Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 47 (1921)
Heft: 10

Artikel: La fragilité des aciers soumis à des sollicitations répétées
Autor: H.D.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-36591

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: 14.07.2025

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

Dans la galerie de l'usine d'Amsteg, en revanche, l'élasticité de l'enveloppe rocheuse devrait être constatée à l'aide d'essais établis sur une plus grande échelle. Ils nous indiqueraient dans quelle partie de galerie un revêtement de béton suffit, ou n'est pas nécessaire et, le cas échéant, à quels autres moyens il faut recourir. Etant donnée la réduction considérable de la déformation de surfaces soumises à la pression en raison de la résistance des matériaux qui les avoisinent et qui ne sont pas comprimés, il faudrait mettre sous pression un tronçon de galerie relativement long, et mesurer l'élargissement au milieu de cette section. Ainsi que nous l'avons déjà dit, nous croyons que, dans une roche saine et abstraction faite de la compression plastique des surfaces, il ne se produira pas de déformations notables si la pression intérieure n'est pas trop élevée.

Les essais dont il vient d'être question ont commencé à Piora et à Amsteg. Leurs résultats seront examinés dans la seconde partie de ce rapport, laquelle traitera des conditions que doivent remplir à l'avenir, au point de vue constructif, les galeries sous pression.

(*La fin au prochain numéro.*)

LA FRAGILITÉ DES ACIERS SOUMIS A DES SOLLICITATIONS RÉPÉTÉES

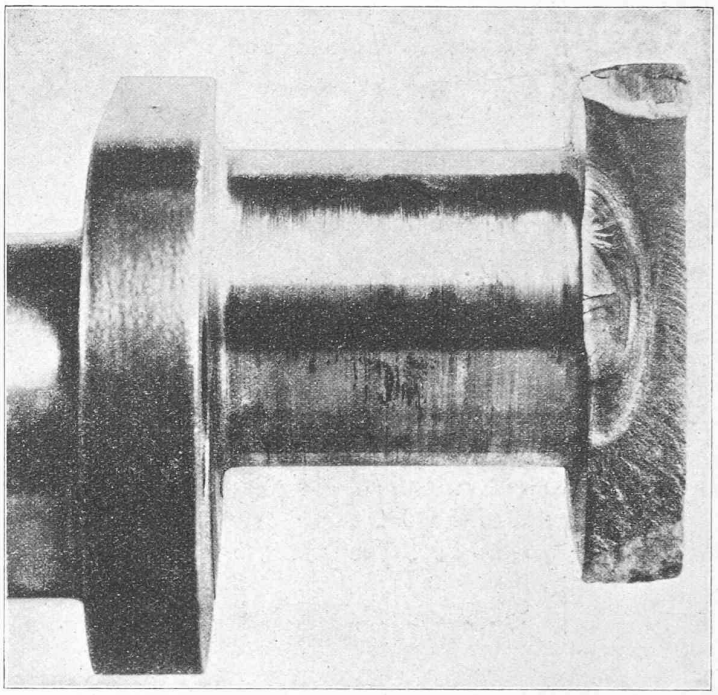


Fig. 2. — Vilebrequin brisé d'un moteur à explosion, à grande vitesse.

