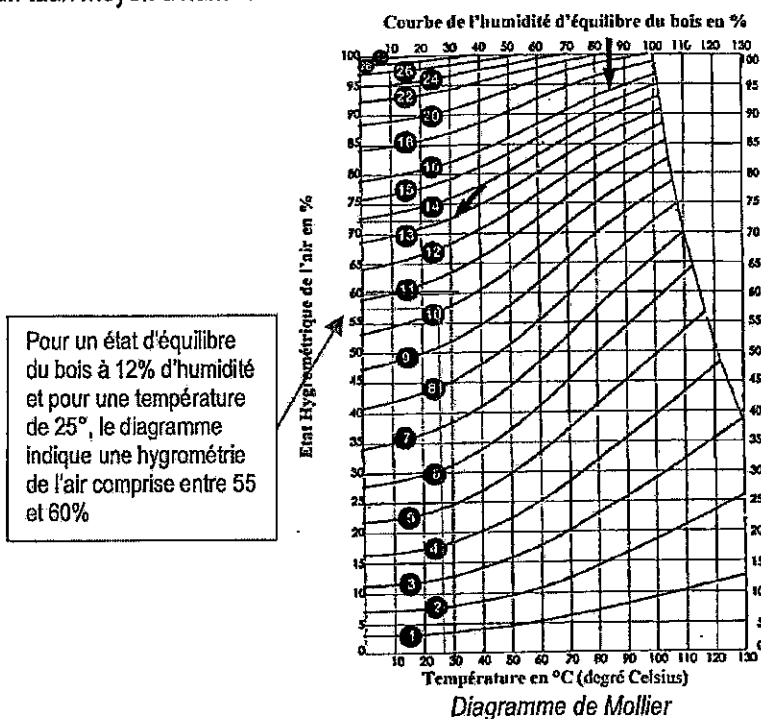
Les règles de l'art et les connaissances en la matière mettent en évidence que pour ce type d'établissement le taux d'humidité permettant de préserver les caractéristiques physiques et mécaniques du bois doit se situer autour de 12 % (+/- 2%).

La cartographie établie par le Bet met en évidence que les éléments de charpente situés en partie haute présentent par endroits des taux d'humidité inférieurs, pouvant descendre à 7% comme relevé sur l'arc objet du désordre.

Il est donc à considérer que l'arc objet du sinistre n'est pas exclusivement concerné par cette dessiccation du bois.

Il est à noter qu'en 1989, Socotec avait déjà relevé que les bois présentaient un taux d'humidité insuffisant, sans toutefois avoir établi de cartographie de ces anomalies. En ce sens le diagnostic confirme cette anomalie et en précise la connaissance.

Suivant le diagramme de la courbe de Mollier d'équilibre hygrosopique des bois, pour obtenir une humidité de 12 % pour une température de 25°C correspondant aux conditions d'exploitation, il faudrait un taux moyen d'humidité relative de l'air de 55 à 60%.



Les enregistreurs de température et d'humidité ont mis en évidence que pour des températures moyennes de 25°C atteintes en partie haute du volume, le taux d'humidité de l'air était très inférieur aux 55 à 60% qu'il faudrait atteindre.

Même si les bassins étaient vides, ce qui doit conduire à pondérer ces résultats, les valeurs obtenues situées autour de 35% démontrent que l'air ambiant est trop sec.

Cette analyse est corroborée par le sentiment perçu physiquement par bon nombre d'intervenants dans le cadre du diagnostic (géomètre, bet...), la gorge devenant sèche lorsqu'on prolonge la présence dans l'établissement.

Le même constat avait été effectué en 1989 par Socotec.

Dans son rapport du 13 février 1989, Socotec avait recommandé d'augmenter le taux d'humidité ambiant de l'air à 65%.

Par ailleurs, il est observé que la zone de rupture est située en partie haute du volume et à proximité de grandes façades vitrées orientées en partie vers le sud, d'une part, et que le désordre s'est produit en fin d'été après une période de vidange des bassins et de mise au ralenti de la ventilation, d'autre part.

Ces faits concourent à ce qu'il se soit produit durant la période de fermeture une forte élévation de la température entraînant un assèchement supplémentaire de l'air, concourant à réduire le taux d'humidité du bois.

A noter que les courbes d'enregistrement des températures mesurées d'octobre à décembre 2014 mettent en évidence de fortes élévations de température et d'abaissement du taux d'humidité en milieu de journée. Elles illustrent en ce sens qu'un effet de serre existe bien dans la zone du désordre.

Il a enfin été observé qu'initialement les projecteurs d'éclairage qui dégagent beaucoup de calories étaient implantés à proximité des nœuds d'assemblage.

Ils ont été déplacés entre 1985 et 1989.

Il est constaté un grand nombre de fissures localisées aux anciens emplacements des projecteurs.

Ces fissures sont non traversantes, ont déjà souvent été réparées et ne présentent pas de caractère préjudiciable à la solidité. Elles corroborent néanmoins le lien de cause à effet qui existe entre la température, le niveau d'humidité et l'altération du bois.

