

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

Cours de Constructions du Génie Civil

N° 90

**Effets de la durée sur les phénomènes plastiques  
(d'après le fluage et la relaxation des aciers  
à la température ordinaire).**

par

**F. CAMPUS**

Professeur à l'Université de Liège

Tirage à part  
extrait des Comptes Rendus du  
Symposium sur la Plasticité dans la Résistance des Matériaux  
Varena - 25-27 Septembre 1956

## IV

**Effets de la durée sur les phénomènes plastiques  
(d'après le fluage et la relaxation des aciers  
à la température ordinaire).**

F. CAMPUS

*Professeur de Constructions du Génie Civil et d'Hydraulique fluviale  
à l'Université de Liège*

Le développement universel de la recherche scientifique, notamment de la recherche théorique de cabinet, tend à favoriser une sorte de ségrégation des sciences en spécialités parallèles mais séparées. La mécanique appliquée semble constituer un domaine de choix pour cette dispersion. En particulier la mécanique des solides, divisée en un nombre considérable de branches: élasto-statique, élastodynamique, vibrations, stabilité élastique, anélasticité, plasticité, viscoélasticité, rhéologie, etc. Somme toute, chaque branche résulte de l'application de certains types d'opérateurs mathématiques à un système limité d'hypothèses, ce qui permet d'écrire des volumes sans épuiser le sujet.

Encore que la notion de certaines accointances entre ces hypothèses ne soit pas ignorée, elle est cependant généralement négligée, de telle sorte que les diverses théories sont autonomes, séparées par des frontières idéales et sans transition ni recouvrement. Même dans des théories mixtes, telles que l'élasto-plasticité, on considère simultanément des groupes d'hypothèses distincts, associés sans transition ni recouvrement.

La recherche expérimentale ne peut pas avaliser des conventions aussi catégoriques et son propre développement, qui conduit à une étude toujours plus approfondie des phénomènes réels, montre que les systèmes simples d'hypothèses qui sont à la base de diverses théories de la mécanique des solides ont un domaine de validité de plus en plus restreint ou même inexistant.

Par exemple, la théorie classique de l'élasticité linéaire est certes un corps de doctrine qui a atteint un grand degré de perfection et de développement,

---

Memoria presentata al

« SYMPOSIUM SU LA PLASTICITÀ NELLA SCIENZA DELLE COSTRUZIONI »

Tenutosi a Villa Monastero - Varenna, Settembre 1956.

In onore del Prof. ARTURO DANUSSO.

mais on s'aperçoit de plus en plus que le domaine de l'élasticité parfaite est très limité, envahi d'une manière croissante par ce que l'on a baptisé du nom assez négatif d'anélasticité. Les études expérimentales établissent aussi que les hypothèses multiples d'un système ne sont pas réalisées. Par exemple, le domaine de l'élasticité peut se trouver diminué sensiblement du fait de l'existence de tensions initiales, contrairement à l'hypothèse de l'état neutre initial. L'existence de ces tensions initiales est de plus en plus établie et connue; leurs valeurs sont souvent si élevées que le domaine de l'élasticité devient très restreint ou même évanouissant. Il peut en résulter des comportements mécaniques très différents de ce que l'on escompte dans les limites pratiques de l'élasticité. En fait, ces limites sont apparemment modifiées et de manière souvent complexe, par l'effet intégral de tensions propres réparties de manière très variée. Cet effet peut influencer très fortement certains phénomènes, notamment de stabilité élastique [1].

Un point assez général concerne la manière dont les diverses branches de la mécanique des solides tiennent compte de l'effet du temps. Il doit d'ailleurs être considéré sous deux aspects. Le premier concerne la variation des efforts (et des déformations correspondantes) en fonction du temps, qui est considérée dans l'étude des vibrations et des chocs. Cette étude a pris aussi un développement considérable dans l'hypothèse de l'élasticité parfaite; elle a même été abordée au-delà des limites de l'élasticité. Incidemment, on peut signaler que la fiction de la mise en charge statique, usuelle en élastostatique, n'est compréhensible et acceptable que sur la base de la notion de période propre, établie dans la théorie des vibrations.

Mais il y a un autre aspect de l'effet du temps, qui est celui de la durée de l'application de charges (ou de déformations) invariables. C'est celui dont il sera principalement question; c'est pourquoi le titre contient le mot durée au lieu du mot temps, ce qui n'est pas habituel, mais peu conforme aux usages de la mécanique appliquée. Cette substitution a cependant une signification physique.