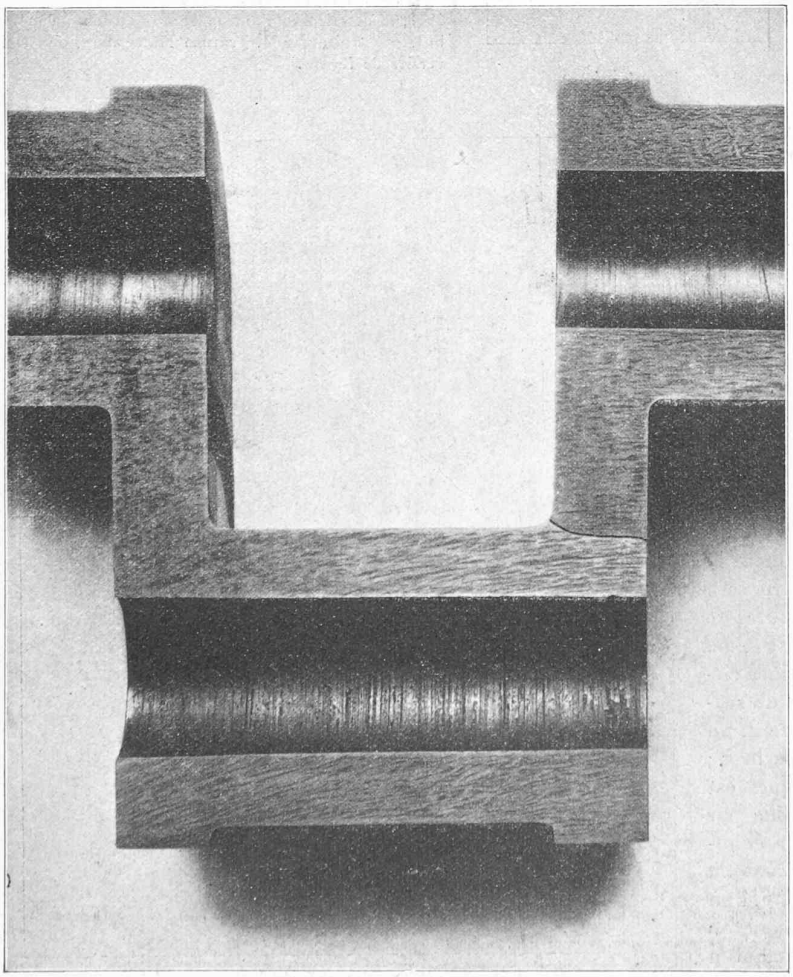


Fig. 3. — Section du vilbrequin de la fig. 2 montrant la direction des fibres de l'acier et la cassure. — Ebauche défectueuse.

La fragilité des aciers soumis à des sollicitations répétées.

MM. *F. Rittershausen* et *P. Fischer* exposent dans les *Kruppsche Monatshefte* les résultats de longues études exécutées par le service des recherches de la maison Krupp sur la fragilité impartie à beaucoup d'aciers par la répétition fréquente de sollicitations dont chacune est d'ailleurs incapable de compromettre en rien la solidité du métal.

Il s'agit de cette fragilité qui se manifeste un beau jour, souvent après plusieurs années de service, par une rupture soudaine et intempestive sans avoir été précédée d'une déformation apparente de la pièce, sans que la région voisine de la rupture présente ni allongement ni contraction latérale. On a tenté d'expliquer ce phénomène en invoquant la « fatigue » de l'acier, par quoi on entendait une diminution de sa résistance et de sa ductilité concomitantes à une altération de sa texture. Cette explication paraît difficilement soutenable ensuite des expériences faites aux établissements Krupp, dont les résultats semblent conduire à la conclusion que la cause de cette fragilité des aciers est non la « fatigue » mais l'imperfection de l'élasticité du métal. Voici l'interprétation de MM. Rittershausen et Fischer : On peut admettre que les aciers sont doués d'une élasticité parfaite tant que l'action moléculaire, la tension, reste au-dessous d'une certaine limite qui est d'ailleurs bien inférieure à la fameuse limite apparente d'élasticité. Certaines conjonctures pourront se présenter où quelques fibres, par exemple, les fibres les plus extérieures d'un corps travaillant

LA FRAGILITÉ DES ACIERS SOUMIS A DES SOLLICITATIONS RÉPÉTÉES

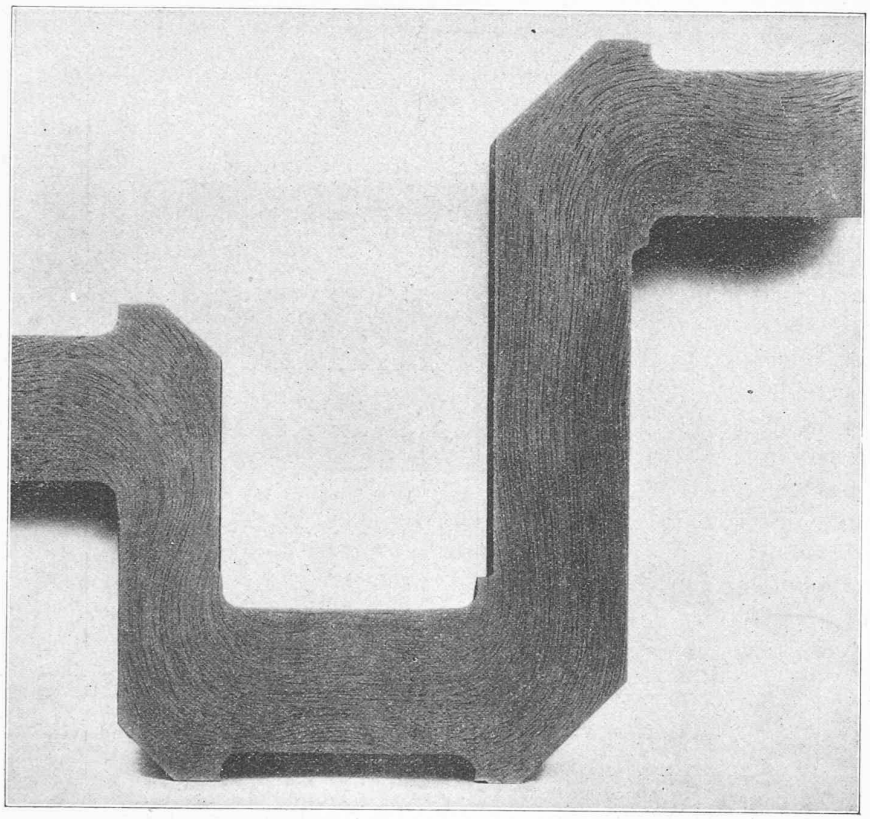


Fig. 4. — Aspect des fibres d'un vilebrequin correctement matricé.

