

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 65 (1939)
Heft: 17

Artikel: Module d'élasticité du béton
Autor: Bolomey, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-50010>

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: 14.01.2026

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs

Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs

Etranger : 12 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements
s'adresser à la librairieF. Rouge & C^{ie}, à Lausanne.

Paraissant tous les 15 jours

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. —

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président: R. NEESER, ingénieur, à Genève. Vice-président: M. IMER, à Genève; secrétaire: J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres: *Fribourg*: MM. L. HERTLING, architecte; A. ROSSIER, ingénieur; *Vaud*: MM. F. CHENAUX, ingénieur; E. ELSKES, ingénieur; EPITAUX, architecte; E. JOST, architecte; A. PARIS, ingénieur; CH. THÉVENAZ, architecte; *Genève*: MM. L. ARCHINARD, ingénieur; E. ODIER, architecte; CH. WEIBEL, architecte; *Neuchâtel*: MM. J. BÉGUIN, architecte; R. GUYE, ingénieur; A. MÉAN, ingénieur cantonal; *Valais*: M. J. DUBUIS, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION : D. BONNARD, ingénieur, 80, Avenue de France, LAUSANNE.

ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,
largeur 47 mm :
20 centimes.

Rabais pour annonces
répétées.

Tarif spécial
pour fractions de pages.

Fermage des annonces :
Annonces Suisses S. A.
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)
Lausanne

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. DOMMER, ingénieur, président; G. EPITAUX, architecte; M. IMER; A. STUCKY, ingénieur.

SOMMAIRE : *Modules d'élasticité du béton.* — *Quelques réflexions à propos de l'économie des combustibles.* — *Société suisse des ingénieurs et des architectes : Procès-verbal de l'Assemblée des délégués du 15 avril 1939, à Soleure ; groupe professionnel des architectes pour les relations internationales ; manifestations des 9, 10 et 11 septembre à Zurich.* — *DIVERS : Assemblées générales et Congrès.* — *SERVICE DE PLACEMENT.* — *DOCUMENTATION.*

Module d'élasticité du béton,¹

par J. BOLOMEY, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de l'Université de Lausanne.

Généralités.

La connaissance exacte du *module d'élasticité du béton* est désirable, aussi bien pour calculer les déformations des ouvrages en béton ou en béton armé, que pour évaluer les tensions dues au retrait ou aux variations de température, ainsi que la répartition des charges entre le béton et les armatures.

Cependant, malgré de nombreuses et longues recherches de laboratoire, les essais tentés jusqu'à ce jour pour définir le module d'élasticité en fonction des caractéristiques du béton ont été assez décevants, les résultats obtenus étant souvent contradictoires, au moins en apparence. En particulier les diverses formules proposées pour calculer le module en fonction de la résistance à la compression du béton sont peu précises et conduisent souvent à des erreurs d'appréciation de près de 50 %, ce qui leur enlève une grande partie de leur valeur. En effet, pour une même résistance à la compression de 300 kg/cm², par exemple, le module peut être compris entre 200 et 400 t/cm². Dans d'autres cas le module variera d'un point à l'autre d'une même masse de béton.

L'incertitude qui résulte de ces irrégularités explique les longues controverses sur la valeur à adopter pour le rapport *n* du module d'élasticité de l'acier à celui du

béton, dans lesquelles chacun a à la fois tort et raison. En effet, d'une part on admet communément et avec plein succès dans les calculs d'ouvrages en béton armé *n* = 10 ou 15, soit un module d'élasticité du béton de 150 à 210 t/cm², d'autre part les déformations des ouvrages sous charges accidentelles, comme aussi les déterminations faites au laboratoire, correspondent en général, pour les bons bétons, à un module égal ou supérieur à 300 t/cm², soit un rapport *n* compris entre 5 et 7.

Tandis que pour toutes les catégories d'acier le module d'élasticité est sensiblement constant et voisin de 2100 t/cm², celui du béton varie dans des limites étendues d'un béton à l'autre et, pour un même béton, suivant la durée et le mode de durcissement, suivant l'intensité de la charge et la durée d'application de celle-ci. Les déformations ne sont proportionnelles aux charges que pour des taux de travail modérés ; de plus les déformations élastiques sont souvent accompagnées de déformations permanentes dont l'importance varie d'un cas particulier à l'autre et dépend en grande partie de l'état de santé du béton.

