

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 7 (1964)

Artikel: Expérience française des boulons à haute résistance

Autor: Carpentier, L. / Alemany, B.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-7853>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

IIb5

Expérience française des boulons à haute résistance

Erfahrungen in Frankreich mit hochfesten Schrauben

Experience with High Strength Friction Grip Bolts in France

L. CARPENTIER

Chef de la Division Centrale des Ouvrages
d'Art de la S.N.C.F.

B. ALEMANY

Chef du Service Travaux, Région
d'Equipement Thermique I, Electricité
de France

Dès 1955, la S.N.C.F. a utilisé des boulons à haute résistance (Boulons HR) dans la réparation et le renforcement des ponts métalliques sous rails.

A la fin de 1962, 81 000 boulons avaient été posés sur 59 ouvrages divers.

Les résultats de l'enquête récemment effectuée montrent que, rapporté à l'ensemble des observations, le nombre de desserrages de boulons est faible (de l'ordre de 2 à 3%). Aucune rupture de boulons ni de détérioration d'assemblages n'a été constatée. Toutefois quelques ouvrages présentent une quantité relativement importante de boulons desserrés: 7 ont comporté, en effet, plus de 10% de boulons dont le couple de serrage était inférieur de plus de 30% au couple initial. Il semble qu'il s'agissait, dans chaque cas, de boulons serrés avec un couple insuffisant et d'ouvrages où les assemblages étaient surtout sollicités simultanément à la flexion et au cisaillement.

En outre des boulons HR ont été employés dans le domaine du bâtiment et pour l'assemblage sur le site de quatre grands hangars pour avions aux aéroports d'*Orly* et du *Bourget*.

De même, l'E.D.F. a utilisé des boulons HR pour la construction de centrales thermiques importantes: *Champagne-sur-Oise*, *Blénod*, *Loire-sur-Rhône*, se référant à des groupes de puissance unitaire de 250 MW.

Depuis lors et en vue d'une généralisation de l'utilisation de boulons HR, des essais sur boulons et assemblages ont été entrepris.

I. Essais sur boulons

A. Formules théoriques

Couple de serrage:

$$C = C_I + C_{II} = P r \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + P \rho f'. \quad (1)$$

(Se reporter à la table des notations.)

Formule simplifiée:

$$C = C'_I + C''_I + C_{II} = P \left(\frac{p}{2\pi} + \frac{fr}{\operatorname{Cos}\beta} + f' \rho \right).$$

En un point de la tige, les contraintes sont la résultante de:

- σ_t contrainte axiale uniforme,
- τ contrainte due à la torsion de la tige,
- σ_{fx} et σ_{fy} contraintes de flexion, dans deux plans diamétraux perpendiculaires.

Elles sont maxima en des points situés sur la surface extérieure pour lesquelles

$$\frac{\tau}{\sigma_t} \neq 2 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1). \quad (2)$$

L'application du critère de Von Misès permet de prévoir l'apparition du domaine plastique dans la tige lisse équivalente à la partie filetée pour:

$$\sigma_{max.} = \frac{E}{\sqrt{1 + 3 \frac{\tau^2}{\sigma^2}}}, \quad \sigma = \sigma_t + \sigma_{fmax.}$$

B. Résultats d'essais

D'après montage en pont avec strain-gages miniatures placés sur plusieurs génératrices (dont une équipée de rosette).

Mesures couple précontrainte. Voir courbe (fig. 1) montrant plusieurs serrages et desserrages du même boulon, l'influence du changement d'écrou et rondelle et la variation de l'angle de rotation de l'écrou.

Remarques: 1^o La rotation de l'écrou n'est pas un critère satisfaisant et dépend du type d'assemblage. 2^o Au delà du 3e serrage, à couple constant la précontrainte diminue rapidement (voir fig. 2).

Variation des coefficients de frottement. La résolution de la rosette permet de connaître $\frac{\tau}{\sigma_t}$ et, partant, la valeur de f et f' par les équations (1) et (2).

