

**Relation  
entre la déformation permanente  
dans un essai de traction simple  
et le fluage des aciers  
à la température ordinaire**

par

**Kazimierz GAMSKI**

suivi d'une postface

par **M. F. CAMPUS**



Extrait du Bulletin du Centre d'Etudes, de Recherches et d'Essais  
scientifiques du Génie civil (Tome VIII - 1956)

**Postface au mémoire  
de M. Kasimierz Gamski  
sur la relation  
entre la déformation permanente  
dans un essai de traction simple  
et le fluage des aciers  
à la température ordinaire**

par

**F. CAMPUS**

---

C'est vers le milieu de l'été de 1944 que nous fûmes approché par M. C. Wets, ingénieur, administrateur-délégué de la S. A. Sétra à Bruxelles, au sujet de l'étude expérimentale du fluage et de la relaxation des aciers à la température ordinaire. Notre interlocuteur s'intéressait particulièrement aux barres d'acier à haute résistance, laminées à chaud et éventuellement traitées thermiquement. M. C. Wets avait construit une passerelle pour piétons franchissant le canal de Charleroi à Bruxelles, réalisée en béton précontraint au moyen de barres d'acier laminées à haute résistance (1). En 1946, il procéda à des essais sur une poutre expérimentale d'assez grandes dimensions, réalisée selon le même système (2). L'importance du fluage et de la relaxation de ces barres à la température ordinaire n'était guère connue à l'époque. Les rares travaux publiés concernaient les fils (3). La question préoccupait naturellement des constructeurs tels que M. Wets, qui recherchaient l'acier le plus convenable pour l'utilisation dans les ouvrages en béton précontraint. L'accent était

mis sur une notion plus particulière, celle de la limite de fluage ou limite de relaxation, tension en dessous de laquelle le fluage ou la relaxation serait négligeable. On souhaitait que cette limite soit la plus haute possible et qu'elle puisse être déterminée par un essai rapide. Ce souhait était accompagné de certaines suggestions au sujet des singularités des courbes de l'essai ordinaire de traction, dont on ne pouvait cependant préjuger qu'elles fussent en rapport avec la limite envisagée. Elles ne l'étaient effectivement pas.

A l'époque où ces considérations nous furent exposées, nous avons déjà fait des projets d'étude expérimentale du fluage et de la relaxation des fils et des barres d'acier. Avec M. R. Dantinne, nous avons déjà établi des esquisses de machines de fluage à leviers multiplicateurs et à poids. Mais depuis le mois de mai 1944, nos laboratoires de l'Institut du Génie Civil étaient gravement sinistrés et évacués ; leur personnel était dispersé et, à l'époque des premiers contacts avec M. C. Wets, nous étions hors d'état de donner suite à nos projets et d'entrer dans ses vues. D'ailleurs, les événements de la fin de 1944 et du début de 1945 ne l'auraient permis en aucun cas ; il n'aurait pas été possible à cette époque de réaliser le matériel qui devait être entièrement créé.

C'est cependant à la suite des premières conversations avec M. C. Wets que, en 1945, la S. A. John Cockerill prit contact avec nous par ses ingénieurs MM. Coheur et Herbiet, pour entreprendre, sous les auspices et avec les subsides de l'IRSI, un modeste programme de recherches sur quelques barres d'acier laminé légèrement alliées et traitées thermiquement. La recherche devait porter essentiellement sur la limite de fluage. Nous ne disposions pas de machines spéciales à cette époque et le programme ni les ressources n'étaient assez étoffés pour permettre d'en réaliser, ce qui n'aurait encore été guère facile en ce temps là.

Il fut donc décidé d'effectuer les essais sur une machine de traction Amsler de 20 tonnes existant aux laboratoires sinistrés

de l'Institut du Génie Civil. Les baies de ces laboratoires étaient obturées par des parois de planches mal jointes ; les machines y étaient abandonnées aux actions atmosphériques, sous une couche de graisse épaisse et des bâches. Il n'y avait ni eau, ni gaz, ni courant électrique, ni chauffage. Il fut décidé d'y installer cependant une permanence de fortune, assurée par M. R. Jacquemin, alors chef de travaux (depuis 1947 professeur ordinaire à la Faculté polytechnique du Hainaut à Mons), aidé d'un ou deux préparateurs.

Un raccordement électrique provisoire fut établi, qui exigea d'ailleurs la pose d'un tronçon de câble dans la voirie pour pouvoir prendre du courant sur le réseau de distribution urbain de la ville de Liège. Comme les laboratoires ne pouvaient être chauffés et étaient exposés aux intempéries, mais que d'autre part les essais de détermination de la limite de fluage exigeaient une température constante, une cabine fut construite autour de la machine de 20 tonnes, la température de ce local étant contrôlée par des résistances chauffantes et un thermostat (4).