Tous ces phénomènes, présentés sur la figure 1 ci-contre, rendent délicate la détermination du module d'élasticité du béton. On désigne sous le nom de *module d'élasticité initial* celui qui correspond à la zone des déformations élastiques proportionnelles aux charges, sans déformations permanentes appréciables.

Le *module élastique E_e* correspond aux seules déformations élastiques ; le *module total E_t* correspond à la somme des déformations élastique et permanente. La différence entre ces deux modules, souvent négligeable pour les

¹ Conférence faite devant le *Groupe des Ponts et Charpentes* de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, à Lausanne.

charges accidentelles modérées, s'accroît rapidement avec celles-ci et surtout avec la durée de leur application. En général, pour les bétons sains, il suffit de connaître le module d'élasticité initial.

Module d'élasticité initial.

Celui-ci dépend du dosage, de la granulation du ballast, de la quantité d'eau de gâchage, de la durée du durcissement. Comme ce sont précisément les mêmes facteurs qui influent sur la résistance, on a cherché à définir le module d'élasticité du béton en fonction de sa résistance à la compression, déterminée sur cubes ou sur prismes. Les résultats obtenus ont été médiocres. En effet si nous reportons les modules effectifs d'une série de bétons en fonction de leur résistance à la compression, nous obtenons la répartition indiquée sur la figure 2. D'une façon générale le module croît bien avec R , mais avec des écarts très prononcés. Pour une même résistance à la compression, le module d'élasticité peut varier du simple au double.

Plusieurs formules ont été proposées pour évaluer le module E en fonction de la résistance à la compression R . Les résultats auxquels elles conduisent sont indiqués sur le tableau I.

TABLEAU I

Module d'élasticité en fonction de la résistance du béton.

Formules	$R = 100$	$R = 200$	$R = 300$	$R = 400$
Taylor et Thompson $E = 1300 R_c$	E = 130	260	390	520
Graf $E = 590 R_c : (R_c + 175)$	E = 214	315	372	410
LFEM, Zurich ¹				
Mortiers $E = 600 R_p : (R_p + 300)$	E = 127	208	266	310
Bétons $E = 550 R_p : (R_p + 150)$	E = 192	284	338	375

R_c Résistance à la compression sur cubes en kg/cm^2 ,
 R_p Résistance à la compression sur prismes en

$\text{kg/cm}^2 \sim 0.8 R_c$.

E Module d'élasticité du béton en t/cm^2 .

¹ Laboratoire fédéral d'essais des matériaux, Zürich.

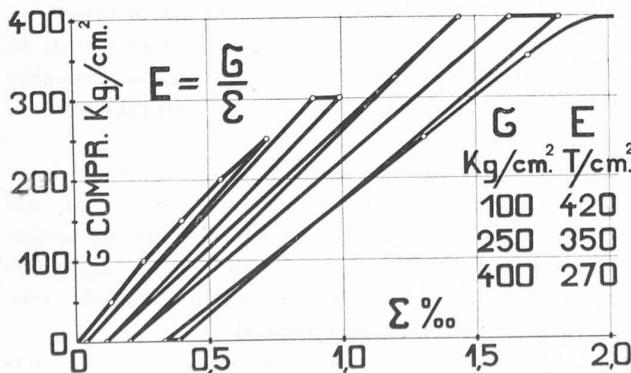


Fig. 1. — Déformations élastiques et permanentes ϵ d'un prisme de béton, en mm/m^3 , en fonction du taux de travail σ , en kg/cm^2 , auquel il est soumis.

Les divergences considérables des modules donnés par ces diverses formules s'expliquent sans autre par l'examen de la figure 2.

Les formules de Graf et du LFEM ont la même structure, qui paraît rationnelle ; toutefois les valeurs de E qu'elles fournissent sont souvent loin de correspondre à celles effectives. Le LFEM propose une formule pour les bétons et une autre pour les mortiers, sans donner une définition précise de ceux-ci. Pour $R = 200$, la différence entre module mortier et module béton atteint 35 %.