D'une façon générale, on a trouvé:

$$\begin{aligned} f &\text{ variant de 0,07 à 0,10,} \\ f' &\text{ variant de 0,18 à 0,22.} \end{aligned}$$

En outre, on constate que dans la zone d'utilisation, f décroît lorsque P croît, et que f' varie peu au cours d'un même serrage, mais croît rapidement au cours de serrages successifs (fig. 3).

Influence du graissage des filets. Pour des boulons insuffisamment graissés ou graissés par une graisse non appropriée, la précontrainte est plus faible.

Influence de la flexion. Les contraintes mesurées le long de la génératrice, dans des plans diamétraux perpendiculaires, ont permis de constater une diminution considérable de la flexion au cours du serrage. Ci-dessous un ordre de grandeur des résultats obtenus:

C mkg	σ_{fx} kg/mm ²	σ_{fy} kg/mm ²	σ_{fx}/σ_t %	σ_{fy}/σ_t %
20	13,20	14	100 %	105 %
30	10,1	10,1	51 %	51 %
40	6,3	7	21 %	26 %
50	4,7	6,8	12 %	18 %
60	3,1	1,8	6,5 %	4 %
80	1,4	1,1	2 %	1,5 %

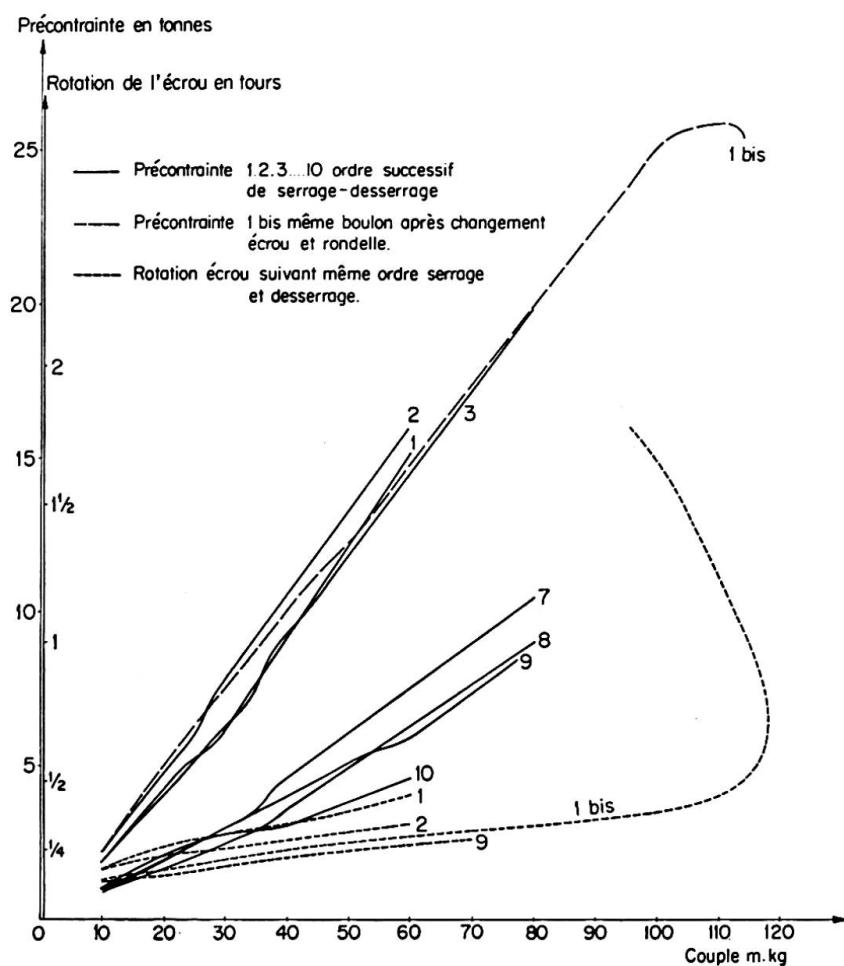


Fig. 1. Précontrainte et rotation de l'écrou en fonction du couple.

