

Cathédrale de Beauvais: de l'incertitude à la décision

Autor(en): **Taupin, Jean Louis**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **70 (1993)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-53357>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Cathédrale de Beauvais: de l'incertitude à la décision

Die Kathedrale von Beauvais: Von der Ungewissheit zum Entschluss

Cathedral of Beauvais: From uncertainty to decision

Jean Louis TAUPIN
Architecte en chef des
Monuments Historiques
Paris, France



J.-L. Taupin, né en 1931, s'est attaché à la consolidation de grandes charpentes anciennes et de voûtes d'églises et de palais. Il est actuellement en charge des cathédrales de Beauvais et Meaux. Il enseigne au Centre d'Histoire et de Conservation des Monuments Anciens de Chaillot.

RÉSUMÉ

La cathédrale de Beauvais, défi d'élancement et de précision, reste inquiétante. La nef absente, la Tour-Lanterne de 1569 (153m) tombée en 1573 sont facteurs de déstabilisation. La résonance des structures de grand allongement est l'objet d'une attention croissante. Une faiblesse de fondation des parties ouest non analysée est probable. Les déformations depuis 1966 sont attestées: éclats d'arcs, voûtes fissurées, mesures récentes sur cibles. La collecte de données exactes et un diagnostic accepté par tous les partenaires sont indispensables à un programme rationnel de conservation.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese geometrisch herausfordernde Kathedrale bleibt ein Sorgenkind. Ein 153m hoher zentraler, 1566 gebauter, jedoch 1573 eingestürzter Turm und das fehlende Schiff stören heute noch wegen fehlenden Balken das Gleichgewicht. Windeinflüsse erzeugen Eigenschwingungen. Im westlichen Fundament gibt es anscheinend Probleme. Seit 1966 ist der Alterungsvorgang offensichtlich (Bogenbrüche, Gewölberisse, geodäsische Verschiebungen). Genaue Daten sowie eine durch alle Beteiligten angenommene Beurteilung des Baudenkmals sind die für ein Restaurationsprogramm notwendigen Voraussetzungen.

SUMMARY

The Cathedral of Beauvais, a structural and geometrical challenge, remains a matter of worry. A 153m central tower (erected in 1566, collapsed in 1573) and the missing nave still bring unbalance today, due to a missing buttress. Wind generated oscillations raise a growing concern. Problems are suspected at the western foundation. Since 1966 alteration process is obvious (split arches, vaulting cracks, recent geodesic displacements). Diagnosis acceptable by any partner and adequate preservation plan depend upon exact data.



La cathédrale de Beauvais, conçue comme un défi (élancement, hauteur, précision) reste de siècle en siècle un sujet d'inquiétude. L'absence des parties occidentales (Nef) et les séquelles de l'écroulement de la Tour-Lanterne 4 ans après sa construction (153 m de haut, à la Croisée du Transept sur l'avant dernière travée construite) sont des facteurs hautement inducteurs de déstabilisation.

L'incidence des vents, principalement par le mécanisme de mise en résonance des structures de grand allongement vertical (culées rayonnantes par exemple) est devenue l'objet d'une attention croissante.

Des phénomènes impliquant les fondations des parties occidentales (les dernières construites) sont probables, mais l'état de la connaissance du site ne permet pas encore de les analyser .

La progression des déformations sur la période 1966/1993 au moins est attestée (éclats d'intrados de doubleaux, fissuration de voûtes à 48 m de hauteur, déplacements de cibles géodésiques).

La collecte de données exactes est une source indispensable à la préparation d'un programme rationnel de conservation.

Un préalable obligé est l'établissement d'une description de l'état actuel de l'édifice susceptible d'être acceptée par tous les partenaires concernés.

Architecture :

St-Pierre de Beauvais est né du dessein d'ériger une structure plus haute et plus aérienne que ce qui avait pu être réalisé auparavant. Un schéma géométrique absolu, simple, riche se déploie à partir d'un axe vertical de révolution planté au centre d'une étoile régulière à 13 branches, à partir de -15 mètres sans doute (fondations) jusqu'à +50 mètres (corniches). L'architecte a voulu dans un seul geste d'excellence réunir des catégories que nous dispersons aujourd'hui : la géométrie, la théologie, l'architecture, la maîtrise des structures. La nappe des voûtes et la voilure du haut comble exposée aux vents jusqu'à 60 mètres de hauteur reposent sur 60 supports : ceux-ci, au niveau des grandes fenêtres, dans la partie XIII/XIV^e s., couvrent à peine 7,15% de la superficie incluse dans le périmètre des culées d'arcs-boutants.