La machine de 20 tonnes avait des caractéristiques favorables. L'écartement maximum des mordaches, de 1,65 m (y compris la course du piston, de 0,25 m), permettait l'emploi de barres d'assez grande longueur. D'autre part, le dynamomètre comportait un dispositif Amsler de maintien de charge constante. Nous fûmes ainsi conduit à faire choix d'une base de mesure des déformations de 1,00 m et nous fîmes réaliser par nos mécaniciens, dans les anciens ateliers de l'Institut du Génie Civil, le premier exemplaire de l'extensomètre spécial qui servit dans toute la suite de nos essais sur le fluage et la relaxation des aciers à la température ordinaire et qui fut un élément de leur succès, en raison de la facilité et de la précision des mesures.

Un autre élément, plus important encore, fut le principe, strictement arrêté avant le commencement des études, de faire accompagner tous les essais de fluage et de relaxation d'un relevé très détaillé et précis des déformations permanentes instantanées des aciers considérés, c'est-à-dire des déformations permanentes

relevées au cours d'un essai ordinaire de traction, de courte durée. Ceci exigeait une très stricte discipline expérimentale en même temps qu'une expérience et une habileté consommées. Nous devons rendre grâces à M. R. Jacquemin pour la conscience et la maîtrise avec lesquelles il effectua la première série d'expériences, qui fixa complètement le mode opératoire et orienta de la manière la plus favorable la suite des études. Il fallait de la détermination et de la constance pour s'astreindre à des mesures assez fastidieuses, dont on n'était pas assuré au début qu'elles seraient utiles mais dont il est apparu, en fin de compte, que tous les résultats ont dépendu.

Ce principe essentiel fut arrêté parce que nous avions par avance été acquis à l'idée, émise aussi par M. C. Wets, de rechercher un moyen de déduire la limite de fluage ou de relaxation d'un essai de courte durée. Nous avons plutôt extrapolé cette notion en envisageant qu'une relation pouvait exister entre les déformations permanentes différées (fluage ou relaxation) et les déformations permanentes instantanées. Cette hypothèse de travail était scientifiquement défendable et sa vérification, dont nous ne nous dissimulons pas la difficulté, devrait certes présenter un grand intérêt scientifique. Nos travaux antérieurs sur la soudure nous avaient convaincu déjà du caractère fondamental de l'essai ordinaire de traction et nous avons déjà fait remarquer (5) que l'on ne retirait pas des résultats de cet essai toutes les caractéristiques qu'il était possible d'en déduire. D'autre part, les essais de fluage de longue durée sont particulièrement coûteux et peu pratiques pour les exploitations industrielles. A ce point de vue, si l'on pouvait obtenir un moyen de déduire d'essais de traction de courte durée une approximation suffisante des caractéristiques de fluage ou de relaxation, ce serait certes un résultat très apprécié pour l'orientation et le contrôle des fabrications ainsi que pour la réception des produits.

Nous avons ainsi dès le début conçu des idées assez ambitieuses, hors de toute proportion avec le modeste programme de 1945. Cette série d'essais a donné des résultats très limités (4), qui ont cependant déjà retenu l'attention (6). Cela provient

peut-être de ce que le sujet avait été peu traité jusque là. L'importance principale de cette étude, qui ne pouvait guère être décelée de l'extérieur, était sa richesse de perspectives pour une continuation éventuelle. Une méthode était mise au point, tant dans ses principes (étude parallèle des déformations permanentes instantanées et différées) que dans ses moyens d'exécution (extensomètre spécial et conditionnement thermique). Une notion de limite de fluage était convenablement définie (3), eu égard à son caractère aléatoire, et un moyen assez précis et correct était proposé pour la déterminer. On sait que des limites de cette nature sont très difficiles à établir expérimentalement. Le fluage seul avait été étudié ; des projets avaient été établis pour la relaxation. Mais le changement nécessaire de machines devait faire adopter pour la relaxation des moyens tout à fait différents de ces prévisions (7).

La première série d'essais avait aussi établi que la machine Amsler de 20 tonnes, qui constituait alors notre seule possibilité, ne pouvait à la longue convenir pour ces essais. Eu égard à leur durée, il fallait nécessairement un grand nombre de machines, ce qui exigeait qu'elles fussent beaucoup plus simples et surtout plus économiques. D'autre part, nous avons effectué des essais de fluage sur la machine Amsler à la faveur de son dispositif de maintien de charge constante. Mais celui-ci n'est pas prévu pour opérer sans interruption, nuit et jour, pendant des semaines. A la fin de la première série d'essais, l'usure du dispositif de maintien de charge constante était telle qu'il fallut le remplacer.