La dessiccation des bois étant avérée et altérant les caractéristiques physiques et mécaniques du bois, elle peut intervenir dans les causes du désordre et générer d'autres désordres.

Il conviendrait donc de la traiter.

## 7 -2 Sections des bois

Les sections des bois relevés sont légèrement inférieures aux sections théoriques.

Cela peut s'expliquer par une variation du volume du bois dû au séchage dans le temps.

Cela ne présente donc pas de caractère anormal.

Les diminutions de section se situent dans des valeurs faibles (Ht 580 au lieu de 600mm et épaisseur de 135 pour 140 mm par exemple pour les arcs).

## 7 -3 Déplacements

Les déplacements relevés peuvent relever des phénomènes suivants :

- Approximations d'implantation des pièces de bois lors du montage durant la construction. Il s'agit d'une hypothèse très vraisemblable, les moyens de levage et de contrôle étant beaucoup plus limités en 1968 qu'ils ne le sont actuellement.
- Fluage du bois dans le temps. (phénomène physique qui provoque la déformation irréversible différée (c'est-à-dire non-instantanée) d'un matériau soumis à une contrainte constante.





- Mise en charge des bois et assemblages sous les sollicitations appliquées dans le temps au bâtiment, provoquant de façon normale des déplacements et modifications de la géométrie initiale des pièces de charpente.

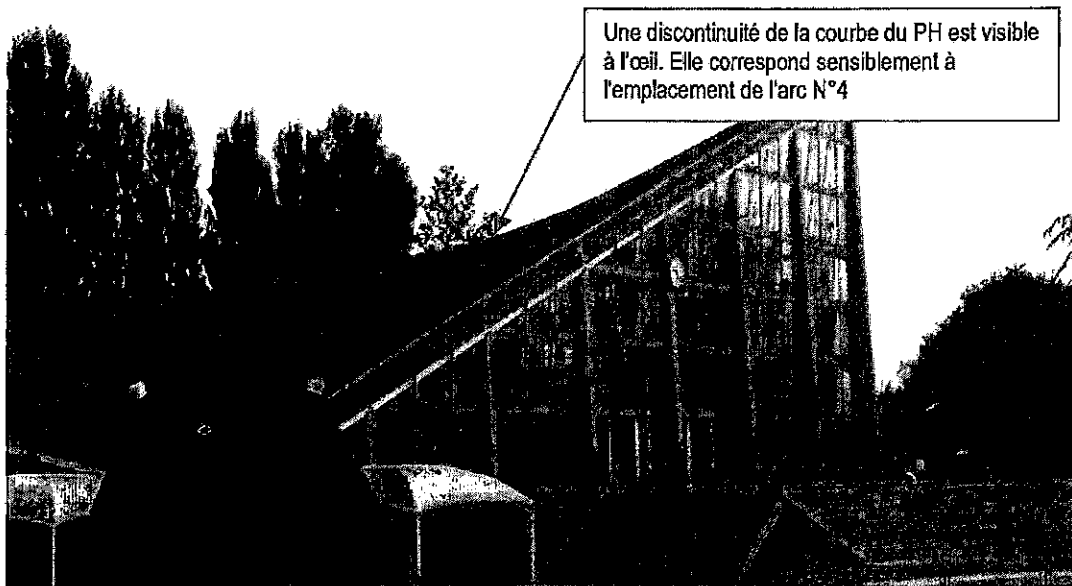
Globalement, au point le plus critique, une différence de hauteur de 80 cm est constatée entre la géométrie telle que définie par les plans d'origine et la géométrie définie aujourd'hui par le relevé. Il est à noter que la différence majeure se situe sur l'arc N°4 et qu'elle se repère à l'œil nu depuis l'extérieur, la courbure inversée du PH présentant une discontinuité formelle sensiblement à l'emplacement de l'arc N°4.

Aucun désordre ne s'étant produit depuis l'origine, il est fort probable que cette imperfection géométrique existait depuis l'origine.

Ces écarts sont à mettre en perspective avec la portée importante des arcs (supérieure à 50m) générant de façon normale et prévisible des déplacements non négligeables, d'une part, et avec les imperfections de réalisation qui avaient cours en 1968, d'autre part. Ce type d'écart n'est donc en soi pas exceptionnel.

Il n'en demeure pas moins vrai que de telles variations géométriques sur ce type de structure en forme de PH, dont la stabilité repose en grande partie sur un équilibre apporté par la géométrie, peut générer des contraintes importantes au niveau des assemblages, principalement en points bas.

Des déplacements ont également été constatés dans le sens latéral (déformation des arcs et déplacement des appuis). Ils ont également généré des contraintes supplémentaires.



Les calculs entrepris par le bet Ratheau en tenant compte de ces déplacements et des sections résistantes réelles mettent en évidence que le taux de travail des bois est de façon générale souvent proche des valeurs maximales réglementaires du matériau.

Il est confirmé, par les calculs intégrant la déformation, que les arcs les plus sollicités sont les arcs N°7 et 6, les contraintes dépassant les valeurs limites réglementaires uniquement sur l'arc N°7.