Des risques depuis le XIII^e siècle :

* Des murs gouttereaux minces et largement échancrés et des voûtes de 25 cm environ étendues sur des travées de 15 m par 9 m, étaient portés par des "quilles" de 50 mètres épaisses de 1,20 mètre ou peu s'en faut. Une dizaine d'années après l'achèvement du Chœur, des parties de voûtes s'effondrent mais sans ruiner les structures ni du Rond-Point ni les supports du Chœur.

* Vers 1300 dans un respect exemplaire de la pensée créatrice du monument on épaissit le mur gouttereau au-dessus des grandes fenêtres dédoublées, on intercale 6 piliers nouveaux pour porter cette masse accrue, on remodèle la double courbure des voûtes hautes (quadripartite transformées en sexpartite) qui ne demandent que de minces contreforts entre les fortes culées originelles. Le rythme ample et égal des immenses culées verticales qui scandent le pourtour de l'édifice n'est pas défiguré.

* fin du XV^es. on décide de reprendre le chantier pour la construction d'un Transept jugé nécessaire à la stabilité "iceluy cueur est sans croisée ne nef, au moyen de quoy est en danger de totale ruyne et trébuchement, s'il n'est contreboutté par le secours desdictes croisée et nef..".(1518)

* Sur les 4 piles de 52 mètres de la croisée du Transept à peine achevées, on construit en 1564 la Tour-Lanterne. En 1569 une flèche de charpente culminant à 153 mètres est portée par une lanterne de maçonnerie à 2 immenses étages ajourés dont la voûte flotte à plus de 100 mètres du dallage. En 1572 des experts sont appelés à y examiner d'inquiétantes dégradations. La Tour s'effondre 1 an plus tard.

* Après reconstruction des 4 travées de voûtes contiguës à la Croisée on se résigne à construire contre les piliers occidentaux des contreforts particulièrement massifs : suspension d'activité pour des temps indéterminés. Les piles+massifs extrêmes, pesantes, insuffisamment fondées, déversent de siècle en siècle. Au XIX^es. on doit éliminer la voûte de Nef déchirée. Au Nord du Chœur, on doit aussi reprendre plusieurs piliers entre les 2 collatéraux brisés par déversement.

* Dans les 50 dernières années ont été réparés des dégâts de guerre apparents (5 bombes ont frappé la cathédrale en Juin 1940), et on a entrepris de supprimer des tirants métalliques extérieurs (Sud-Ouest du Transept et Nord du Chœur). Depuis, l'attention est périodiquement attirée sur le fait que des mouvements non-équilibrés continuent selon toute évidence à se développer :

- 1/ 1966 : chute de débris de pierre due à des brisures à l'intrados d'arcs doubleaux du Croisillon Sud (1),
- 2/ à partir de 1982 on constate que les culées du Chevet privées de leurs tirants de fer anciens sont mises en mouvement par le vent (2),
- 4/ réouverture de fissurations dans les voûtes du Transept rejointoyées entre 1972 et 1974,
- 5/ en 1992 mesure des vitesses de déplacement de cibles géodésiques posées en 1985 sur les grands piliers,

La nature de l'incertitude. Quel instrument pour transposer rationnellement l'information ? :

L'incertitude qu'inspire cette structure immense, inachevée, sinistrée, travaillée de dérives et de fractures, est perçue depuis des années. Un paradoxal contraste oppose la gravité d'événements redoutés et la difficulté d'en évaluer l'imminence. Le gigantisme entrave la perception rationnelle des poids et des efforts. Les voûtes que la hauteur 6 fois répétée de la chaire n'atteindrait pas encore, paraissent irréelles.

Un problème crucial est donc de trouver des moyens **d'observation, de preuve et de présentation de preuve** : méthodes de mesure, méthodes de raisonnement, méthodes de communication.

Un mode de raisonnement :

* Il faut susciter la conscience de ce que des mouvements amorcés depuis des siècles ne peuvent pas indéfiniment se poursuivre, et de ce qu'ils ne créditent pas l'édifice d'une mythique invulnérabilité : un instant d'équilibre ultime et irréversible doit survenir. Il faut faire voir qu'une résolution catastrophique n'est pas obligatoirement réservée à la 3^{ème} ou à la 7^{ème} génération qui nous suivra, et que même s'il devait en être ainsi, nous n'aurions pas le droit de laisser se préparer ce funeste cadeau à nos Successeurs. Des besognes préliminaires conventionnelles, l'aspiration à d'apaisants consensus œcuméniques, retardent le moment d'accepter, de décider, d'agir utilement.

* Il n'est guère possible de raisonner par analogie : nous avons peu de chance de connaître des événements du type de ceux qu'on appréhende. Peu de structures comparables existent ou ont existé, peu de processus analogues ont été commentés.