à la flexion, seront sollicitées un peu au delà de la limite d'élasticité parfaite, d'où légère déformation permanente d'ailleurs insignifiante en elle-même mais qui pourra, sous l'action de la même sollicitation fréquemment répétée, produire une fine fissure. Cet accident, d'autant plus à redouter que l'amplitude des variations, en intensité et en durée, des sollicitations est plus grande, confère aux deux lèvres de la fissure une certaine mobilité relative favorable à la propagation de la fissure et le mal ira empirant jusqu'à la rupture qui se produira soudainement, sans manifestation prémonitoire.

Ce processus est illustré par la figure 1 qui montre la cassure d'un essieu de vagon, en acier Thomas. On voit nettement comment les choses se sont passées : formation sur le pourtour de l'essieu de petites fissures qui se multiplient et s'approfondissent, produisant une véritable « saignée » qui entraînera la ruine de la pièce dès que la section du noyau non avarié sera suffisamment réduite. La région débilitée par les fissures se distingue, par son aspect lisse, du noyau à texture cristalline.

La formation de ces fissures sera favorisée par certaines circonstances telles que entailles, changements brusques de section, usinage irrationnel, etc. Voici, par exemple, figure 2, un arbre coudé, brisé à l'intersection du maneton avec le bras ; la cassure, dont la propagation par zones concentriques est caractéristique, s'est amorcée dans une région affaiblie par un changement brusque de section et en outre par un ébauchage défectueux qui se manifeste par les fibres coupées de la figure 3, par opposition au matriçage correct de la figure 4 où les fibres ne sont plus tranchées à l'intersection du maneton et des bras et parallèles les unes aux autres dans le maneton et dans les bras, mais incurvées à l'intersection de façon à épouser le contour du vilebrequin.

L'influence d'une entaille, même insignifiante en apparence, est mise en lumière par la figure 5 où l'on voit que la cassure s'est amorcée le long du trait de pied du chiffre 2 gravé sur la pièce.

En vue d'étudier la comportance des aciers sous l'action des efforts répétés les établissements Krupp ont construit un appareil[1] représenté par la figure 6 ; c'est, en principe, un mouton du poids de 4,185 kg. dont la panne a la forme d'un cône et qui, tombant d'une hauteur normale de 30 mm., vient frapper, à raison de 85 coups environ par minute, l'entaille d'une éprouvette qui tourne autour de son axe soit de 180°, soit de 1/25 de tour après chaque coup. Les deux types d'entaille, à fond arrondi et à fond aigu sont représentés par les figures 7 et 8. La figure 9 montre diverses cassures caractéristiques produites par cet appareil : les deux colonnes verticales de droite se rapportent à des éprouvettes qui ont tourné de 180° après chaque coup, tandis que les éprouvettes des deux colonnes de gauche ont tourné de 1/25 de tour après chaque coup. Les cassures de la première et de la troisième colonne proviennent

[1] Voir, à la page 189 du *Bulletin Technique* de 1919, la description d'une machine destinée an même but, construite par M. Tsaruso Matsumara, de l'Université de Kyoto.

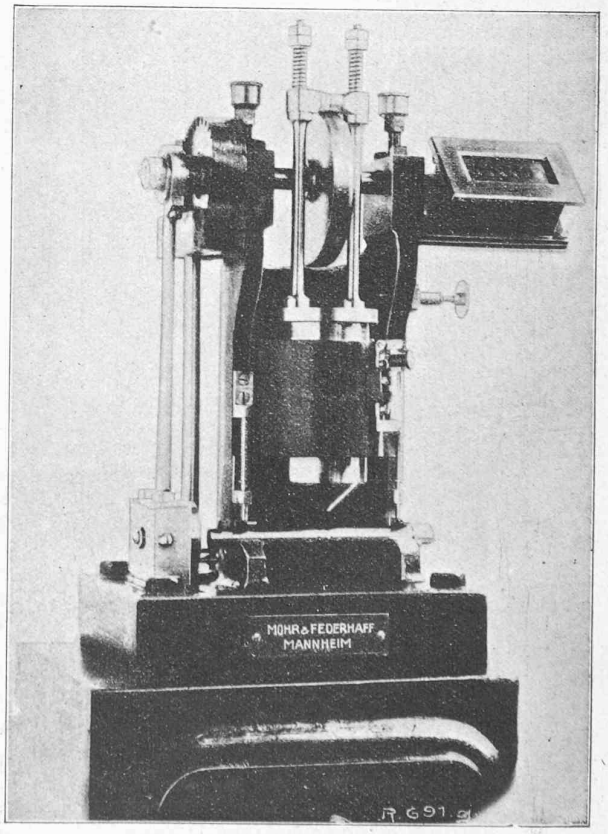


Fig. 6. — Appareil système *Krupp* pour l'étude de la flexion par chocs répétés sur barreaux entaillés.