Nous revînmes donc, en 1948, à nos esquisses de machines à leviers et à poids, dont l'expérience acquise par la première série d'essais permettait de préciser les données. M. R. Dantinne établit le schéma d'une machine susceptible d'exercer une force de 20 tonnes, avec une multiplication de 100 par double levier. Comme bâti, on choisit un tronçon de poutrelle Grey D.I.N. 85, de 2,70 m de long, qui se trouvait dans notre stock de ferrailles et qui était d'ailleurs perforée par des éclats de bombes. Les mécaniciens des laboratoires préparèrent toute une série de pièces

et les leviers, mais pour le montage et les éléments dont l'usinage dépassait nos moyens, nous nous adressâmes aux Ateliers Donnay, à Herstal.

Ainsi naquit un prototype de machine à deux postes d'essai qui se révéla d'emblée robuste, commode et d'une bonne précision, sensible également. Le prototype permit une mise au point facile et reçut quelques perfectionnements qui en accentuèrent le caractère pratique et qui permirent de l'adapter aussi d'une manière commode aux essais de relaxation (sous déformation constante). Complétée par les extensomètres conçus spécialement pour l'observation des déformations différées dont il a été fait mention déjà, cette machine d'essai constituait la base d'un matériel expérimental tout à fait adéquat. Cinq unités supplémentaires furent réalisées dans la suite par les Ateliers Donnay, comportant tous les perfectionnements et réglages apportés au prototype, notamment la multiplication variable. La capacité maximum d'essai fut ainsi portée à 12 éprouvettes, les machines étant groupées dans une salle conditionnée thermiquement (7).

Ce développement des possibilités de recherches fut rendu possible par l'intervention financière du Comité pour l'étude du fluage des métaux aux températures ordinaires, fondé en 1948 sous la présidence de M. C. Wets et subsidié par l'Institut pour l'encouragement à la recherche scientifique dans l'industrie et l'agriculture (I. R. S. I. A.). Ce Comité finança également la majeure partie des frais de personnel et autres charges de la recherche, mais les laboratoires d'essais des constructions du génie civil ne ménagèrent pas leurs participations de toutes natures : usinages, mises au point, matériel, entretien, prestations diverses incessantes, études, réalisation propre d'une grande partie des prototypes, etc., sans compter bien entendu la contribution intellectuelle et scientifique de la direction des laboratoires et le concours de son expérience.

Les programmes des recherches ont été établis et proposés par les laboratoires et arrêtés par le Comité. Ils se rapportaient à des périodes biennales, selon les règles de l'I.R.S.I.A. Il a été

rendu compte déjà d'une manière assez développée de certains résultats (6). D'autres résultats, relatifs aux recherches effectuées après 1952, doivent faire l'objet d'une publication ultérieure, lorsque les rapports déjà adressés au Comité auront été complétés par quelques essais complémentaires en voie d'achèvement (à la fin de 1956) (\*).

La publication importante de 1953 (7) établissait déjà quelques résultats capitaux, constituant d'importants jalons sur la voie conduisant au but précis assigné à la recherche. C'étaient

- 1°) l'identité statistique des limites de déformation permanente instantanée (ou de proportionnalité), de relaxation et de fluage ;
- 2°) la proportionnalité, pour un acier donné, de la déformation permanente instantanée et du fluage après une durée déterminée sous une même tension (sous réserve d'une perturbation provenant du palier d'étirage pour les aciers qui présentent ce phénomène).

Ces deux propriétés importantes, d'ailleurs concordantes, apportaient déjà une très appréciable confirmation à l'hypothèse de travail qu'il existait une relation entre les déformations permanentes et les déformations différées et justifiaient déjà pleinement les méthodes très élaborées qui avaient été suivies.

M. K. Gamski a été l'ingénieur en charge de l'exécution des essais dès le début des recherches entreprises pour le Comité pour l'étude du fluage des métaux aux températures ordinaires. Il a continué avec le nouveau matériel d'expériences l'application des méthodes générales suivies par M. R. Jacquemin en 1946 ; il les a adaptées au nouveau matériel en les perfectionnant encore et notamment en les appliquant aussi à la relaxation. Il a été ainsi l'artisan des résultats importants précités.