* S'en remettre aux démonstrations théoriques ? Les formules conventionnelles sont simples mais approximatives, les formules sophistiquées sont prometteuses mais contestées. Féconde interdisciplinarité : d'essentiels questions peuvent être soulevées par les remarques d'un visiteur attentif et fasciné, des perspectives fondamentales ouvertes par les avis de tels Experts de l'aéroélasticité, de l'archéoméallurgie, ou des matériaux pierreux.

* À ce stade, c'est **dans le bâtiment lui-même que se trouvera l'instrument démonstratif des dérives**. Saura-t-on **montrer** les mouvements, la corrélation spatiale des mouvements, l'accélération des mouvements ?

Quels modes de mesures seraient plus aptes à observer, inspecter, surveiller ?

La mise en œuvre des campagnes de mesures présente diverses difficultés.

- a/ Elle sont souvent coûteuses et délicates et la diversité des techniques fait craindre de mauvais choix,
- b/ Les résultats produits, quoique précieux, sont rarement d'une évidence péremptoire, et il faut beaucoup de persévérance pour tirer toute l'information de la fastidieuse abondance des résultats des mesures,
- c/ Une mesure a souvent pour "mérite" de montrer qu'une autre mesure serait d'un plus grand intérêt, suggestion peu compatible avec la tentation d'exposer des preuves d'efficacité,
- d/ La probabilité d'acquérir une information significative dépend directement de la durée des mesures et de l'étendue du domaine couvert. L'enveloppe des coûts nous enferme dans une relation d'incertitude : brèves mesures en continu, ou mesures discontinues sur une longue période ?
- e/ La technologie de la mesure évolue et rend elle-même obsolètes ses propres pratiques. Comment poursuivre avec de nouvelles techniques plus performantes, alors que le suivi des anciennes méthodes était déjà difficile à financer ?

Évolution des techniques d'observation dans le chantier de Beauvais :

1890 Dans les années 1880/1910 la reprise en sous-œuvre de piliers des collatéraux Nord, a-t-elle été décidée sur le seul constat visuel de destructions locales du matériau ou sur des vérifications de l'intégrité géométrique de la structure, voire sur des mesures de dérives ? Il est possible que des présences humaines dans l'édifice plus permanentes qu'aujourd'hui, aient permis une détection et une interprétation plus directe des évolutions nocives. Maintenant le retard pris dans les interventions et la discontinuité des inspections dans le temps comme dans l'espace, cumulent leurs effets et établissent une ambiance d'incertitude. D'où l'obligation de recourir à des méthodes et à des instruments pourvoyeurs de mesures objectives.



1960 La période 1960/70 est marquée par des initiatives prometteuses. À la suite des brisures de 2 arcs doubleaux des hautes voûtes, une quarantaine d'extensomètres à cordes vibrantes consultables à distance ont été posés dans un secteur du Croisillon Sud, de 40 à 48 m. de hauteur. Le suivi n'a pas été maintenu. Une campagne ambitieuse de relevés par restitution photogrammétrique a été amorcée, première étape pour remédier à un énorme manque de représentation graphique de l'édifice. En même temps l'architecte J.P. Paquet et l'Institut Géographique National ont esquissé une méthode de diagnostic de stabilité des voûtes, en associant une représentation photogrammétrique des voûtes à des épures-test de stabilité théorique via l'informatique de l'époque. Cette tentative a été abandonnée à la mort de l'architecte. Elle aurait été dépassée aujourd'hui par les progrès survenus dans l'application de l'analyse aux éléments finis à l'espace tridimensionnel ⁽³⁾, mais elle révélait la nécessité d'un instrument adapté pour travailler sérieusement sur un tel monstre.

1980 Des systèmes d'observation introduits dans les années 1980 par l'architecte Yves Boiret ont été une autre étape d'un progrès d'objectivité dans la connaissance des évolutions en cours :

- restitution photogrammétriques IGN pour quelques aspects : coupes des batteries d'arcs-boutants et coupes horizontales générales,
- premier réseau de cibles géodésiques créé dans l'édifice (campagne "zéro" en 1985),
- à la suite du constat visuel en Octobre 1982 du balancement de culées du Chevet et de la brisure consécutive de plusieurs arcs-boutants rayonnants, suivi extensométrique sur quelques mois pour l'étude statique de la flexion de l'une des culées rayonnantes du Chevet,
- première phase d'évaluation en soufflerie des contraintes statiques imposées par le vent à diverses faces de l'édifice,
- mesure des caractéristiques mécaniques de carottes extraites d'une culée ⁽⁴⁾ et observation des efforts statiques sur une maquette simplifiée en maçonnerie de cette culée.