LA FRAGILITÉ DES ACIERS SOUMIS A DES SOLLICITATIONS RÉPÉTÉES

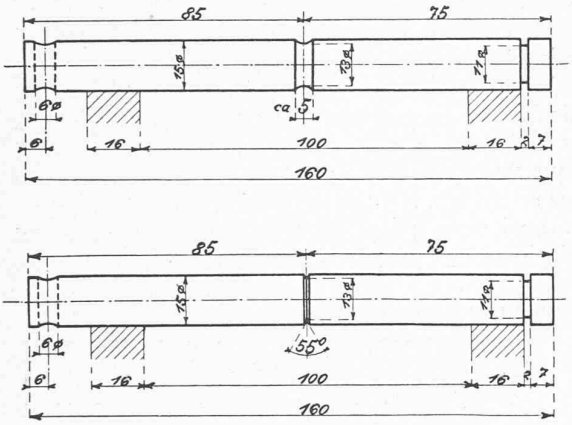


Fig. 7 et 8. — Eprouvettes normales avec entaille à fond arrondi (fig. 7) et aigu (fig. 8).

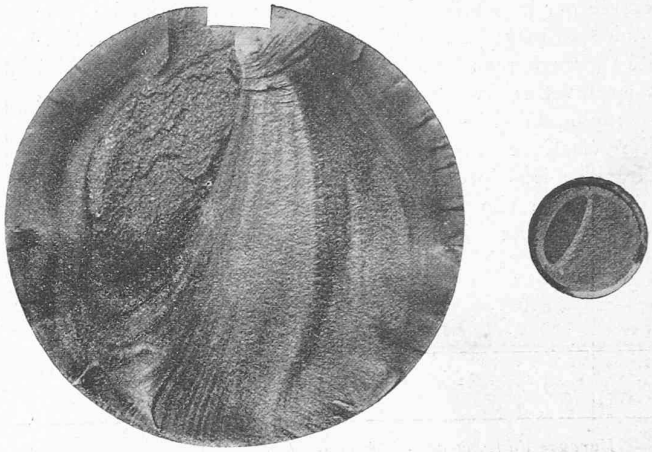
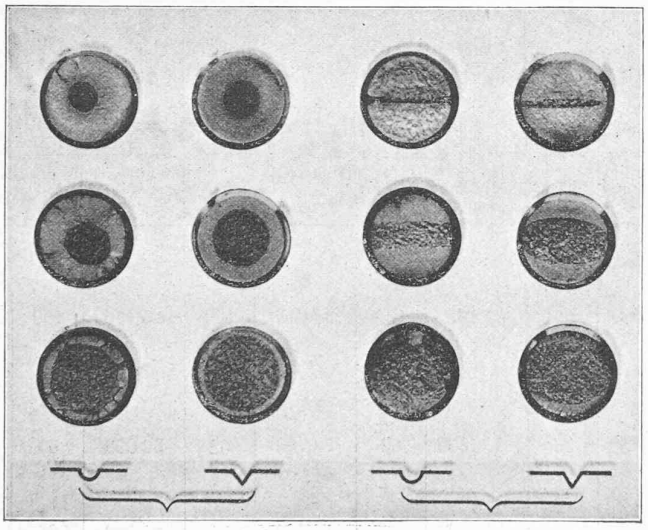


Fig. 10. — A gauche, manivelle de locomotive brisée en service. A droite, cassure produite par l'appareil de la figure 6.



Rotation de $^1/_{25}$ de tour après chaque coup. Rotation de 180° après chaque coup.

Fig. 12. — Types de cassures produites par l'appareil de la figure 6.