Il a remarqué que les rapports de proportionnalité entre les déformations permanentes instantanées et les déformations de

---

(\*) Le travail de M. Gamski est d'ailleurs fondé sur tous les résultats d'essais disponibles au début de 1956.



fluage sous une même tension étaient variables avec la nature des aciers. La possibilité d'une relation entre ces déformations apparaissait ainsi de plus en plus plausible ; il restait toutefois à la trouver, ce à quoi nous encourageâmes vivement M. Gamski.

Orienté par le travail expérimental patient, précis et consciencieux qu'il avait accompli, aidé par une connaissance approfondie des propriétés mécaniques des matériaux et des méthodes expérimentales qui permettent de les déterminer, averti également des théories sur la structure et la physique des matériaux, M. Gamski a eu le réel et grand mérite de se référer à la courbe d'érouissage des aciers étudiés, rapportée aux tensions vraies et aux déformations naturelles. Ceci l'a conduit à envisager une corrélation entre le module d'érouissage et le rapport  $\tan \alpha$  entre l'allongement de fluage après une certaine durée et la déformation permanente instantanée sous la même tension. Avec un particulier bonheur d'interprétation mathématique, il est parvenu à obtenir une corrélation exceptionnelle. Le hasard n'a joué aucun rôle dans ce résultat ; c'est par une marche sûre et systématique vers le but que M. Gamski l'a atteint. Il atteignait ainsi totalement l'objectif idéal que nous avons assigné à la recherche mais qui, par prudence, n'avait jamais été énoncé au-delà de ce qui concernait la limite de fluage et de relaxation. Tous les objectifs plus limités des programmes de recherche arrêtés par le Comité pour l'étude du fluage des métaux aux températures ordinaires ont été atteints, mais ce Comité pourra certes apprécier le résultat qu'il n'avait jamais demandé, qui ne lui fut jamais promis et que M. Gamski a atteint, à savoir la possibilité de déduire d'un essai de courte durée une approximation suffisante du fluage, éventuellement mieux assurée encore par un essai de fluage de durée réduite. Ceci pourra certes rendre de grands services aux sidérurgistes, aux tréfileurs et aux ingénieurs constructeurs de béton précontraint.

Mais d'un point de vue scientifique, nous considérons le résultat comme particulièrement important. Il enrichit la signification de l'essai de traction et il contribue à la synthèse des connaissances que l'on peut en tirer. Il ouvre ainsi la voie à de

nouvelles recherches de caractère fondamental autant qu'il facilite et qu'il donne un sens nouveau aux recherches technologiques.

Ce sont là les résultats essentiels qui suffisent à assurer la valeur de la thèse de M. K. Gamski. Son intérêt est certes rehaussé par de nombreux autres éléments, observations, remarques et suggestions, mais ce n'est pas notre dessein d'y insister ; la lecture de l'ouvrage n'y gagnerait rien, cependant que nous pensons qu'il était utile d'indiquer de quelles cogitations et de quelles conceptions il est l'aboutissement.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) F. CAMPUS. — Le béton précontraint (Principes et propriétés, expériences, premières réalisations). (Revue Universelle des Mines, 9<sup>me</sup> série, tome V, n° 12, 1949).
  - (2) C. WETS. — Résultats des expériences faites sur une poutre en béton précontraint de 30 mètres de portée. (Science et Technique, n°s 9-10, 1946).
  - (3) Dipl. Ing. M. R. ROS. — Vorgespannter Beton. Versuche EMPA 1941-1945. (Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Zürich. Bericht Nr 155, März 1946).
  - (4) F. CAMPUS. — La limite de fluage des aciers à la température ordinaire. (Revue Universelle des Mines, 9<sup>me</sup> série, tome III, n° 12, 1947).
  - (5) F. CAMPUS. — Recherches, études et considérations sur les constructions soudées. (Ed. Sciences et Lettres, Liège, 1946).
  - (6) A. CAQUOT. — Précontrainte et fluage (Journées Internationales 1950 de l'Association scientifique de la précontrainte. Travaux, n° 196, février 1951).
  - (7) F. CAMPUS. — Etudes expérimentales du fluage et de la relaxation des aciers à la température ordinaire :
    - a) I.R.S.I.A. Comptes rendus de recherches, n° 11, juillet 1953. Travaux du Comité pour l'étude du fluage des métaux aux températures ordinaires ;
    - b) Bulletin du Centre d'études, de recherches et d'essais scientifiques des constructions du génie civil et d'hydraulique fluviale de l'Université de Liège, tome VI, 1953 ;
    - c) Rendiconti e Pubblicazioni del Corso di perfezionamento per le costruzioni in cemento armato. Vol. V. Politecnico di Milano, 1954.
-