Torsion. Les valeurs trouvées pour le rapport τ/σ n'ont jamais dépassé 0,30 (fig. 4) dans la zone d'utilisation, ce qui d'après:

$$\sigma_{max} = \frac{E}{\sqrt{1 + 3 \frac{\tau^2}{\sigma^2}}}$$

conduit à adopter:

$$\sigma_t(\max) = 0,9 E$$

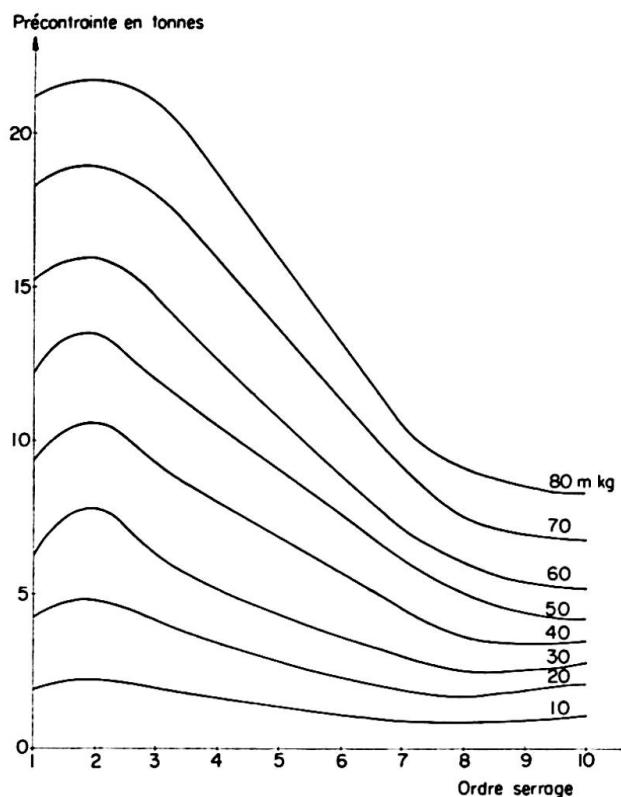


Fig. 2. Précontrainte pour un couple donné en fonction du nombre de serrage-desserrage.

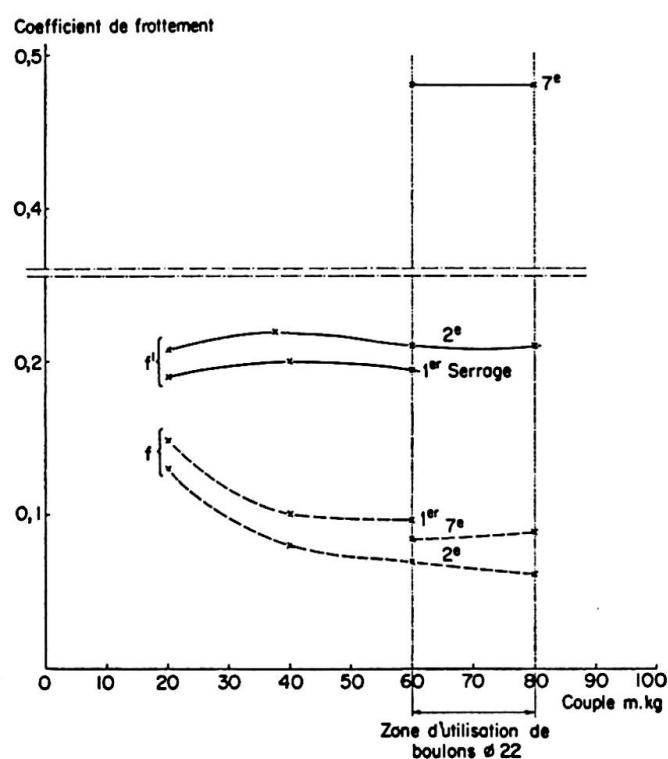


Fig. 3. Variation de f (filets) et f' (écrou-rondelle) en fonction du couple. Influence du nombre de serrage-desserrage.