L'effet de la durée ainsi comprise est peu considéré en mécanique appliquée. La raison principale en est probablement que cet effet est inexistant en élasticité parfaite, dont la théorie est l'inspiratrice et le modèle de toutes les autres. Cependant, en dehors du domaine de l'élasticité parfaite, le négligement systématique de la durée est non seulement inadmissible, à cause de ses conséquences mécaniques physiques, mais aussi en raison d'implications théoriques contradictoires. La théorie de la plasticité considère généralement une application statique des forces extérieures, comme en élasticité, c'est-à-dire une mise en charge progressive de longue durée. Mais lorsque les forces extérieures ont atteint leur valeur finale, on ne prend pas en considération leur durée d'application, ce qui revient à la supposer nulle.

L'expérience montre que l'effet de cette durée d'application peut avoir

plus d'importance que celui de la mise en charge. La déformation permanente croissante avec le temps sous l'effet d'une sollicitation permanente, ou fluage, est, en effet, souvent supérieure à la déformation permanente réalisée à la fin de la mise en charge, qui sera appelée déformation permanente de mise en charge ou, plus brièvement, déformation permanente instantanée (bien que cette dénomination soit contradictoire avec la notion d'une durée de mise en charge; elle est donc conventionnelle).

L'on pourrait objecter que l'existence de déformations irréversibles, croissant dans le temps, constitue en réalité un écoulement et relève dès lors de la rhéologie. L'objection n'aurait pas seulement un caractère purement formel, mais serait un fait douteux, car l'expérience montre que, dans certaines conditions, l'effet de la durée influe sur les paramètres de la théorie de la plasticité.

Bien entendu, s'il s'agit du fluage de corps très déformables, proprement plastiques, ou de solides dans un état assez voisin du point de fusion et devenus de ce fait très plastiquement déformables, le caractère rhéologique peut devenir accusé. En fait, c'est ce fluage important qui a surtout été étudié, à tel point que les termes « fluage » et « creep » sont usuellement réservés aux déformations importantes des métaux aux températures élevées, notamment des aciers.

Cependant, l'essor du béton précontraint, qui a entraîné l'emploi d'éléments en acier très résistants soumis à des tensions très élevées, a plus récemment attiré l'attention sur le fluage de tels éléments à la température ordinaire. Comme les tensions sont nettement supérieures aux limites de l'élasticité, comme d'autre part les déformations sont assez réduites et croissent assez lentement pour que le terme d'écoulement soit impropre, il ne s'agit ni d'élasticité ni de rhéologie. Le terme d'anélasticité est naturellement convenable, mais ambigu. Physiquement, il s'agit plutôt de plasticité. Dans certaines conditions particulières, les hypothèses d'une certaine forme de la théorie de la plasticité peuvent être considérées comme réalisées. Ce cas sera examiné plus loin. Dans la théorie de la plasticité indépendante de la durée, les hypothèses fondamentales admettent l'existence de certaines relations entre les tensions, indépendamment des déformations. Ces hypothèses sont conventionnelles et l'élimination de la durée constitue une part importante de cette convention, car les déformations importantes qui sont à la fois les conditions et les conséquences de la plasticité exigent un certain temps pour se produire. En réalité, elle a certes une influence sur l'état mécanique. Mais la théorie la néglige, de telle sorte que ses résultats sont approximatifs ou seulement possibles mais pas certains.

Dans le fluage, il se produit comme dans l'état de plasticité des déformations variables sous un état de sollicitation invariable. Sans doute, les conditions mathématiques diffèrent, car dans le fluage les déformations sont réellement des fonctions de la sollicitation et du temps. La théorie de la

plasticité n'envisage pas les déformations, mais elles sont nécessaires, tant pour atteindre l'état de plasticité que pour le maintenir. Ces déformations sont aussi fonction de la sollicitation et du temps. La différence avec le fluage est que l'on oblige les tensions à satisfaire à certaines relations, mais cela ne diffère pas absolument de la condition d'être invariables imposée aux tensions dans le fluage. Physiquement, les phénomènes de déformation ne paraissent pas distincts, que l'on considère ou non l'effet de la durée. Les expériences montrent que les déformations différées sont la continuation de celles qui résultent immédiatement de la mise en charge, qu'elles sont de la même nature et qu'elles y sont liées par des relations [2].