1992 Les préoccupations prioritaires sont fidèles à plusieurs principes ⁽⁵⁾ :

- condenser le plus complètement possible les observations antérieurement faites, établir la figuration visuelle des listings de chiffres déjà acquis, produire par leur croisement systématique de nouvelles conclusions, et bénéficiant d'un peu plus de recul, les résumer et repérer les compléments nécessaires,
- constituer le tableau de la situation en éclairant les données par des informations de nature quantitative ou/et qualitative aussi variées que possible. Vérifier dans quelle mesure ces informations se confirment les unes les autres, exploiter les complémentarités et les convergences.
- discuter la rentabilité de divers types de mesures : coûts, valeur de persuasion, sujétions de maintenance, longévité, facilité de lecture, exactitude, et développer l'appareillage de mesures.

Résultats acquis sur les 30 dernières années :

Études des effets du vent

L'essai en soufflerie a fourni des données sur l'intensité relative des poussées ⁽⁶⁾ en 217 points sélectionnés sur une maquette de l'édifice par le CEBTP, mais les mesures, traitées en moyennes, par économie, ne saisissent par l'instabilité des impacts aérodynamiques ni la genèse des phénomènes de résonance.

L'observation du fléchissement d'une culée rayonnante du Chevet a été conduite au moyen de 23 extensomètres à base longue. L'expérience menée au laboratoire du CEBTP sur un modèle réduit de maçonnerie de l'une de ces culées, par paliers jusqu'à destruction, parallèlement à l'étude des coefficients d'élasticité d'éprouvettes extraites du monument, a fourni des données utiles sur les caractéristiques des matériaux.

Les démarches orientées sur l'aspect statique des efforts, n'atteignent pas les processus de mise en oscillation produits sur les grands éléments longilignes du monument par l'échappement de l'air dans un milieu géométriquement complexe. Récemment des observations (photo et vidéo) faites à l'improviste par temps de rafales ont donné des vues directes de phénomènes d'oscillation, et permis une estimation d'amplitudes (3 à 6 cm) et de fréquences (de l'ordre de la seconde). Des simulations préliminaires de mises en résonance de ces éléments ont été commencées sur modèle informatique ⁽⁷⁾. Mais à ce jour aucune auscultation par accéléromètre sur le modèle de celles faites sur 13 cathédrales anglaises et 2 églises allemandes en 1966 ⁽⁸⁾ n'a pu être effectuée. Ces analyses sont indispensables à la compréhension du mode de fonctionnement des tirants de fer en légère flexion (supprimés vers 1960 dans le contexte d'un développement encore insuffisant de l'histoire des techniques) qui établissaient une solidarité entre les culées rayonnantes par un effet d'amortissement inertiel.

Mesures géodésiques de surveillance de la posture de différentes parties de l'édifice :

L'IGN a été chargé en 1985 par l'architecte Y. Boiret et l'ingénieur M. Bancon de mettre en place une surveillance géodésique destinée à évaluer la vitesse de progression des déformations à l'œuvre dans les 36 grands piliers qui forment l'ossature interne de l'édifice (108 cibles réparties sur les piliers en 3 étages).