Toutes ces formules ont le grave défaut de ne tenir compte que de la résistance à la compression, en faisant complètement abstraction des variations de la granulation (compacité) des bétons et de la nature du ballast ; elles correspondent ainsi à des cas particuliers et ne sont pas d'un emploi général.

Il est évident en effet que le module d'élasticité doit dépendre à la fois des déformations de la pâte liante et de celles du squelette constitué par le ballast. Or, si le module de la pâte liante est variable avec la résistance de celle-ci (qui est fonction de la qualité du ciment, du rapport C/E et de la durée du durcissement) le module d'élasticité du ballast est constant et habituellement compris entre 4 et 500 t/cm^2 . Le module d'élasticité du béton sera une résultante de ces deux modules élémentaires.

Pour bien mettre ce fait en évidence, nous avons fabriqué une série de bétons en utilisant pour tous la même pâte liante, la granulation seule du ballast (toujours de même provenance) variant d'un béton à l'autre, de façon à réaliser des compacités différentes. Les résultats obtenus ont correspondu aux prévisions. Tous ces bétons ayant le même C/E ont eu sensiblement la même résistance à la compression, par contre les modules d'élasticité ont varié dans des limites étendues ainsi que permet de le constater le tableau II.

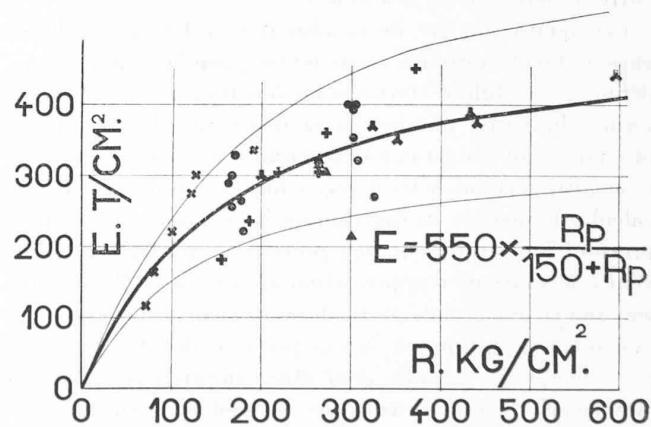


Fig. 2. — Module d'élasticité du béton en fonction de sa résistance à la compression.

Croix : Dosage constant, granulation variable.

Points : C/E * " " "

Etoiles : Granulation constante, dosage et consistances variables.

Triangles : C/E constant, compacité variable.

TABLEAU II

Variation du module d'élasticité de bétons à C/E constant en fonction de leur granulation (compacité).

$P_{s+c} = 10 + 90 \sqrt{d:D}$; C/E = 1,56; Age aux essais : 90 jours.

	D = 1,7 mm	D = 6 mm	D = 15 mm	D = 30 mm	D = 60 mm
Compacité (c + s)	0,68	0,77	0,84	0,85	0,87
Densité Δ_b	2,47	2,29	2,40	2,42	2,45
R _c kg/cm ²	325	307	297	302	306
E t/cm ²	270	322	401	392	405

La légère diminution de la résistance à la compression (5–10 %) avec l'accroissement de D est due aux tensions intérieures provoquées par le ballast qui s'oppose aux déformations de la pâte liante. Le module d'élasticité a passé de 270 t/cm² pour D = 1,7 mm à 405 t/cm² pour D = 60 mm, ce qui correspond à une différence de 50 %.

D'autres séries semblables de bétons ont confirmé ces résultats et nous ont convaincu que pour pouvoir indiquer à l'avance, d'une façon suffisamment précise, le module d'élasticité probable, il faut tenir compte non seulement de la résistance du béton, mais aussi de sa compacité.

Nos recherches dans cette direction nous ont amené à proposer la formule suivante pour le module d'élasticité initial du béton (prismes fabriqués en position horizontale, durcissement dans l'eau).

$$1) E = (c + s)^2 \times \frac{700 R}{100 + R}$$

E module d'élasticité en t/cm².

R résistance à la compression sur cubes en kg/cm².

c et s volumes absolus du ciment et du ballast dans l'unité de volume de béton.