Les valeurs limites sont également dépassées au niveau des bracons situés en partie basse entre les 2 arcs N°2, bracons B7, B8, N7, N8 (cf. plan joint).

Pour les autres éléments, y compris l'arc N°6 c'est-à-dire pour la grande majorité de la charpente, le calcul intégrant les déformations et déplacements ne met pas en évidence d'anomalie.

A la demande de Mr Lourdin, le bet Ratheau a également procédé à une vérification par le calcul de tous les nœuds d'assemblage.



Celle-ci met en évidence la nécessité d'en renforcer certains, qu'il s'agisse des assemblages arc/bracons ou des assemblages sur la ceinture de rive sur laquelle reposent les arcs.  
Un plan synthétique établi par le bet permet de localiser les renforcements à revoir (cf. plan joint en annexe).

## 7 – Probabilité des causes du désordre

A ce stade, la causalité du désordre ne peut être établie avec certitude.  
Les investigations entreprises conduisent néanmoins à penser que le désordre n'est pas dû qu'à une seule cause mais plus vraisemblablement à une conjonction de facteurs.

En premier lieu et de façon apparemment chronique, il est établi qu'en partie haute du bâtiment, les bois sont trop secs en raison d'un taux d'humidité de l'air ambiant trop faible.  
Cet état ne peut certainement pas expliquer à lui seul la rupture, mais il constitue un des facteurs de causalité.

Il est à noter que la rupture s'est produite à la sortie de l'été, après une période de vidange des bassins et de mise au ralenti de la ventilation.

Il s'agit probablement de facteurs qui ont aggravé un état semble-t-il chronique de sécheresse du bois.

En deuxième lieu, les déformations ou les déplacements de la charpente ont généré une augmentation significative des contraintes.

Même si les contraintes sur l'arc sinistré se semblent pas avoir dépassé les valeurs limites du matériau et ne peuvent à elles seules expliquer la rupture, elles sont probablement intervenues dans le processus du désordre.

Les déformations et déplacements peuvent provenir de défauts d'exécution au niveau de la géométrie des arcs, de petites variations dans le positionnement des arcs au levage, ces petites variations entraînant par répercussion une déformation de l'ensemble non perceptible à l'œil.

Elles peuvent également et concomitamment provenir des effets du temps, en raison du fluage du bois et de l'accumulation de contraintes diverses.

Enfin, elles proviennent également et probablement de déplacements des points d'appuis sur les façades.

Enfin, la rupture s'est produite à partir d'un joint de collage, ce qui est significatif.

Il ne peut donc être exclu qu'une faiblesse existait probablement au niveau du collage des lamelles à l'endroit de la rupture, soit à l'origine, soit en raison d'une perte d'efficacité due au vieillissement et à l'excès de sécheresse du bois.

Des analyses en laboratoire permettraient peut-être d'apporter des informations sur l'état du collage des bois.

Néanmoins, d'un point de vue pratique, une analyse généralisée sur l'ensemble de la charpente semble difficilement envisageable, sauf à prévoir un étaieement complet de l'ouvrage, à notre sens rédhibitoire.

On pourrait éventuellement envisager une analyse localisée uniquement de la partie de l'arc N°6 située sous la fissure, déposée en soutenant l'arc par un étaieement au besoin renforcé. Cela reste néanmoins une opération complexe.

Dans la mesure où cette analyse limitative ne renseignerait pas sur la qualité du collage de l'ensemble de la charpente, son intérêt semble très discutable.

L'examen de l'état du collage a donc été effectué uniquement visuellement par le bet Ratheau lors du relevé.

Même s'il n'a pas mis en évidence des signes extérieurs apparents d'altération significatifs en d'autres parties de l'ouvrage, cela reste un examen superficiel et il ne peut être affirmé que la qualité du collage des bois soit sans défaut en tout point de la charpente.



Par conséquent, et bien que la charpente n'ait pas subi de désordre autre que celui constaté, et ce depuis l'origine, un doute subsiste à ce sujet même s'il peut être considéré comme mineur.

En résumé et à ce stade de la connaissance, on peut avancer que la conjonction de contraintes proches des états limites générées par les déplacements, d'un bois affaibli par un taux de sécheresse trop important de façon chronique et d'une faiblesse dans le collage probablement dû à la dessiccation, puisse expliquer, qu'à l'issue d'une période estivale et de vidange des bassins, un des deux arcs les plus sollicités ait rompu.

Le début de fissuration constatée sur l'arc N°5 s'explique certainement par le fait que l'arc N°6 ayant rompu, l'arc N°5 a subi des contraintes plus importantes par compensation.

## **8 – Actions réparatoires**

### 8-1 Humidité des bois

Le système de ventilation et de déshumidification devra être réglé pour obtenir un taux d'humidité moyen de l'air de 60% par 25 °C, et ce en tout point du volume.

Ce point devrait être débattu avec l'exploitant afin de s'assurer qu'il ne s'agit que d'un réglage de consignes.

Il ne peut être exclu que pour des raisons d'économie d'énergie, une réduction de la part d'air neuf provenant de l'extérieur ait été adoptée, le système fonctionnant alors avec trop d'air recyclé.