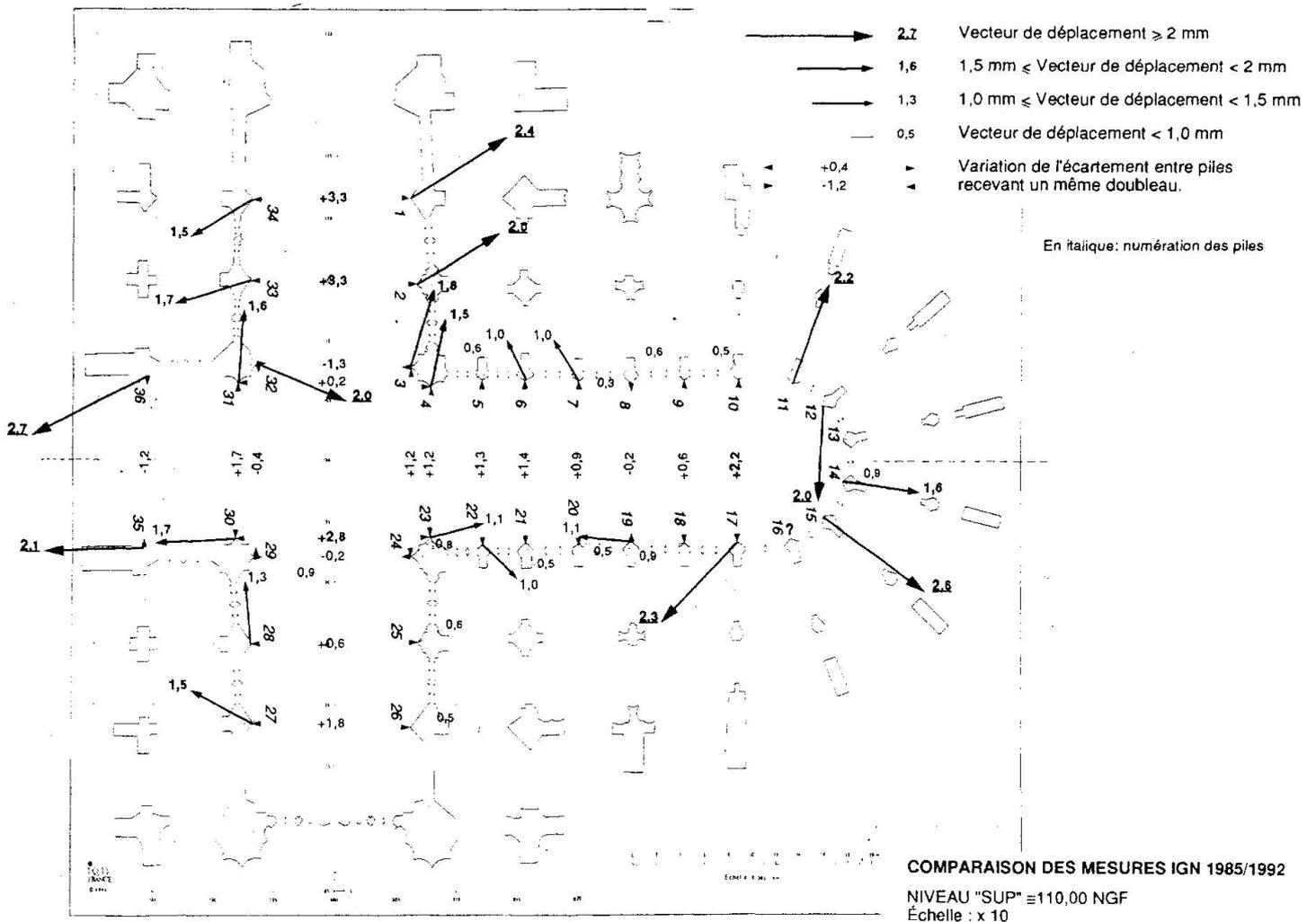
La 1ère confrontation à "l'état zéro" de 1985 a été faite en Mai-Juin 1992, et la réexploitation améliorée du résultat brut des "mesures zéro" par application rétroactive d'un traitement tridimensionnel, a été effectuée en Juillet-Septembre 1992. Le niveau de précision de la "campagne zéro" a été monté vers le niveau de précision que la campagne 1992 doit à l'instrumentation et aux logiciels actuels et à la création de points de visée supplémentaires à mi-hauteur de l'édifice (9).

La mesure des vecteurs de déplacements a bénéficié d'une amélioration de précision de facteur 5 en moyenne. L'IGN a pu assurer une approximation de l'ordre de 1 mm des résultats obtenus en planimétrie. Si la méthodologie n'avait pas pu être améliorée a posteriori, les marges de confiance inhérentes à la technique initiale de traitement des données n'auraient pas permis de certifier l'existence de mouvements.

Les seuils de précision étant déclarés, il est établi que sur la durée de 7 années 1985/1992, des mouvements se sont développés dans plusieurs organes fondamentaux de la cathédrale :

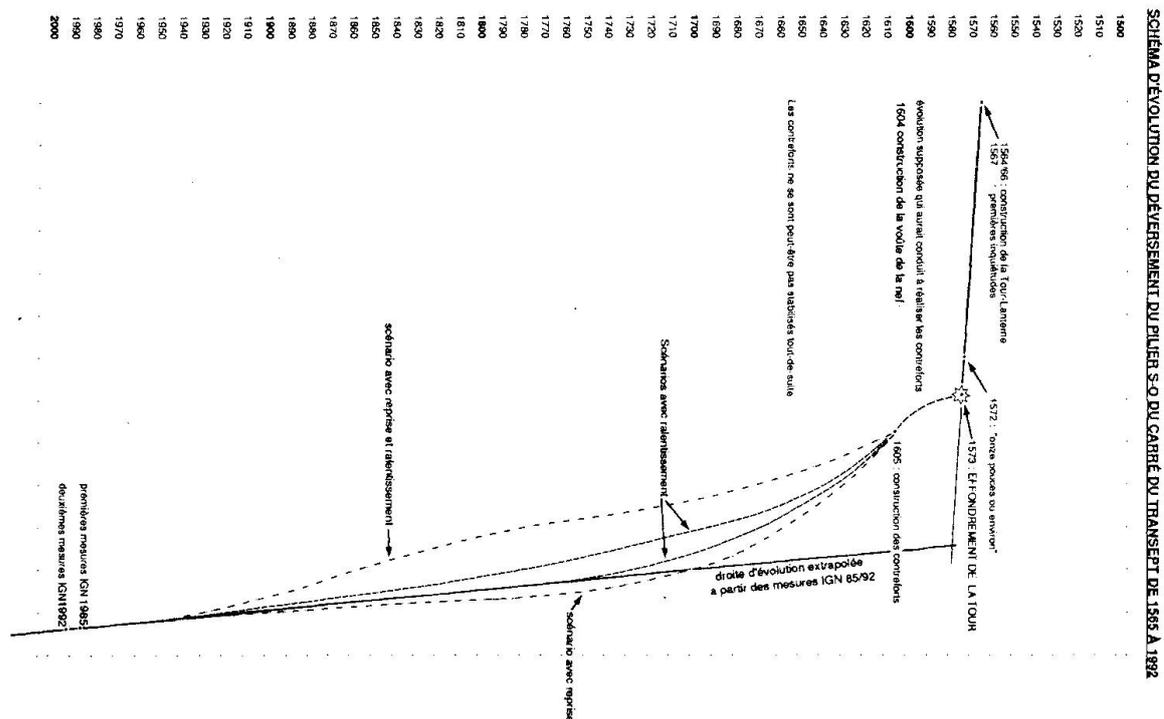
- pour 11% des cibles (6 cibles sup.+ 2 cibles méd.) : mesures comprises entre 1 et 1,5 mm,
- pour 15% des cibles (4 Rond-Point + 7 Transept) : mesures comprises entre 1,5 et 2 mm,
- pour 12% env. des cibles (4 Rond-Point, 5 Transept) : mesures de 2 mm et plus.