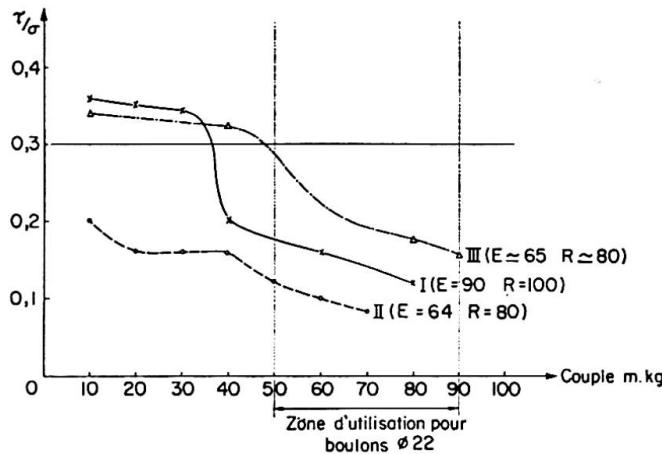


Fig. 4. Valeur du rapport τ/σ en fonction du couple pour différentes qualités de boulons.
Qualités II et III: aciers de qualités comparables mais fournisseurs différents.

Conclusion

Au cours des essais, nous avons constaté que le domaine plastique apparaissait en fait pour une valeur de σ_t très voisine du E définissant la qualité de l'acier utilisé, rejoignant partiellement les recommandations américaines ASTM-A-325-55 T conseillant d'adopter une tension de précontrainte légèrement supérieure à la limite d'élasticité réelle.

II. Essais d'assemblages

Divers cas ont été envisagés:

1. *Assemblages à simple et double recouvrement:* Efforts dirigés suivant le plan de joint (voir photo 1).

- a) *Mesures des coefficients de frottement*

Surfaces brossées: moyenne $f = 0,50$.

Surfaces sablées: f compris entre 0,65 et 0,72.

Surfaces sablées ayant subi un premier glissement:

f compris entre 0,3 et 0,4.

- b) *Répartition des contraintes dans les plaques avant et après glissement* (réservé pour l'exposé au congrès).

- c) *Déformation d'ensemble du joint et déplacements locaux dans la direction du plan de joint.* La comparaison effectuée entre des assemblages par rivets, boulons ordinaires et boulons HR a montré que la déformation d'ensemble était très favorable aux assemblages HR (environ 4 fois moindre).

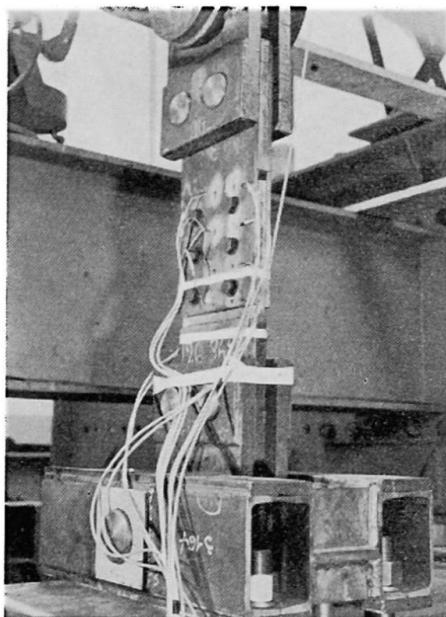


Photo 1. Essai assemblage à double recouvrement.

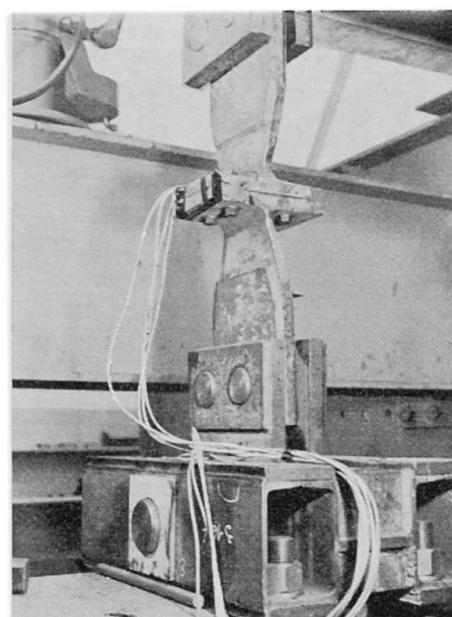


Photo 2. Essai assemblage de brides.