Il est également possible que les installations telles que configurées ne soient pas en capacité ou adaptées pour assurer ces consignes d'hygrométrie.

Il conviendrait donc de faire établir sur ce point un complément de diagnostic, idéalement par un thermicien indépendant, l'avis de l'exploitant ne pouvant être totalement objectif.

Il conviendrait en particulier de vérifier que la modification apportée en 1984 à proximité de la zone de rupture n'a pas été un facteur contre-productif.

Au besoin, en fonction du résultat de ce diagnostic, une modification ou une adaptation du système de chauffage ventilation devrait être prévue.

Sans être thermicien et à ce stade de la connaissance, la nécessité d'intervenir sur la ventilation nous apparaît plus que probable.

### 8-2 Arc rompu

Le remplacement de l'arc N°6 ne peut être envisagé simplement sans dépose de la couverture.

La réduction de la fissure consistant à redonner à l'arc sa forme initiale sans dépose de la couverture semble également impossible en raison des efforts en jeu qui risqueraient de causer d'autres désordres sur le bois et sur les autres parties de l'ouvrage (façades et plages).

La réparation est néanmoins possible.

Elle consisterait à prévoir les travaux suivants:

- Mise en place de sapines en bois en remplacement de l'échafaudage.
- Enlever la partie située sous la fissure entre les deux bracons (environ sur 8 m).
- Renforcement de la partie supérieure de l'arc (Zone conservée) par vissage par le dessous à travers les lamelles pour renforcer la liaison des lamelles.
- Reconstitution de la partie inférieure de l'arc déposé par un découpage et un ajustement exécuté sur place.
- Liaisonnement de la partie neuve à la partie conservée par vissage par le dessous.
- Mise en œuvre de part et d'autre de la poutre de deux flasques en bois lamellé collé ou en multiplis du type Kerto lamibois communément appelé LVL (Laminated Veeners Lumber).



Ces flasques seraient mises en oeuvre en dessous des tubes de liaisonnement des bracons qui présentent un obstacle.

Elles seraient continues sur toute la longueur de l'arc.

Elles seraient maintenues par boulonnage et vissage à travers l'arc.

Nota : La solution lamellé collé serait plus discrète puisque de même nature que l'existant.  
Une lasure de même ton serait appliquée pour limiter l'impact visuel.

### 8 -3 Autres parties de la charpente

#### 8-3-1 Arc N°7

L'arc N°7 subissant des contraintes trop importantes devra être renforcé de la même façon que l'arc N°6 par la mise en oeuvre de deux flasques.

#### 8-3-2 Arc N°5

Les fissures sont non traversantes.

Elles seront injectées à la résine puis l'arc sera renforcé par un vissage à travers les lamelles exécuté par le dessous.

#### 8-3-3 Reprise des axes de liaison des bracons corrodés

Concerne les tubes ou axes de liaison identifiés comme fortement endommagés par le bet Ratheau.

A prévoir :

- Décapage.
- Découpage des parties endommagées.
- Soudures de parties métalliques.
- Protection anti-corrosion par deux couches de peinture époxy.

#### 8-3-4 Reprise de certains bracons

Concerne les bracons identifiés par le bet Ratheau comme trop fortement sollicités en contraintes.

A prévoir :

Mise en oeuvre sous les bracons entre les appuis sur les rives de deux fers en U moisés.  
Ils seront maintenus par boulonnage et vissage à travers le bracon et fixation sur les fers de rive.

#### 8-3-4 Reprise de certains assemblages

Concerne les assemblages identifiés par le bet Ratheau comme trop fortement sollicités en contraintes.

A prévoir :

Goussets et flasques en acier soudés sur le ceinturage de rive permettant de renforcer les assemblages aux appuis.

### 8 -4 Autres parties hors mission pour information

A titre informatif, lors des visites, il a été constaté des zones de corrosion importantes sur les parties métalliques porteuses situées en façade.

La structure métallique de la façade reprenant les efforts de la charpente, comme cela semble déjà avoir été effectué par le passé, il conviendra à nouveau d'entreprendre une campagne de diagnostic et de réparation des parties corrodées.



## 9 – Délais

La durée des travaux de réparation de la charpente peut être estimée à deux mois.

Préalablement à l'exécution des travaux, il sera nécessaire d'entreprendre les études permettant d'établir les plans, descriptifs et cadres de bordereau de prix nécessaires à la consultation des entreprises.

Le délai d'étude est estimé à un mois et demi.

Pour être complet dans l'établissement d'un planning il conviendra de tenir compte des délais de procédure de consultation, qu'il s'agisse de la maîtrise d'œuvre ou des entreprises.

Sont à intégrer dans ce cadre les délais contractuels de publicité, de remise des offres, d'analyse, de notification prévus par le code des marchés publics.

Compte tenu du caractère accidentel du désordre et de l'utilité impérieuse de l'équipement, il nous semble qu'une procédure d'urgence prévue par le code des marchés publics pourrait se justifier et permettrait de réduire les délais.

Nota : Ne sont pas compris dans ces délais, les éventuelles études et travaux complémentaires qu'il pourrait être nécessaire d'entreprendre au titre des questions relatives aux problèmes posés par les défauts de ventilation.