Au total 1 pilier sur 4 se serait déplacé en tête de plus de 2 mm (9 piliers sur 36).



Quatre principaux phénomènes apparaissent (10) :

- tendance d'ouverture radiale ou tangentielle affectant la majorité des piliers du Rond-Point,
- poursuite du déversement des 2 piliers de Nef adossés aux gros contreforts Ouest,
- tendance des supports de voûtes de Transept à s'écarter transversalement,
- tendance de certains supports du Transept à se déverser vers le Nord,



Comparateurs, mesures de convergence

Les programmes de mesures proposés s'orientent vers 2 objectifs : dégager une représentation générale des mouvements et de leurs corrélations, permettre une surveillance de points critiques où on pourrait chercher, avec les réserves qui s'imposent, des indicateurs d'alerte. Une meilleure connaissance des antécédents de l'édifice (alertes et confortations survenues depuis 100 ans au moins) devrait faire progresser la compréhension des altérations géométriques. Parmi les divers types d'instruments disponibles, les comparateurs, appareils simples et sensibles, semblent devoir donner des indications utiles sans pourtant imposer les frais et les sujétions de maintenance d'un système de saisie en continu, pourvu que la routine de lecture soit maintenue de façon sérieuse et ininterrompue.

La surveillance géodésique ignore ce qui se passe entre ses cibles, et ce qui est plus grave, au-dessus de celles-ci : au-dessus des voûtes, dans la tranche d'espace où on pressent que se produisent des renversements sous l'effet des contraintes aléatoires issues des charpentes plus ou moins détériorées. Des relevés de déformées de supports et d'arcs sont nécessaires. Il est possible d'associer à cette procédure des **mesures de convergence** (positions relatives des cibles repères), précises et que leur facilité d'exécution permet de répéter plus souvent.