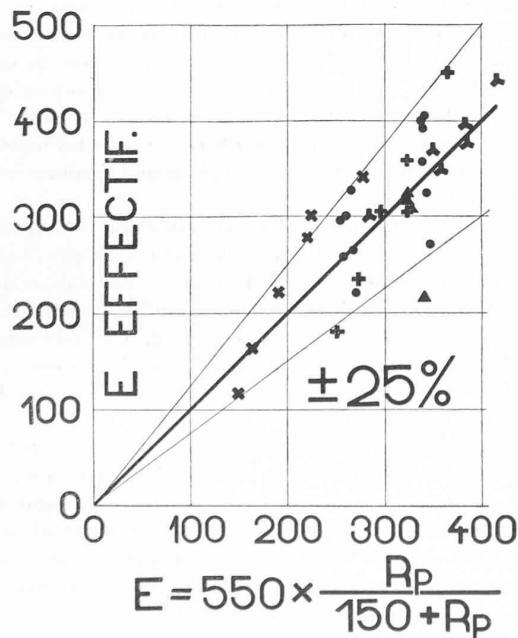


Fig. 3. — Modules effectifs des bétons de la fig. 2, rapportés en fonction de ceux calculés pour la formule $E = 550 R_p : (150 + R_p)$

La détermination de la compacité (c + s) du béton est délicate en dehors du laboratoire. Cette difficulté peut être tournée en observant que la densité est sensiblement proportionnelle à la compacité. La formule (1) peut donc être transformée, pour son utilisation sur les chantiers en :

$$2) E = (\Delta_b - 1,00)^2 \times \frac{250 R}{100 + R}$$

Δ_b étant la densité du béton.

Appliqués à la série de bétons du tableau II, ces diverses formules correspondent aux modules du tableau III.

TABLEAU III

Modules effectifs et modules calculés des divers bétons du Tableau II.

	D = 1,7 t/cm ²	D = 6 t/cm ²	D = 15 t/cm ²	D = 30 t/cm ²	D = 60 t/cm ²
E effectifs	270	322	401	392	405
E = (c+s) ² × 700 : (100+R)	247	312	371	380	400
E = ($\Delta_b - 1$) ² × 250 : (100+R)	263	313	365	377	395
E = 550 R : (150 + R)	348	341	337	339	341

Pour la série considérée les différences entre modules effectifs et modules calculés d'après les formules 1 ou 2 proposées ne dépassent pas 9 %; elles varient entre + 29 % et - 16 % en utilisant la formule du LFEM.

Nos formules ont été vérifiées pour des mortiers et bétons dont les résistances ont varié de 70 à 600 kg/m², pour des dosages compris entre 190 et 500 kg/cm³, des compacités de 0,63 à 0,87, des durées de durcissement de 7 à 90 jours. La différence moyenne entre les modules effectifs et ceux calculés par nos formules a été de ± 6 %, presque tous les résultats étant compris entre ± 12 %.

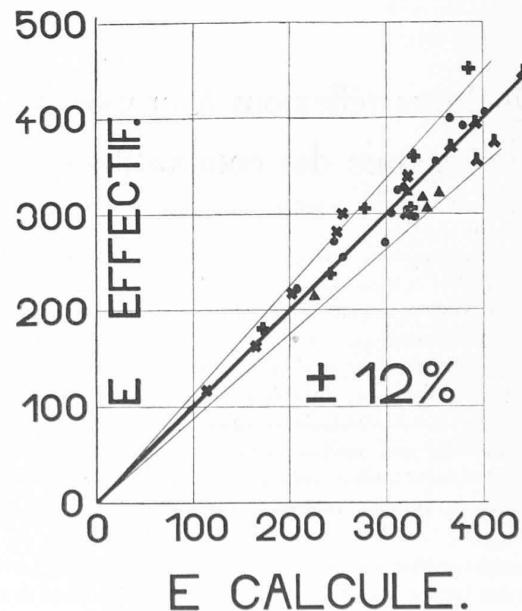


Fig. 4. — Modules effectifs des bétons de la fig. 2 rapportés en fonction de ceux calculés par la formule

$$E = (c + s)^2 \times 700 R_p : (100 + R_p)$$

Pour les mêmes bétons ces écarts atteignent respectivement $\pm 12\%$ et $\pm 25\%$ lorsque les modules sont calculés par la formule du LFEM (voir fig. 3 et 4).