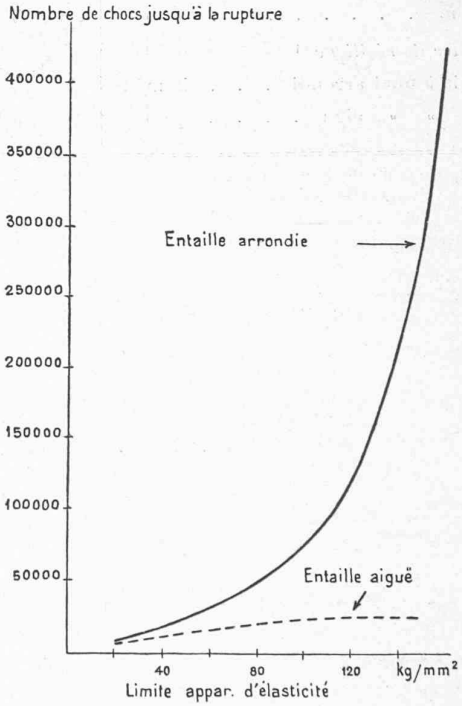


Fig. 11. — Relation entre la fragilité et la limite apparente d'élasticité.

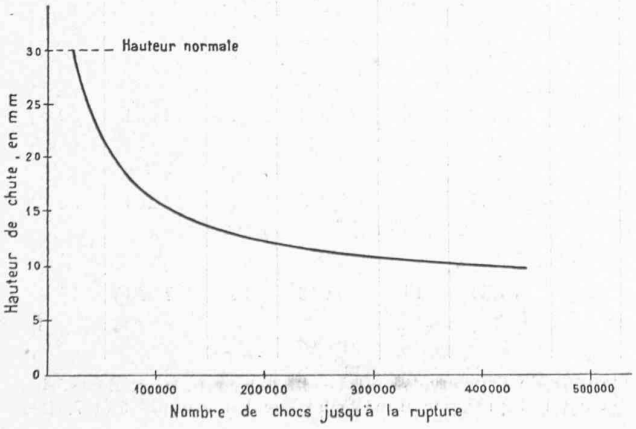


Fig. 12. — Influence de la hauteur de chute du mouton sur le nombre des chocs nécessaires pour obtenir la rupture.

d'entailles à fond arrondi, celles de la deuxième et de la quatrième colonne, d'entailles à fond aigu. Les éprouvettes de la ligne horizontale inférieure, étaient en acier ordinaire, celles de la ligne médiane en acier ordinaire aussi mais plus ductile, enfin celles de la ligne supérieure étaient en acier au chrome-nickel encore plus ductile. La similitude des cassures courantes avec celles qui sont produites par l'appareil Krupp apparaît sur la figure 10 où l'on voit à gauche une manivelle de locomotive brisée en service et à droite la cassure d'une éprouvette à entaille aiguë rompue sous l'effet des chocs du mouton. A noter, en particulier, la similitude parfaite des noyaux elliptiques.

La corrélation entre la fragilité et l'élasticité des aciers ressort du graphique de la figure 11 qui exprime cette fragilité (mesurée par le nombre de coups de mouton nécessaire pour produire la rupture) en fonction de la « limite apparente d'élasticité » (Streckgrenze) mesurée en kg. par mm². La fragilité des éprouvettes avec entaille à fond arrondi (ligne pleine du graphique) décroît d'abord lentement, tandis que la limite élastique s'élève, puis très rapidement. Quant à la fragilité des éprouvettes à fond aigu (trait interrompu) du diagramme elle semble passer par un minimum, mais elle est toujours bien plus grande que celle des entailles arrondies.

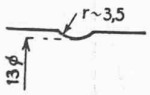
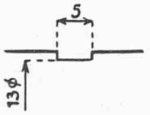
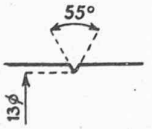
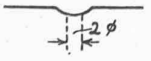
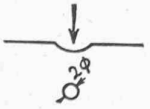
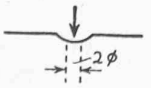
Le graphique de la figure 12 montre que, le nombre de chocs nécessaire pour produire la rupture croissant très vite quand la hauteur de chute diminue, il est indiqué de s'en tenir à la hauteur normale de 30 mm. si l'on ne veut pas s'astreindre à des essais très longs.

En dépit de ce qu'on pourrait inférer de l'aspect des cassures de la figure 9, les expériences ont montré que l'influence de la ductilité sur le nombre de chocs produisant la rupture est pratiquement négligeable.

De leurs recherches, MM. Rittershausen et Fischer tirent les conclusions suivantes qui ne sont que la traduction en langage ordinaire des graphiques de la figure 11 :

Epreuves d'endurance d'aciers sollicités à la flexion par chocs répétés.