Modélisation informatique

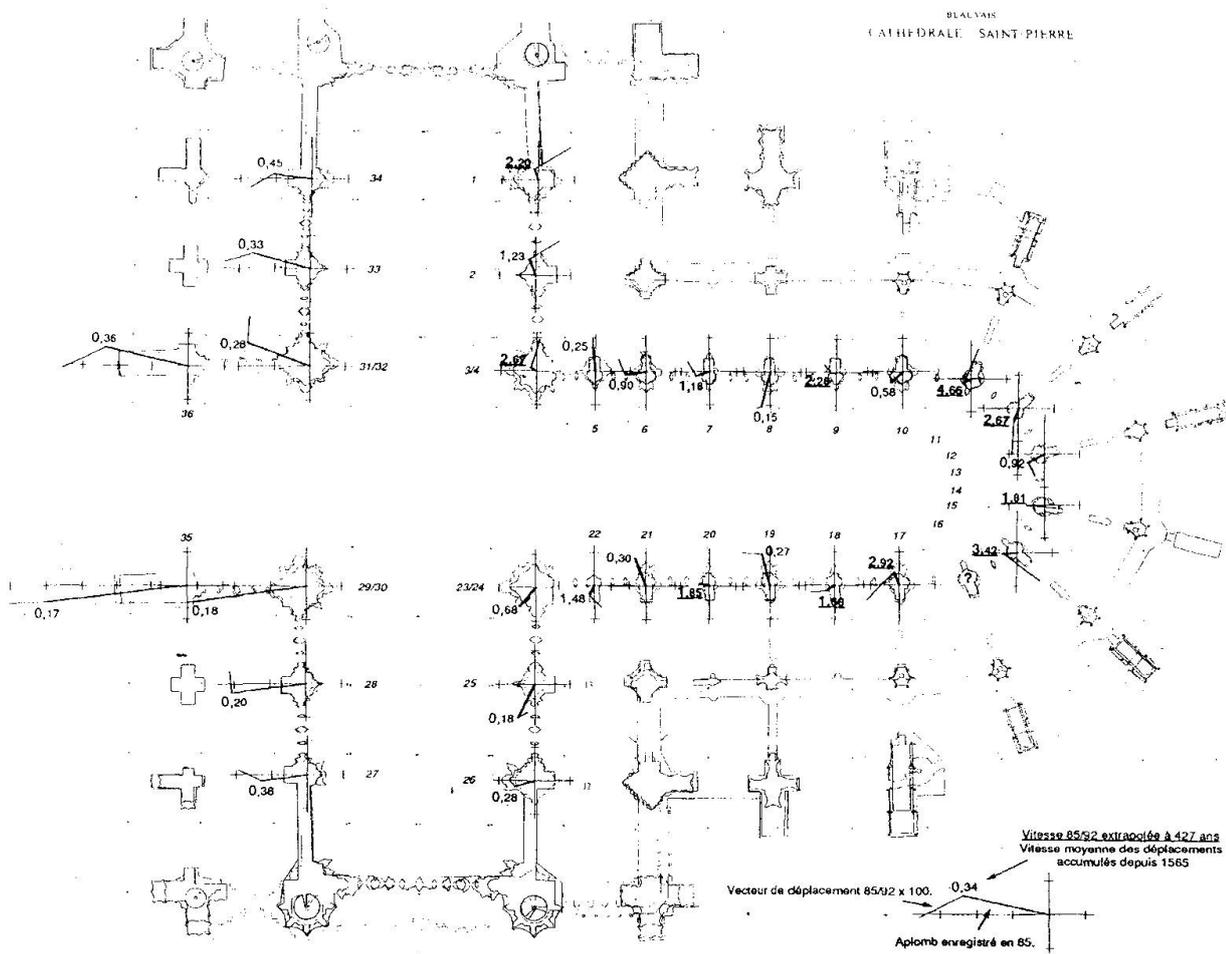
L'intuition et les observations conduisent à considérer l'hypothèse que certaines parties de la cathédrale de Beauvais sont déjà engagées dans un domaine proche de l'instabilité élastique. Toute intervention physique sur le bâtiment (réparation de charpente, déchargement par démontage d'une partie de la couverture de plomb, fondation d'échafaudage sur piliers, murs gouttereaux ou arcs diaphragmes, ancrages de câbles d'étalement, etc.) peuvent introduire un **léger et fatal surcroît de contraintes**.

Les mesures sont utiles à condition d'être replacées dans le contexte de toutes les données disponibles. Le problème posé à Beauvais est d'une très grande complexité. Il faut se féliciter que la diffusion de logiciels adaptés à la modélisation des contraintes au sein de grandes structures permette aujourd'hui **des simulations à blanc préalablement à toute intervention sur le site**. Cette méthode doit être alimentée par des données descriptives fiables : géométrie, caractéristiques de matériaux, saisie des traumatismes tels que les fissures, informations (quasi inexistantes à l'heure actuelle) sur le sol porteur et les fondations. Certaines opérations peuvent être simultanées, et cela d'autant plus que la conception de la modélisation peut s'appuyer sur l'approche modulaire de sous-ensembles progressivement mieux définis. Il ne semble pas y avoir d'autre méthode fiable à mettre en concurrence. Les méthodes plus anciennes subissent de plein fouet, et aggravées par d'autres griefs, les objections que certains croient devoir faire à l'analyse aux éléments finis.

Estimation de la vitesse des dérives

Prenant pour hypothèse que les structures ont été élevées sur des aplombs corrects ⁽¹⁾, le diagramme ci-après expose pour chaque pilier la valeur du rapport de "la vitesse 1985/1992" à la "vitesse moyenne déduite des déplacements cumulés des origines à 1985" (par ex. pour les 2 piles occidentales de la croisée du Transept, à partir du début du chantier de la Tour-Lanterne : 1992-1565=427 ans).

Les valeurs de ce rapport, inférieures à 1 dans 11 cas sur 14, indiquent qu'il s'est trouvé dans des points particuliers, des phases de plus rapide déformation dans le passé. Cela est attesté pour les 4 Piliers du Carré, dont l'histoire est décomposée en 3 périodes contrastées : 1565/1573, 1573/1605 et 1605/1992. L'énergie dissipée dans le sol du Carré par la chute de la Tour-Lanterne a produit au pied des 4 gros Piliers une compression du terrain dont les effets ont agi un certain temps sur les massifs supports de ces piliers. En revanche on note une accélération : zone d'enlèvement des tirants du Chevet.