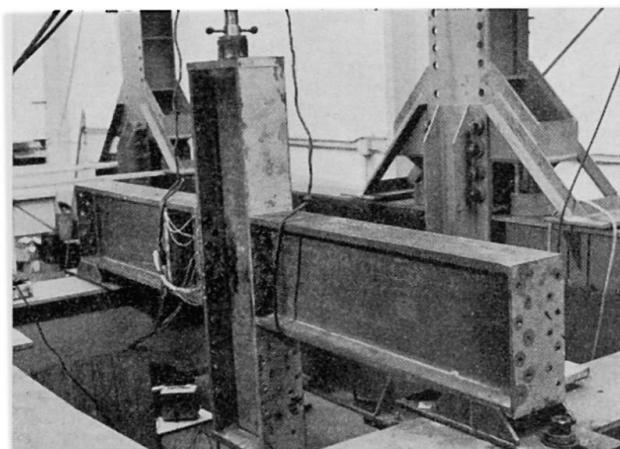


Photo 3. Essai assemblage de poutres sur poteau.

Les déplacements locaux avant glissement sont distribués symétriquement par rapport à l'axe transversal de l'assemblage (courbe en V).

Les ruptures ont eu lieu en section nette.

2. *Assemblages de brides*: efforts dirigés perpendiculairement au plan de joint (voir photo 2). On constate que les boulons s'allongent pour un effort inférieur à la précontrainte en raison de la déformation de la partie centrale de l'assemblage (effet de levier).
3. *Assemblages de poutres sur poteau*: conjugaison des deux cas précédents (voir photo 3).

a) *Dans l'hypothèse de l'indéformabilité de l'assemblage, la fibre neutre est confondue avec la ligne médiane; c'est également valable lorsque l'effort appliqué est faible.*

Le Moment M appliqué et l'effort P dans le boulon le plus sollicité sont liés par la formule (voir fig. 5 a)

$$M = 2PdN \frac{n+1}{6(n-1)}.$$

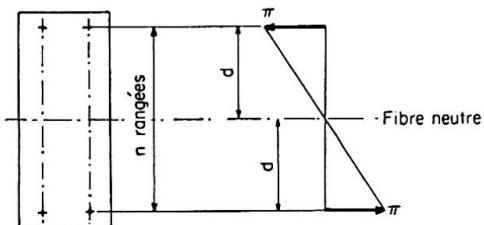


Fig. 5 a.

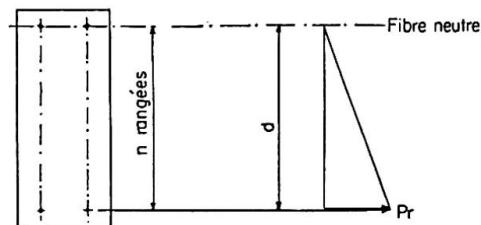


Fig. 5 b.

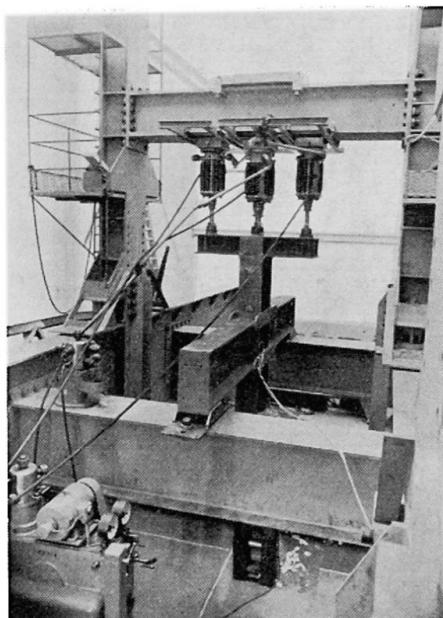


Photo 4. Essai assemblage mixte: boulons HR + barrettes d'encastrement soudées.

Lorsque l'effort appliqué croît, la fibre neutre se déplace diminuant la zone comprimée qui, à la limite, devient nulle.