	Acier au carbone	Acier au nickel	Acier au manganèse	Acier au silicium	Acier au chrome-nickel
Epreuve de traction sur éprouvettes de 12 mm. de diamètre					
Limite élastique apparente . . . kg/mm²	38	38	46	64	76
Résistance à la rupture . . . . »	58,5	50,1	64,3	84,4	85,6
Allongement (60 mm. entre repères) %	28,6	31,8	23,5	22,8	22,7
Contraction . . . . . »	65	73	67	52	68
Epreuve de résilience [1]					
sur entaille à fond arrondi . . . kgm/cm²	11,4	28,7	14,7	6,0	19,8
» » » » aigu . . . . »	3,4	22,7	6,4	3	13

Epreuves d'endurance à la flexion par chocs répétés	Nombre de chocs jusqu'à la rupture	Rapport	Nombre de chocs jusqu'à la rupture	Rapport	Nombre de chocs jusqu'à la rupture	Rapport	Nombre de chocs jusqu'à la rupture	Rapport	Nombre de chocs jusqu'à la rupture	Rapport
Forme de l'entaille										
1  Entaille arrondie normale	15 807	100	15 630	100	23 168	100	30 075	100	50 170	100
2 Des stries très fines ont été gravées sur les flancs de l'entaille 1. . . .	8 702	55	12 085	77	15 736	68	18 750	62	32 000	64
3 	8 892	56	7 240	46	12 009	52	13 350	51	31 400	63
4 	4 805	30	4 240	27	6 992	30	10 098	33	16 795	33
5  Entaille arrondie normale, avec trou transversal de 2 mm. de diamètre	5 270	33	5 917	38	8 442	36	10 591	35	19 582	39
6  id.	6 177	39	5 023	32	8 937	39	9 975	33	16 258	32
7  id.	2 175	14	1 976	13	3 423	15	4 216	14	7 900	16

N.-B. — Les essais des séries 1 à 5 comportaient une rotation de $^1/_{25}$ de tour de l'éprouvette après chaque coup, ceux des séries 6 et 7, une rotation de 180° après chaque coup. La direction de la percussion est indiquée par une flèche sur les croquis 6 et 7. Les « nombres de chocs » sont la moyenne des résultats d'au moins trois expériences.

[1]) Sur éprouvettes de 30×30×160 mm., avec entaille à mi-épaisseur, à fond arrondi de 2 mm. de rayon dans le premier cas et, dans le second cas, aiguë, à flancs inclinés à 45°.

Un acier présentant des entailles à fond arrondi résiste d'autant plus longtemps aux sollicitations à la flexion par chocs répétés, en l'absence d'entailles aiguës, que sa limite élastique apparente est plus élevée. Les incisions aiguës peuvent compromettre à tel point la résistance des aciers qui en sont affectés que le nombre de chocs nécessaire pour produire la rupture reste déplorablement petit même lorsque la limite élastique atteint des valeurs très élevées.

Afin d'étendre leurs investigations à d'autres types d'entailles que les deux types normaux MM. Rittershausen et Fischer ont entrepris les expériences résumées dans le tableau ci-dessus, suffisamment explicite pour que nous puissions nous dispenser de longs commentaires. Relevons seulement l'action très marquée des fines stries pratiquées sur les flancs de l'entaille arrondie et qui réduisent de 23 à 45 % la résistance de l'acier[1]. Même observation à propos des trous transversaux, dans le plan de l'entaille, tout spécialement lorsque leur axe coïncide avec la direction du choc, la diminution de la résistance atteignant alors 84 à 87 % tandis que le moment d'inertie n'est réduit du fait de la perforation, que d'environ 27 %.

H. D.

Concours pour l'étude des plans d'un bâtiment d'internat à l'Ecole cantonale d'agriculture, à Cernier.

(*Suite et fin*)[2]

N° 18, *Internat.* — Ce projet, d'un cube assez élevé (16,807 m³.), qui présente un plan étendu, à corridor unilatéral renferme tous les locaux en un plain-pied et deux étages, dont un en attique, sous toiture, limitant ainsi la hauteur des façades à 11 mètres à la corniche. Les corridors, d'une surface un peu vaste, sont largement éclairés. Outre qu'il contient près de 200 places au lieu de 135 à 150, le réfectoire, d'une composition vicieuse, est très mal éclairé ; son annexe circulaire, couverte en terrasse, n'est pas adaptée aux exigences du climat. Le réfectoire devrait être aménagé à l'emplacement prévu, par erreur, semble-t-il, pour la soute à charbon. Les locaux de vestiaires, séchage et nettoyage sont vastes, mais ce dernier devrait être indépendant.

L'aula qui manque de surface, est bien placée dans l'aile gauche ; bonne disposition des classes au sud-est. L'éclairage des dortoirs a une grande clarté de distribution ; ces dortoirs, sauf quatre au sud-ouest et nord-est, sont favorablement tournés au sud-est ; bon arrangement des lits. Les lavabos sont alignés en nombre suffisant le long de la face postérieure des corridors, disposition peu recommandable ; au point de vue de la propreté, de l'entretien et de l'aspect des espaces de circulation, il est préférable d'affecter des locaux spacieux à ce service.