Les expériences sur les effets de la durée conduisent ainsi à un examen critique des bases de la théorie de la plasticité, dont il faut craindre qu'elles se ramènent à une collection de cas particuliers assez restrictifs. L'étude attentive des déformations permanentes des aciers à la température ordinaire, dans un domaine suffisamment étendu, rend très perplexe au sujet des limites de la plasticité ou réduit les domaines de la plasticité, selon les critères admis généralement, à une collection très restreinte de matériaux, présentant un phénomène particulier. L'observation expérimentale, physique, met en évidence le caractère artificiel des notions qui établissent et qui limitent l'anélasticité, la plasticité et la rhéologie. Si même on invoquait que cette dernière englobe les autres, cela ne changerait effectivement rien, ce serait une pure question de terminologie. Or, il s'agit des concepts.

Les expériences qui ont inspiré les observations qui précèdent concernent des barres d'acier soumises à des tensions axiales permanentes de traction, à la température de  $21 \pm 1$  °C. Les aciers examinés vont des aciers doux aux fils tréfilés les plus durs. Cette collection très vaste comprend donc tous les types d'acier présentant un palier d'étirage, phénomène auquel se réfère en général plus spécialement, explicitement ou implicitement, la théorie de la plasticité [2].

Tous les aciers étudiés présentent le caractère de manifester des déformations permanentes à partir d'une certaine tension. La détermination rigoureuse, mathématique, de la limite inférieure absolue des déformations irréversibles n'est évidemment pas possible. Il n'est pas utile de disserter au sujet de cette remarque. Il peut être admis de définir une limite concrète des plus petites déformations permanentes décelables, en prenant des précautions appropriées. On peut en fixer l'ordre de grandeur à  $10^{-6}$ . L'expérience directe établit l'identité statistique de cette limite des plus petites déformations permanentes décelables

dans l'expérience de traction ordinaire (de courte durée),  
 dans l'expérience de fluage,  
 dans l'expérience de relaxation.

Les limites correspondantes sont appelées respectivement

limite de proportionnalité,

limite de fluage,

limite de relaxation.

Ces trois limites sont donc identiques, statistiquement. En d'autres termes, elles n'en forment qu'une et elle est indépendante de la durée [2].

A l'autre extrémité du domaine des déformations permanentes, on rencontre la limite de rupture. M. R. L'HERMITE a défini une « limite de fluage » qui serait la tension la plus faible dont l'action permanente provoquerait la rupture [3]. C'est donc une limite supérieure, différente de celle considérée plus haut, qui est une limite inférieure. Pour éviter toute confusion, on l'appellera « tension critique fluage ». Si elle existe, c'est que la rupture est influencée par la durée et dans ces conditions, la tension critique de fluage est nécessairement inférieure à la tension de rupture ordinaire (déterminée par l'expérience de traction de courte durée).

Encore une fois, la détermination rigoureuse, mathématique de cette limite supérieure n'est pas possible. Mais un phénomène physique structural intervient, qui est une complication certes, mais qui simplifie la solution brutale du problème, c'est le vieillissement naturel des aciers, même aussi écrouis que les fils tréfilés.

Pour les aciers doux et demi-durs, des ruptures différées ont été obtenues sous l'effet de tensions non inférieures à 0.96 fois la tension de rupture ordinaire. Le retard maximum de la rupture a été de l'ordre d'une heure. Pour des tensions égales ou inférieures à 0.96 fois la tension de rupture, les barres n'ont pas été rompues même après deux ans. Après une mise en charge d'une telle durée sous des tensions de cet ordre, on a mis en évidence un relèvement appréciable de la résistance à la rupture. On comprend dès lors qu'une rupture différée ne soit plus possible. Ces expériences ont été faites avec un soin particulier d'usinage des éprouvettes pour réduire au minimum les écarts expérimentaux.

Le même phénomène a été observé sur les fils tréfilés. Ceux-ci ne peuvent être essayés qu'à l'état naturel; la dispersion est donc plus grande. Peut-être est-il dû à cette raison que l'abaissement observé de la tension critique de fluage par rapport à la tension de rupture est sensiblement moindre proportionnellement que pour les aciers doux et demi-durs. Le retard de la rupture différée n'a pas non plus dépassé une heure. Sous des tensions à peine inférieures à la tension de rupture, il ne s'est pas produit de rupture, même après un an. Après de longues durées de fluage sous une tension aussi élevée, on a observé également un relèvement de la tension de rupture, proportionnellement moindre toutefois que pour les aciers doux et demi-durs. Dans tous les cas,

le relèvement de la tension de rupture par vieillissement naturel est supérieur à l'abaissement observé de la tension critique de fluage.