Notons que ces travaux pourraient être menés parallèlement aux travaux de charpente.

## 10 – Budget

L'évaluation d'un budget en phase diagnostic ne peut être qu'indicative et doit être considérée comme un ordre de grandeur appréhendé de façon empirique en s'appuyant sur les expériences des divers intervenants.

Il est en effet impossible d'évaluer des travaux avec suffisamment de précision, dès lors que n'ont pas été produits les plans, descriptifs, métrés, quantitatifs.....et que ceux-ci n'ont pas fait l'objet d'une validation par le bureau de contrôle.

Dans ce cadre, les travaux de réparation de la charpente peuvent être estimés de la façon suivante :

- Installations de chantier – Etudes d'exécution – moyens de levages :	21 000
- Mise en place de sapine d'étalement et échafaudages:	40 000
- Réparation arc N°6 :	38 000
- Renforcement de l'arc N°7 :	16 000
- Renforcement de l'arc N°5 :	10 000
- Renforcements bracons:	26 000
- Révision des axes corrodés :	3 000
Total H.T. :	154 000 €

## 11 – Garantie

Les travaux d'investigation entrepris, pour aussi complets qu'ils soient, ne permettront jamais d'apporter une garantie sur la certitude des causes.

Les travaux d'investigation, les mesures et calculs entrepris par le bet Ratheau permettent d'apporter un bon niveau de connaissance sur les grands principes de réparation et de renfort à prévoir sur l'ensemble de la charpente.

Cette connaissance nécessite d'être approfondie et concrétisée par des études d'exécution à établir dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre, d'une part, et par l'expertise d'une entreprise, d'autre part.



A l'issue du processus, une garantie décennale pourra être obtenue sur les travaux de réparation.

## **12 – Documents annexes**

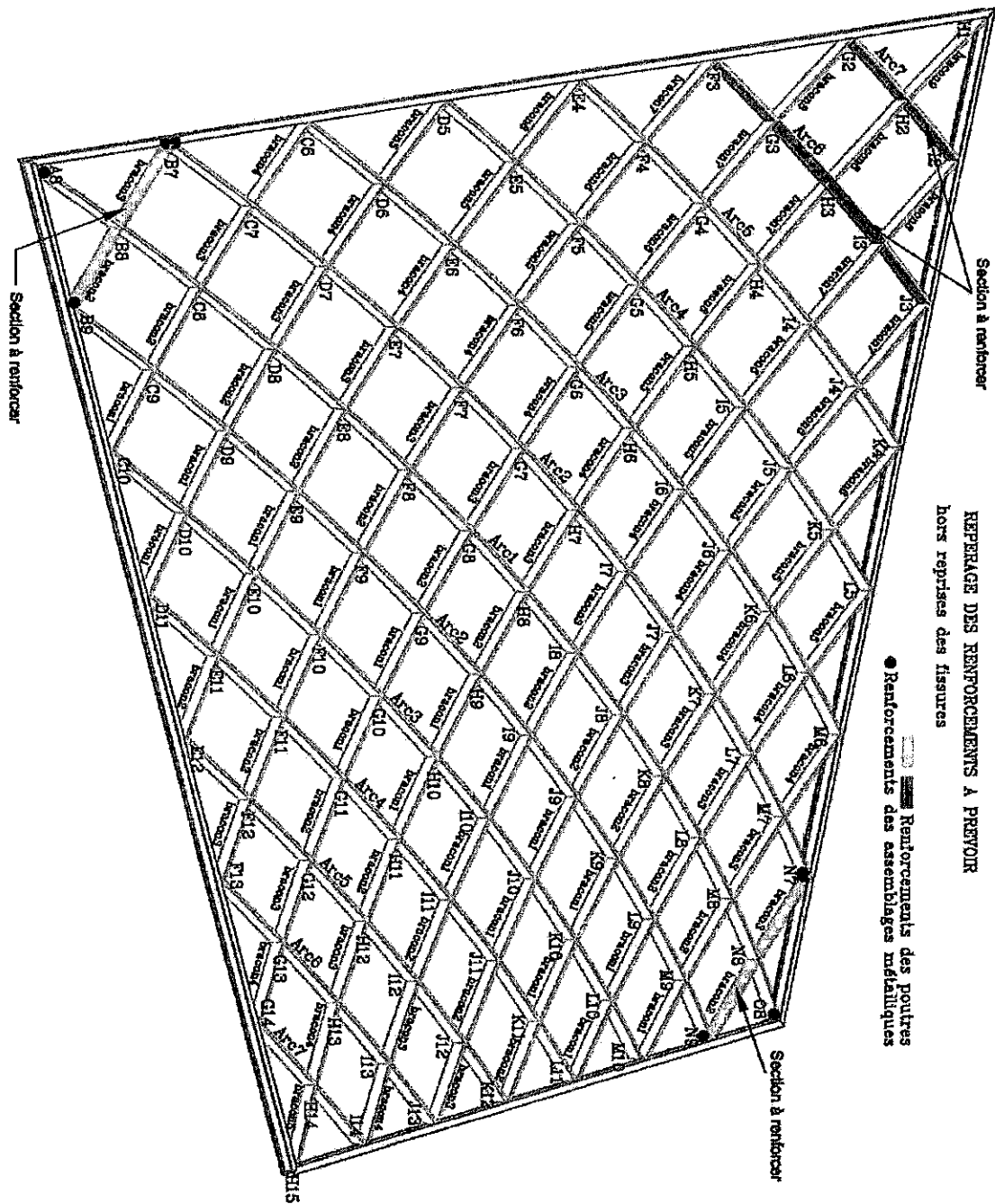
- Plan de repérage des renforcements à prévoir établi par le bet Ratheau
- Plans de cartographie des mesures d'humidité du bois établi par le bet Ratheau
- Plans de repérage des déplacements établi par le bet Ratheau