La deuxième étape comprend la construction des ailes en retour et la désaffectation du logement de concierge pour créer le laboratoire de chimie. Bonne architecture, robuste et saine, aux coupures et proportions agréables, de construction simple, avec des toitures sobres et suffisamment amples, sans exagération (fig. 15 à 18).

Après un nouvel examen, le jury classe les projets dans l'ordre suivant, pour l'attribution des récompenses : Premier prix : N° 10, « Les Vieux Prés ». Deuxième prix : N° 3, « Fleur de Trèfle ». Troisième prix : N° 9, « Auroriens ». Quatrième prix : N° 18, « Internat », puis il fixe le montant des prix, d'après la valeur respective des projets.

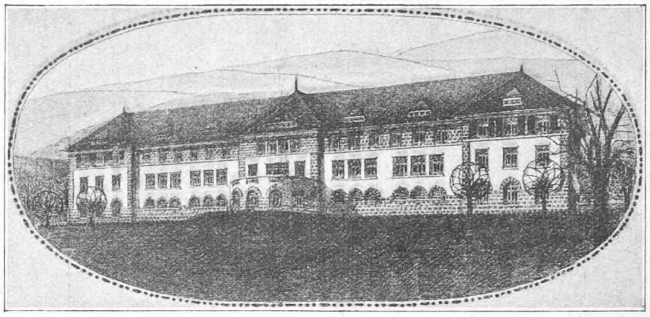


Fig. 18. — Projet « Internat » — Perspective.

Les plis ouverts par M. le chef du Département des travaux publics, donnent les résultats suivants :

Premier prix : N° 10, « Les Vieux Prés », 2000 fr. MM. *Ubaldo Grassi* et *Alfred Hodel*, architectes, à Neuchâtel.

Deuxième prix : N° 3, « Fleur de Trèfle », 1700 fr., MM. *Oesch* et *Rossier*, architectes, au Locle.

Troisième prix : N° 9, « Auroriens », 1500 fr., MM. *J.-U. Debely* et *G. Robert*, architectes, à La Chaux-de-Fonds.

Quatrième prix : N° 18, « Internat », 800 fr., M. *Gustave Röthlisberger*, architecte, à Neuchâtel.

En terminant ce rapport, le jury tient à signaler, avec plaisir, que, d'une manière générale, tous les travaux présentés dénotent un effort, une recherche et un travail sérieux et considérable. Si tout en s'approchant de très près de la solution absolue du problème posé, aucun des projets ne l'a réalisée assez complètement, cela provient des difficultés inhérentes à la complexité du programme, notamment le groupement sous un même toit de plusieurs services de destinations différentes.

Essais des moyens[1] de colmatage des bassins d'accumulation, digues, barrages, canaux, galeries, etc.

Rapport préliminaire de M. *W. Hugentobler*, ingénieur de la Commission de colmatage de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux.

Les expériences faites jusqu'à ce jour ont prouvé que la construction des *bassins d'accumulation artificiels* est, la plupart du temps, liée à de très grosses difficultés dues à la trop grande perméabilité du fond ou des versants de la vallée ou au fait qu'il se produit des éboulements après l'abaissement des eaux. Il en est de même du colmatage des barrages, digues, galeries, canaux, etc., trop souvent soumis à de très fortes pressions d'eau dans des conditions géologiques défavorables.

La bibliographie concernant les dites expériences n'est pas volumineuse ni très connue du public ; pourtant il existe déjà un important matériel d'observations qui, il est vrai, n'a été que rarement publié.

Par conséquent, l'*Association suisse pour l'aménagement des eaux* a décidé de *rassembler* et de *compiler* autant que possible les résultats économiques de toutes les expériences et observations déjà faites dans ce domaine, en s'adressant aux autorités, entreprises ou bureaux d'ingénieurs intéressés. D'autre

[1] Les nouveaux cahiers des charges unifiés élaborés par la Commission française de standardisation tiennent compte de ce facteur lorsqu'ils prescrivent, à propos de la mesure de la résilience « qu'on devra s'assurer qu'il n'existe pas de stries parallèles aux génératrices de l'entaille ».

[2] Voir *Bulletin technique* du 30 avril 1921, page 105.

[1] Communications de la Commission de colmatage de l'Association suisse pour l'aménagement des Eaux. (No 1. 25 février 1920).