La tension critique de fluage des aciers est donc très peu inférieure à la tension de rupture, c'est-à-dire que la tension limite supérieure des déformations permanentes est très peu influencée par la durée. L'intervention du vieillissement naturel au voisinage de cette limite modifie d'ailleurs les paramètres structuraux. Les détails des expériences relatives à la tension critique de fluage n'ont pas encore été publiés.

Entre ces deux limites existe un domaine important de déformations permanentes, dans l'étendue duquel on constate un effet appréciable de la durée, très variable d'après la nature des aciers. On a relevé avec soin au cours des expériences, pour une tension donnée invariable, la déformation permanente instantanée et les déformations permanentes de fluage, après une durée de charge bien définie. On a constaté, pour tous les aciers ne possédant pas de palier d'étirage, que le rapport du fluage à la déformation permanente instantanée est indépendant de la tension. Donc, si l'on trace un diagramme dont les abscisses représentent les déformations permanentes instantanées et les ordonnées les fluages après une durée définie, on obtient une droite dont l'origine est la limite commune des déformations permanentes et dont le coefficient angulaire est une caractéristique de l'acier considéré [2].

Pour les aciers possédant un palier d'étirage (yield point), le diagramme simple est évidemment perturbé. La limite de proportionnalité est inférieure à la limite apparente d'élasticité. Il se produit donc des déformations permanentes instantanées et différées en dessous comme au-dessus du palier d'étirage. Le diagramme se décompose en deux droites. Le segment supérieur, correspondant à des tensions plus élevées que la limite apparente d'élasticité, peut être déterminé avec précision. Le segment inférieur a comme origine la limite commune des déformations permanentes. Mais comme cette limite a une valeur statistique et que toutes les déformations permanentes pour des tensions moindres que la limite apparente d'élasticité sont très petites, le segment inférieur est peu précis. On peut admettre qu'il est *grosso modo* parallèle au segment supérieur, qui est seul une caractéristique valable de l'acier.

Une relation mathématique empirique a été établie entre le coefficient angulaire de la droite définie ci-dessus et un paramètre déduit du diagramme tensions-déformations de l'expérience de traction ordinaire. Cette relation fait l'objet d'une thèse de doctorat spécial présentée à la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Liège. Comme elle est encore à l'examen, il n'est pas possible de s'étendre davantage sur ce point. On fera uniquement observer que d'après cela, on peut concevoir théoriquement la possibilité de déduire les courbes de fluage d'un acier donné, sous n'importe quelle tension, d'une expérience ordinaire de traction simple, c'est-à-dire de courte durée, par les voies ordinaires et générales de calcul de la mécanique appliquée.

Pratiquement, cela conduirait à des résultats peu exacts, surtout pendant les premières périodes du fluage. Un résultat beaucoup plus assuré peut être obtenu en complétant l'expérience de traction ordinaire par un essai de fluage de courte durée, de quelques dizaines d'heures, c'est-à-dire de deux à quatre jours au maximum, selon les cas.

D'autre part, à partir d'une courbe de fluage quelconque, expérimentale ou calculée, et du diagramme des déformations permanentes instantanées en fonction des tensions, il est possible, à l'aide de la relation linéaire définie plus haut, d'établir par le calcul semi-graphique, c'est-à-dire par une méthode classique de la mécanique appliquée, la courbe de relaxation pour une déformation permanente initiale quelconque [2]. Cette opération peut être faite avec une approximation satisfaisante.

Il serait permis de poser à nouveau la question de savoir si ces considérations doivent être rangées sous l'étiquette d'anélasticité ou sous la rubrique de plasticité. Cette question serait particulièrement pertinente pour les aciers présentant un palier d'étirage. En effet, le palier d'étirage est un cas avéré, reconnu, de la théorie de la plasticité. Or, les phénomènes envisagés ci-dessus le précèdent et le suivent. Mais il semble superflu d'insister ici sur cette question formelle, pour fixer plutôt l'attention sur les effets de la durée sur les phénomènes caractérisant le palier d'étirage et qui sont indubitablement plastiques.