Fait à Levallois-Perret, le 21 janvier 2015

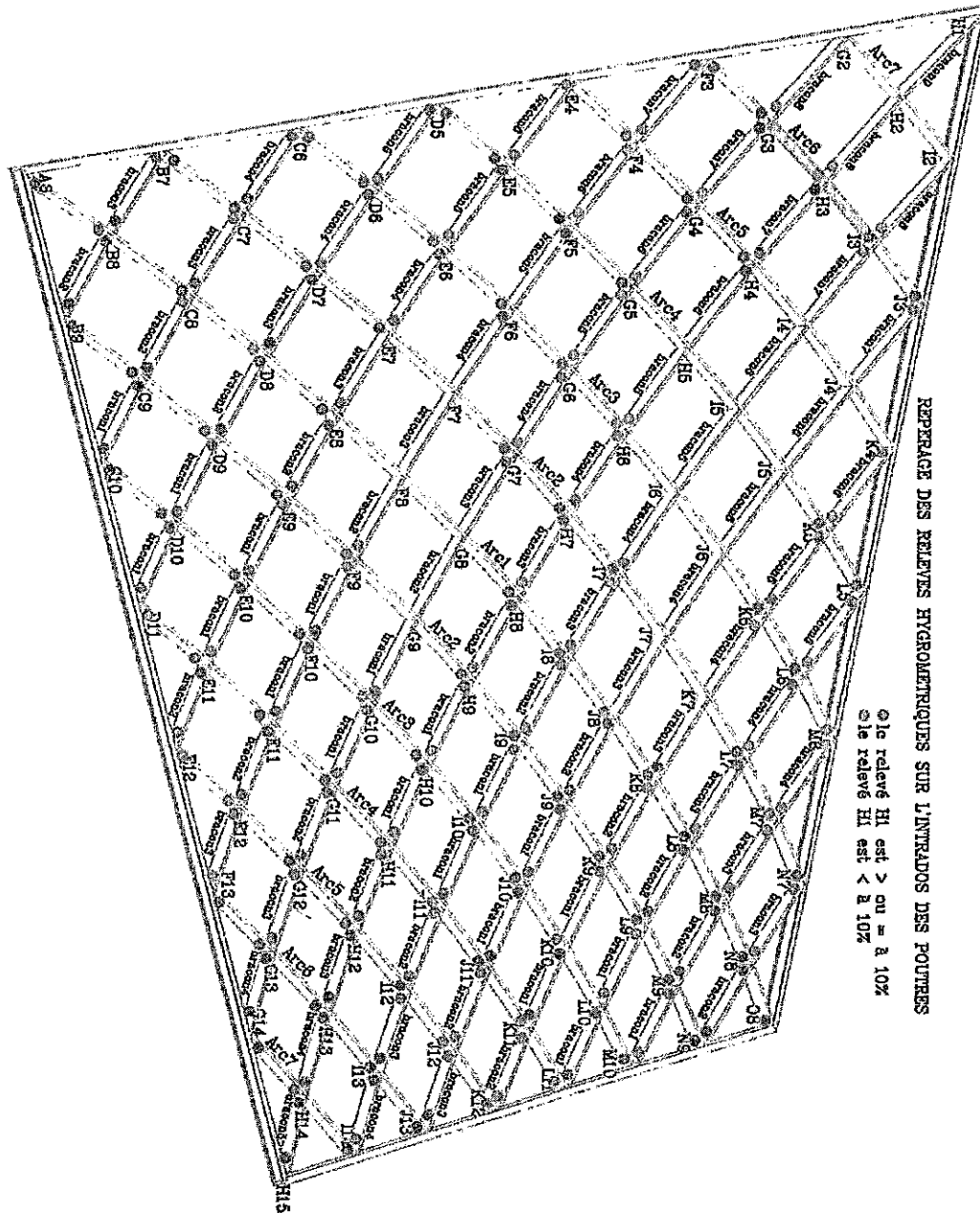
Régis Barrot  
Architecte dpig



Annexe 1 : plan de repérage des renforcements établi par le bet ratheau

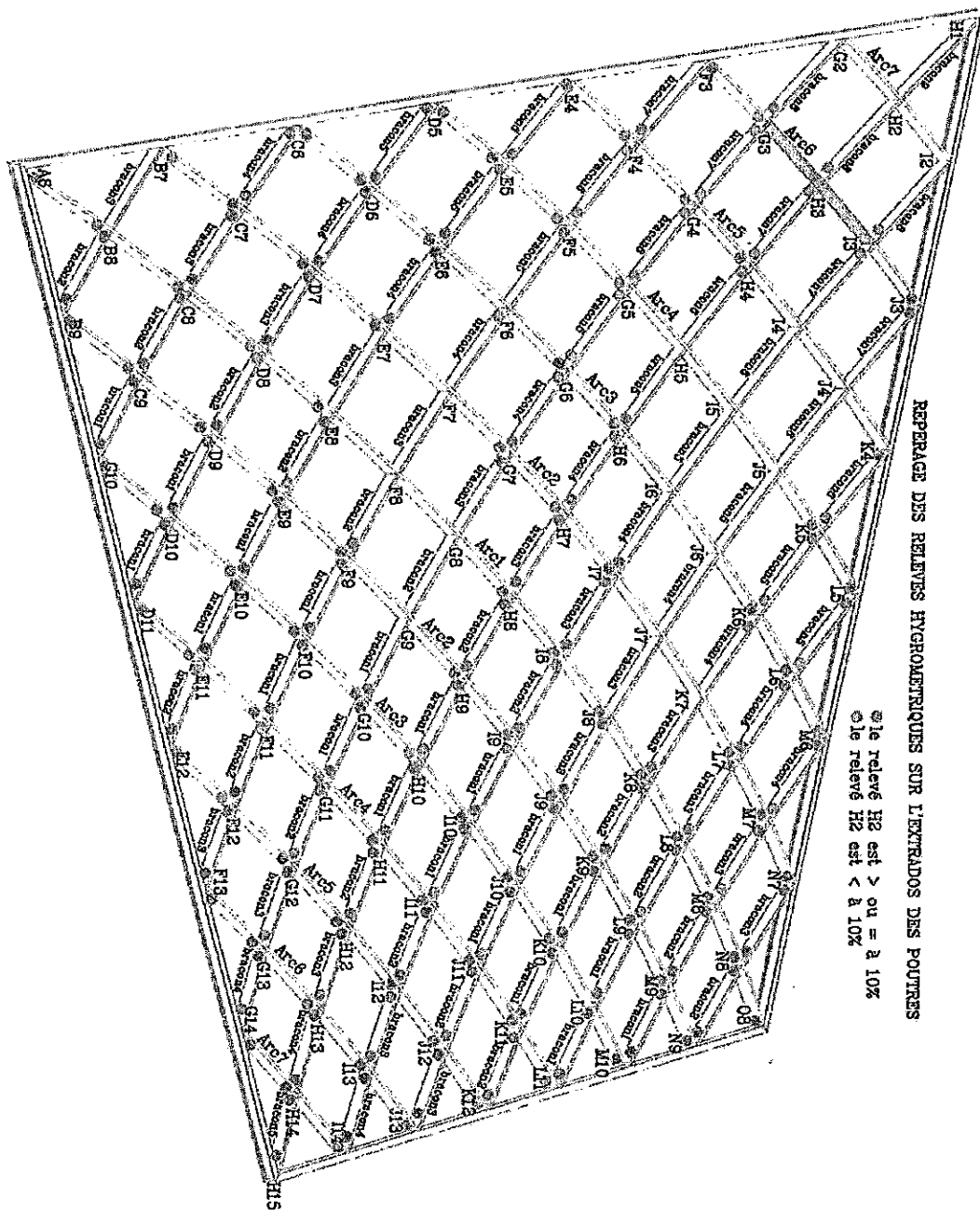