- 13 piliers existent depuis 750 ans : Piliers 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 23/24,
- 5 piliers existent depuis 700 ans : Piliers 7, 9, 18, 20, 22,
- 12 piliers existent depuis 460 ans : Piliers 1, 2, 25, 26, 27, 28, 29/30, 31/32, 33, 34, 35, 36
- 2 piliers existent depuis 420 ans : Piliers 3/4, 5,
- 2 piliers existent depuis 390 : 2 contreforts Ouest

**COMPARAISON DES VITESSES DE DÉPLACEMENT EN TÊTE DES PILIERS :
DES ORIGINES À 1985 ET DE 1985 À 1992**



CONCLUSIONS :

Il est sage d'investir dans les mesures et dans leur interprétation puisqu'elles sont de façon évidente l'outil qui déterminera le destin d'un monument si toutefois les fruits d'une préparation rationnelle sont mis à profit avant des blessures irréversibles. Toute technique de mesure donne fatalement à observer un édifice comme à travers quelques trous percés dans un écran opaque. Comment répartir une instrumentation forcément limitée ? De maîtres d'Œuvre en maîtres d'Œuvre se fortifiant par degré à mesure de l'enrichissement de la culture ambiante de chaque décennie, se développe un processus de compréhension cumulatif qui prépare les choix à opérer.

Au maître d'Œuvre, intermédiaire responsable entre les Producteurs de mesures et le Récepteur de conclusions documentées qu'est le Maître d'ouvrage, incombe la tâche difficile de faire émerger et faire accepter un jugement solide sur la hiérarchie des priorités nécessaires pour organiser la conservation. Puissent les quelques remarques produites ici, susceptibles peut-être de quelques généralisations dans le domaine de la commande de l'activité mentale, être utiles à d'autres personnes impliquées dans quelque situation analogue.

- 1 Les joints des naissances des arcs ont été vidés ou garnis de plaques de Néoprène formant couche de répartition de contraintes en 1972/74. Les travaux alors ont été limités en pleine connaissance du fait que la consolidation restait entièrement à entreprendre.
- 2 En fait les culées sont mises en résonance par l'impulsions des échappements aérodynamiques produits sur les culées voisines.
- 3 K.D. Alexander & R. Mark, W.J. Beranek de Université de Delft, G. Croci, Chiaruggi, R. Barthel de l'Université de Karlsruhe, École d'Architecture et École nationale supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble, et sur le sujet même de la cathédrale de Beauvais, G. Lamboley en 1992
- 4 "Détermination de la qualité de la maçonnerie d'un contrefort, et vérification de la stabilité d'une maquette de contrefort sous l'effet du vent", CEBTP, Janvier 1988.
- 5 Travail présenté par l'A.C.M.H. J.L. Taupin (Rapports de Janv 92 et de Sept 92).
- 6 Valeur, en chaque point, du "coefficient adimensionnel de pression moyenne statique locale". "Étude aérodynamique sur modèle rigide dans la Soufflerie à couche limite turbulente (soufflerie SACLIT mise au point par J. Wianecki) du CEBTP à St-Rémy-lès-Chevreuse", Mai 1987.
- 7 Application du logiciel SYSTUS - Bureau d'Études de Génie Civil G. Lamboley, 1992.
- 8 "Cathedral vibration and the sonic bang", Aug. 1966, Université de Southampton, collabor. de E. Szechenyi.
- 9 L'accès à des cellules du grand Triforium a été ouvert pour créer des bases de théodolite supplémentaires.
- 10 La précision locale dépendante du mode d'appréhension de chaque point étudié, est explicitée par l'ellipsoïde d'erreur propre à chaque point ("90% de chances que le point réel se trouve à l'intérieur de l'ellipsoïde décrit", ou "risque que sur n points, les coordonnées annoncées pour n' d'entre eux soient inexactes"). L'IGN rend compte de déplacements mesurés avec une précision du demi-millimètre en planimétrie et en altimétrie dans les surveillances géométriques d'ouvrages d'art (Viaduc de Passy, Viaduc du TGV sur la Marne, Parc des Princes). Les améliorations méthodologiques permettront d'anticiper efficacement la date du prochain contrôle qui, au rythme quinquennal, devrait être 1997.
- 11 Ce qui laisse peu de doute si on songe au risque encouru, à la facilité des vérifications par fil à plomb et au luxe de précautions prises en liant les piliers au montage par plusieurs nappes superposées d'entretoises métalliques.