On sait que, physiquement, le palier d'étirage est une zone de discontinuité, sujette à des fluctuations et à des écarts. Les fluctuations sont liées notamment aux conditions d'expérience: type et rigidité de la machine de traction, vitesse de mise en charge [4]. Une très grande vitesse de mise en charge (impact) peut supprimer apparemment le palier d'étirage [5]. Une grande vitesse de mise en charge donne lieu aux fluctuations dénommés limites apparentes supérieure et inférieure d'élasticité (upper and lower yield point). Cela est trop connu pour y insister. Dans la théorie de la plasticité, ainsi qu'il a déjà été indiqué, on envisage en général une durée assez longue de mise en charge, c'est-à-dire une vitesse assez faible de mise en charge, que pour pouvoir assigner à la limite apparente d'élasticité une valeur constante. Dans un essai de fluage de longue durée, on peut considérer ces conditions comme réalisées. Mais cela étant, il faut tenir compte des écarts expérimentaux. Il en résulte qu'il n'est pas possible de faire un essai de fluage à la limite apparente d'élasticité; par contre il est possible d'effectuer un essai de relaxation.

Au delà du palier d'étirage, le phénomène de fluage a été entièrement élucidé plus haut. Il n'est intéressant que de l'étudier en dessous. Les expériences ont montré que si l'on déforme une barre de manière à lui imposer un allongement permanent égal à une fraction de la longueur du palier d'étirage, c'est-à-dire si l'on amorce l'étirage, si on la soumet ensuite au fluage sous une tension inférieure de 10 à 20% à la limite apparente d'élasticité selon les



cas, il se produit un fluage différé considérable, d'un ordre de grandeur supérieur au fluage observé sous des tensions inférieures ou supérieures à la limite apparente d'élasticité [6]. La Fig. 1 reproduit l'allure générale des courbes de fluage:

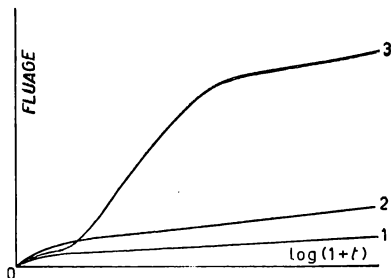


Fig. 1.

- a) pour une tension inférieure à la limite apparente d'élasticité, ligne 1;
- b) pour une tension supérieure à la limite apparente d'élasticité, ligne 2;
- c) après une amorce d'étirage, sous une tension inférieure de 10 à 20% à la limite apparente d'élasticité.

L'allure en  $S$  de la dernière ligne est caractéristique et unique. Les fluages importants commencent après quelques heures et prennent fin après quelques dizaines d'heures. Dans certains cas, la somme de la déformation permanente initiale et du fluage égale presque la longueur du palier d'étirage.

Ces résultats suggèrent tout naturellement d'observer ce qui se passe en relaxation. En dessous de la limite apparente d'élasticité, la relaxation est faible et rapidement stabilisée. Au-dessus, la relaxation est à peine plus grande relativement et également vite stabilisée. Si l'on procède comme précédemment en soumettant la barre à une tension égale à la limite apparente d'élasticité, de manière à l'étirer d'une fraction de la longueur du palier d'étirage, si on maintient ensuite sa longueur invariable, on observe une relaxation importante, de 10 à 20%, très rapide et assez vite stabilisée [7].

La Fig. 2 schématise l'allure des 3 courbes de relaxation.

Ces phénomènes caractérisent un véritable abaissement de la limite apparente d'élasticité sous l'effet de la durée d'application des charges. Ils sont différents des fluctuations rappelées plus haut, qui se produisent pendant la mise en charge au cours de l'expérience ordinaire de traction, de courte durée. Ils sont indépendants des conditions de l'essai. Les machines de fluage sont à fléaux et à chargement par poids; la rigidité ne joue aucun rôle. La vitesse de mise en charge n'intervient naturellement pas.

La limite apparente d'élasticité, qui est un paramètre caractéristique de certaines formes de la théorie de la plasticité, est donc un facteur très variable, particulièrement sous divers effets du temps et notamment de la durée. La théorie de la plasticité n'en tient pas compte.