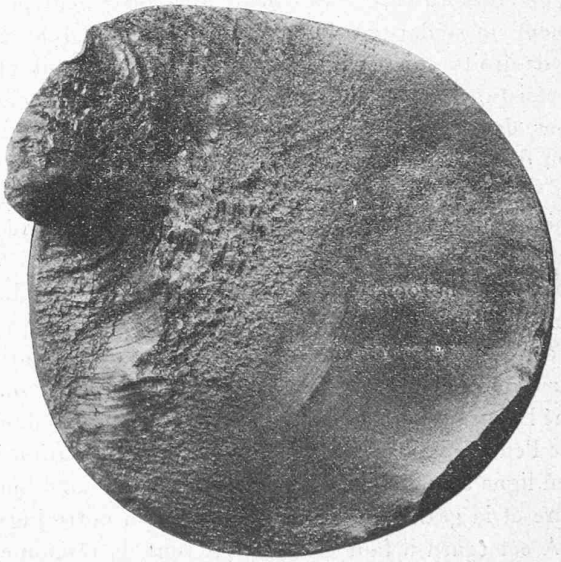
Fig. 1. — Cassure d'un essieu de wagon, en acier Thomas.

où elle ne cède pas aux efforts de traction concourent également à diminuer les déformations radiales.

Dans une enveloppe rocheuse saine, abstraction faite de sa résistance à la traction, la pression intérieure se propage radialement, en théorie, jusque dans les couches les plus éloignées, d'où il résulte que la pression spécifique diminue rapidement en raison du profil annulaire de la galerie. En réalité d'autres facteurs, par exemple, des effets de voûte qui se produisent dans la roche, contribuent sans doute à réduire considérablement les déformations élastiques théoriques. Avec un coefficient d'élasticité de 200 t./cm², par exemple, la mesure théorique de la déformation radiale de l'enveloppe rocheuse sous une pression de $4,_5$ atm. sera de $^1/_{20}$ de mm. L'influence de l'élasticité de la roche pour un profil de galerie circulaire dans une enveloppe rocheuse élastique résistant à la traction sera du même ordre de grandeur en cas de réaction radiale uniforme de cette enveloppe. L'équation posant que les allongements élastiques, radiaux ou tangentiels à l'extrados du tube en béton doivent être égaux, montre que la plus grande partie de la pression intérieure est transmise à l'enveloppe rocheuse, par exemple, pour un tube en béton de 25 cm. d'épaisseur avec rayon intérieur de 100 cm., le coefficient d'élasticité du béton étant de 100 t./cm.² et de 200 t./cm² pour la roche, et la pression intérieure de $4,_5$ atm., la pression spécifique extérieure (qui agit sur une surface de 25 % plus grande) est de $3,_{26}$ atm. La plus grande fatigue à l'extension à laquelle est soumise le tube en béton est de $3,_9$ kg. par cm.² à l'intérieur et de $2,_1$ kg. par cm.² à l'extérieur; dans le rocher, elle est de $2,_4$ kg. par cm.² Par conséquent, le tube en béton ne supporterait lui-même qu'une faible fraction de la pression intérieure, et serait ainsi soumis à un effort peu considérable. L'augmentation du diamètre intérieur de la galerie s'élève dans ce cas à $^1/_{20}$ de mm. environ ; mais si les réactions de la roche ne sont pas uniformes ou si le profil de la galerie s'écarte de la forme circulaire, l'effort de traction auquel est soumis le tube peut provoquer des fissures.

Seuls des essais peuvent permettre un jugement définitif sur la dimension et la nature des déformations de la roche. On pourrait en tirer des conclusions quant à la grandeur de la pression dangereuse et quant à la nature de la maçonnerie. Ces essais devraient avoir lieu dans l'intérêt général ; ils pourraient être entrepris, par exemple, dans une galerie d'essai qui serait établie à Piora au-dessus de la galerie existante et parallèlement à cette dernière, ainsi que dans la galerie de l'usine d'Amsteg. Dans le premier cas, c'est-à-dire dans le micaschiste qui ne possède pas d'élasticité accusée, la déformation sera probablement purement plastique, elle consistera en une compression des parties extérieures. Cet essai peut donner de bons résultats, même si une petite partie seulement de la surface, 1 m.² par exemple, est soumise à la compression.

LA FRAGILITÉ DES ACIERS SOUMIS A DES SOLLICITATIONS RÉPÉTÉES



«2»

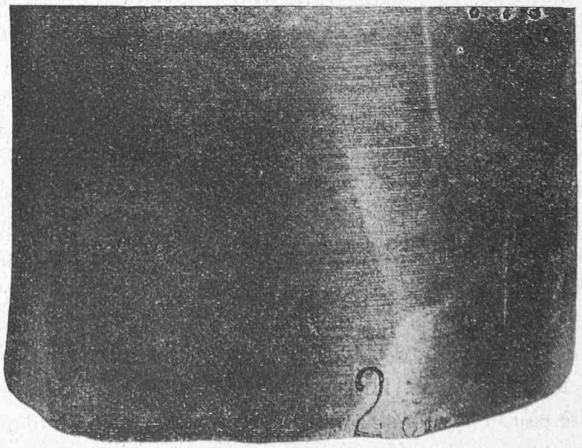


Fig. 5. — Rupture amorcée le long du trait horizontal du «2».