Annexe 2 : plan de repérage des relevés d'humidité sur l'intrados des poutres

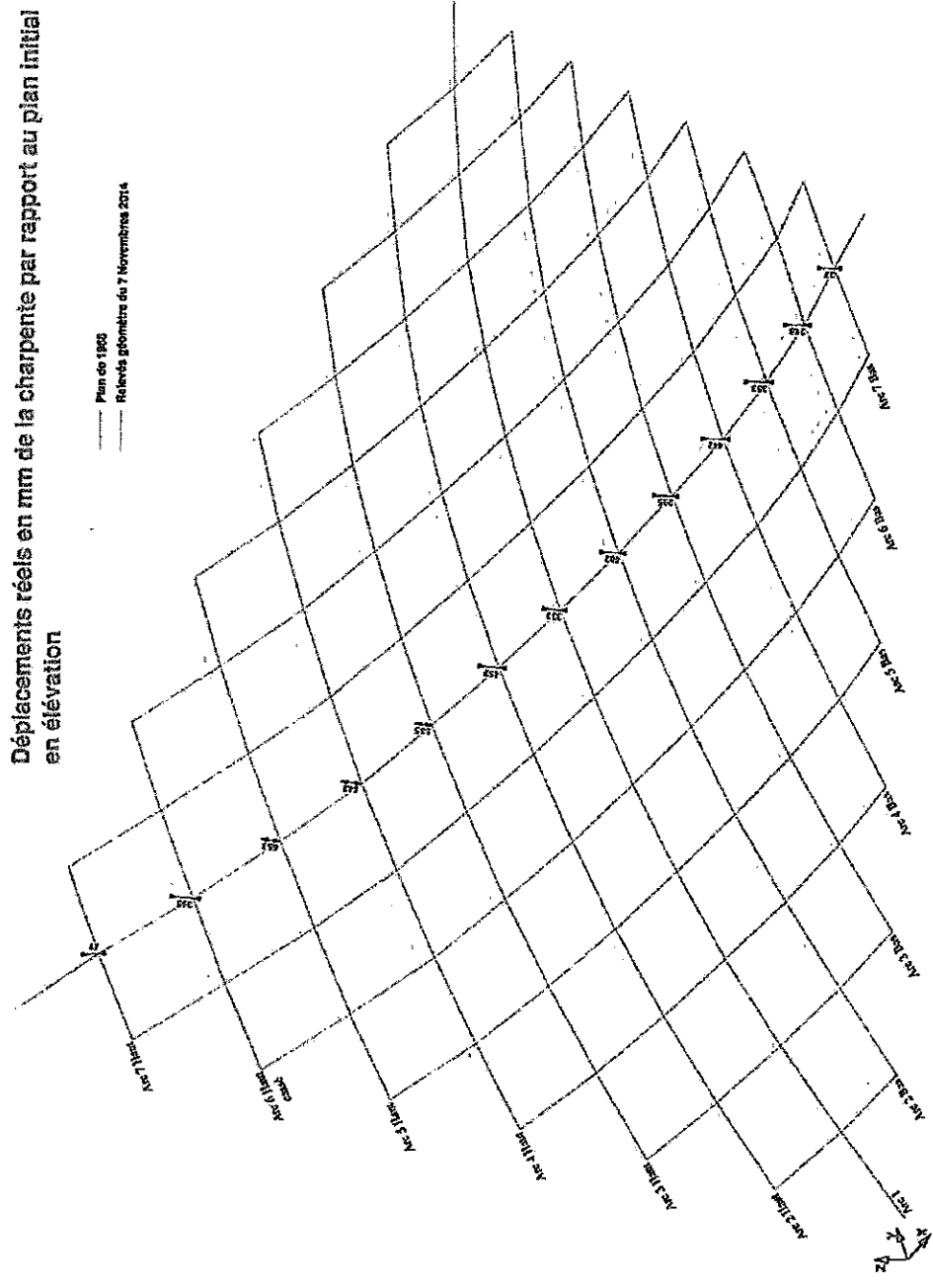




Annexe 3 : plan de repérage des relevés d'humidité sur l'extrados des poutres

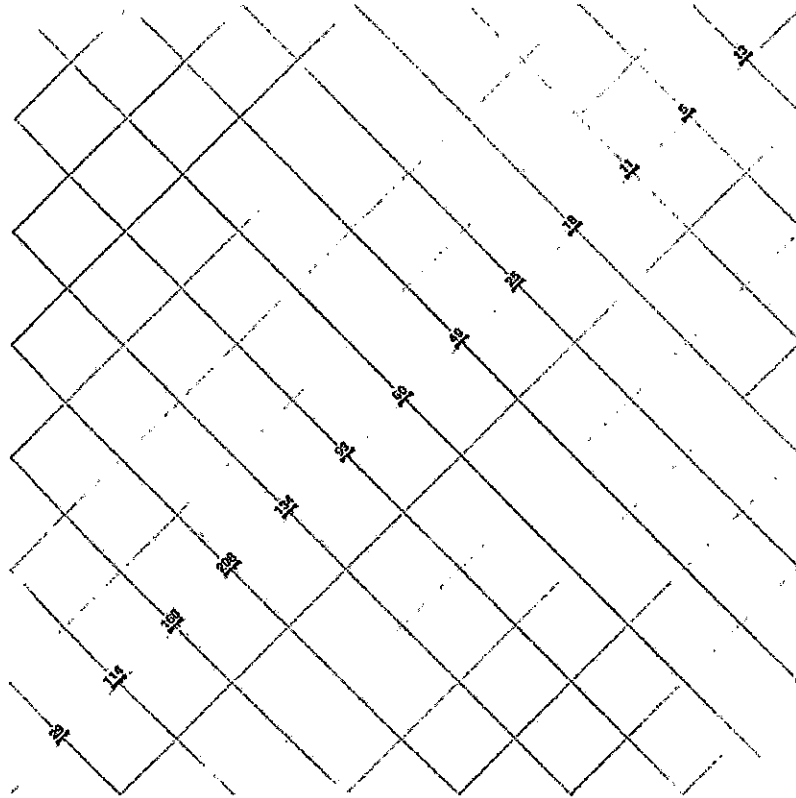


# Annexe 4 : plan de repérage des déplacements verticaux établi par le bet Ratheau



Annexe 5 : plan de repérage des déplacements latéraux établi par le bet Ratheau

Déplacements réels en mm de la charpente par rapport au plan initial  
en vue en plan



Plan de 1986  
Relevés géométriques du 7 Novembre 2014