La longueur du palier d'étirage a naturellement de l'importance et est

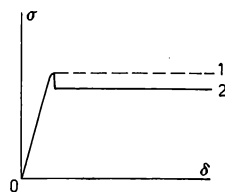


Fig. 2.

assez caractéristique. Elle paraît plutôt indépendante de la durée. Il a été possible de répéter à plusieurs reprises l'expérience de l'abaissement de la limite apparente d'élasticité, en fluage comme en relaxation, tant que la somme des déformations permanentes instantanées et différées n'atteignait pas la longueur totale du palier d'étirage. Les résultats de ces expériences sont encore inédits. Ils permettent de supposer qu'une relaxation de l'ordre de 10 à 20% est possible lorsque des tensions résiduelles, par exemple de soudure, atteignent la limite apparente d'élasticité, à condition que les déformations empêchées qui les engendrent soient inférieures à la longueur du palier d'étirage.

\* \* \*

Dans tout ce qui précède, il n'a été question que des déformations permanentes, instantanées ou différées. Qu'elles relèvent ou non de la plasticité est purement formel, la remarque en a été faite plus haut. Les dernières observations, relatives à l'abaissement de la limite apparente d'élasticité des aciers doux et demi-durs, concernent certes une forme classique de la théorie de la plasticité. Sans doute, les expériences se rapportent-elles uniquement à la traction simple, mais la forme correspondante de la théorie de la plasticité n'a somme toute pas d'autre base. L'élimination de la durée n'a toujours été qu'une fiction, mais les dernières observations ne permettent plus guère de concevoir un comportement plastique des aciers doux et demi-durs indépendant de la durée. Par exemple, on peut se demander s'il n'y a pas lieu de substituer au diagramme 1 bien connu (Fig. 3) le diagramme 2, pour des sollicitations de quelque durée. Les phénomènes d'instabilité plastique en sont probablement influencés. On a observé des flambements plastiques qui, sous une sollicitation définie, se produisent avec un retard appréciable sur la mise en charge, suivis d'une chute rapide de la charge. Il s'agit bien là d'un effet caractéristique de la durée sur un phénomène plastique [1]. L'effet de la durée sur la limite apparente d'élasticité doit retenir aussi l'attention dans l'appréciation de la sécurité.

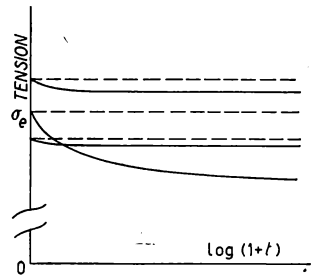


Fig. 3.

\* \* \*

Revenant au point de départ, on peut constater combien l'étude et la recherche scientifique sont multiformes et protéiformes. Partant d'un point de vue analytique, séparant les facteurs et engendrant une dispersion d'apparence arbitraire, on est ramené par l'observation des faits à une conception

plus synthétique, qui prouve l'inéluctable unité des phénomènes dans leur réalité complexe.

Peut-être pose-t-on ainsi plus de problèmes que l'on en résoud, mais du moins apprécie-t-on plus sainement les solutions classiques. N'est-ce pas un soulagement pour un homme de science, surtout pour un professeur, de penser qu'il a posé un grand nombre de problèmes et qu'il a préparé un grand domaine de travail, qu'il laisse beaucoup d'inspirations à ses successeurs? Qui pourrait supporter l'idée qu'il a tout résolu?

Puisque ce travail a le privilège honorable de constituer une contribution à l'hommage bien mérité et très sincère rendu à un éminent professeur au terme de sa carrière active d'enseignement, ces dernières réflexions pourront-elles inspirer au Professeur A. DANUSSO le plaisir profond et intime d'embrasser d'une pensée les vastes champs qu'il a défrichés aux confins les plus avancés de sa science et qu'il livre aux moissons futures.

---

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. CAMPUS et CH. MASSONNET: *Comptes Rendus de l'Institut pour l'encouragement à la recherche scientifique dans l'industrie et l'agriculture* (Bruxelles, Avril 1956), n. 17.
- [2] F. CAMPUS: *Estratto dai Rendiconti e Pubblicazioni del Corso di Perfezionamento per le costruzioni in cemento armato*, Vol. V (Milano, 1954).
- [3] R. L'HERMITE: *L'expérience et les théories nouvelles de la résistance des matériaux*, 2<sup>e</sup> édition (Paris, 1945).
- [4] M. P. WHITE: *Journ. Appl. Mech.*, n. 1 (1949).
- [5] E. A. DAVIES: *Journ. Appl. Mech.*, n. 12 (1938).
- [6] F. CAMPUS et K. GAMSKI: *Compt. Rend. des séances de l'Acad. Sci. Paris*, **241**, 28 Novembre 1955).
- [7] F. CAMPUS et K. GAMSKI: *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris*, **242** (13 Février 1956).