Le Moment de rupture calculé dans cette hypothèse et vérifié par l'expérience peut être évalué à (voir fig. 5 b):

$$M_r = P_r d N \frac{2n-1}{6(n-1)}.$$

En outre, il a été mesuré l'évolution des contraintes dans les tiges des boulons et étudié les déformations dans le plan de joint.

- b) *Sollicitations ondulées — Essais de fatigue.* Application à l'assemblage d'un effort ondulé (10^5 cycles entre $0,3 M_r$ et $0,6 M_r$) pour étude de la surcharge dynamique des boulons.
- c) *Etude d'un assemblage mixte boulons HR et barrettes d'encastrement soudées* (voir photo 4). Les efforts dirigés perpendiculairement au plan de joint sont repris par les barrettes d'encastrement alors que les boulons HR s'opposent aux efforts dirigés parallèlement au plan de joint.

Conclusion

Les informations obtenues permettront de progresser dans la conception des assemblages et dans leur mise en œuvre.

Jusqu'à présent, la tenue de ceux qui ont été réalisés sur les ponts de la S.N.C.F. semble montrer la vulnérabilité plus grande de ceux qui comportent simultanément un assez grand nombre de pièces anciennes et nouvelles, où une part non négligeable de l'effort donné dans les boulons est consacrée à la mise en contact des pièces plus ou moins déformées préalablement.

Notations utilisées

I. Essais sur boulons

- E seuil de plasticité.
- C couple moteur de serrage.
- $C_I = C'_I + C''_I$ moment de torsion résultant des actions de contact entre filets vis-écrou et assurant la précontrainte dans la vis.
- C_{II} moment résultant des actions de contact entre l'écrou et son assise.
- P précontrainte axiale dans la tige, assurant le serrage.
- p pas de l'hélice.
- r rayon pondéré des actions de contact entre l'écrou et la vis (très voisin du rayon à flanc de filet).
- f coefficient de frottement des filets de l'écrou sur ceux de la vis.
- f' coefficient de frottement entre l'écrou et la rondelle.
- α angle de l'hélice.
- β $1/2$ angle au sommet du filet.
- $\varphi_1 = \text{arc tg } \frac{f}{\text{Cos } \beta}$.
- ρ rayon pondéré des actions de contacts entre l'écrou et la rondelle.
- σ_t contrainte axiale uniforme dans la tige.
- τ contrainte due à la torsion dans la tige.
- σ_{fx} et σ_{fy} contraintes de flexion dans deux plans diamétraux perpendiculaires.

II. Essais d'assemblages

- M* moment appliqué.
P effort dans le boulon le plus sollicité.
M_r moment de rupture.
P_r charge de rupture dans le boulon le plus sollicité.
N nombre total de boulons.
n nombre de rangées de boulons.
d distance du boulon le plus sollicité à la fibre neutre.

Résumé

Il est rendu compte des principales applications ou recherches faites en France depuis 1955:

- réparation et renforcement d'ouvrages anciens,
- construction de bâtiments, en particulier hangars pour avions,
- construction de centrales thermiques.

Les résultats obtenus sur les ouvrages en service et surtout au cours d'un programme d'essais réalisés par Electricité de France sont précisés et commentés.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die hauptsächlichsten Anwendungen oder Untersuchungen beschrieben, die in Frankreich seit 1955 gemacht worden sind:

- Instandstellung und Verstärkung bestehender Bauwerke.
- Ausführung von Hochbauten, insbesondere von Flugzeughallen.
- Bau von thermischen Kraftwerken.

Im weitern werden die Erfahrungen, die an bestehenden Bauwerken gemacht wurden und vor allem im Rahmen eines Programms über Versuche, die von der Electricité de France ausgeführt wurden, beschrieben und kommentiert.

Summary

An account is given of the principal applications and researches made in France since 1955:

- repair and reinforcement of old structures,
- construction of buildings, particularly aircraft hangars,
- construction of thermal power stations.

The results obtained in service and particularly in the test programme undertaken by Electricité de France are given briefly with comments.

Leere Seite
Blank page
Page vide