Nos nouvelles formules sont ainsi très supérieures, comme précision, à toutes leurs devancières. *Elles sont applicables aux mortiers aussi bien qu'aux bétons du fait, qui est leur caractéristique essentielle, qu'elles tiennent compte de la compacité aussi bien que de la résistance de ceux-ci.*

Les constantes au numérateur et au dénominateur de nos formules peuvent varier quelque peu en fonction du module d'élasticité de la roche d'où provient le ballast et de la nature du ciment. Les valeurs indiquées correspondent aux ballasts et ciments habituellement utilisés.

Grâce à leur exactitude, nos formules peuvent être utilisées pour vérifier l'homogénéité et l'état de santé d'un béton, concurremment avec le rapport de ses résistances à la flexion et à la compression, lorsque, ce qui arrive parfois, le module effectif diffère notablement de celui calculé.

A quelles causes faut-il attribuer ces écarts accidentels ?

En premier lieu aux erreurs inévitables dans les déterminations de la densité, de la compacité, de la résistance et surtout dans celle du module lui-même, qui atteindront facilement 5—10 % ; ces erreurs dépendront d'ailleurs en grande partie de l'expérience et de l'habileté de l'opérateur, qui, lorsque les résultats obtenus lui paraissent anormaux, recherchera s'il s'agit de divergences systématiques ou non et qui ne basera ses conclusions que sur un nombre suffisant d'essais.

En second lieu ces écarts sont dus à l'hétérogénéité du béton, aux tensions intérieures auxquelles il est exposé, aux déformations permanentes et plastiques qu'il a subies.

(A suivre.)

Quelques réflexions à propos de l'économie des combustibles,

par ED. DELLEY, ingénieur-mécanicien à Fribourg.

Des améliorations sensibles peuvent être apportées dans l'utilisation de l'énergie nécessaire aux besoins de notre vie économique. Sans prétendre, en aucune façon, traiter à fond un sujet aussi important que celui de l'économie des combustibles — et dont la presse technique s'est déjà, maintes fois, fait l'écho¹ — nous nous proposons, dans le cadre de cet article, d'attirer l'attention des milieux techniques surtout sur l'importance que peuvent présenter ces améliorations pour notre économie et de créer un mouvement dans ce sens auprès des groupements professionnels que la question intéresse plus particulièrement.

Les combustibles et les carburants, charbon et pétrole, sont un des termes les plus lourds dans le déséquilibre de nos

¹ On lira, entre autres publications, dans la « Revue polytechnique suisse », N° 8 et 9, 21 et 28 août 1937, un article de M. le prof. Dr B. Bauer, intitulé : « Neue Betrachtungen über die schweizerische Energiewirtschaft ».

échanges avec l'étranger ; ils représentent à peu près le dixième de la valeur totale de nos importations.

Durant l'année 1938, la Suisse a importé, en chiffres ronds, 1 915 000 t de houille, 885 000 t de coke, 535 000 t de briquettes de houille et de lignite, 171 000 t de résidus de pétrole pour le chauffage, 75 000 t de bois à brûler et de charbon de bois, 200 000 t d'essence (benzine et benzol), 18 000 t d'huiles minérales et de pétrole pour moteurs de véhicules, pour un montant total (valeur d'importation) de 174 millions de francs. Evaluées en unités de chaleur à raison de 7300 Kcal/kg pour la houille et les briquettes de houille, 7000 pour le coke et le charbon de bois, 5000 pour le lignite et les briquettes de lignite, 3500 pour le bois de feu, 11 000 pour l'essence, 10 000 pour les résidus de pétrole et les huiles minérales, nos importations de combustibles représentent approximativement 25 470 milliards de Kcalories ; celles de carburants, 2380 milliards, au total donc près de 27 850 milliards de Kcalories. A elles seules, la houille crue et les briquettes de houille, avec un tonnage de 2 194 000 t, représentent les 45 % (78 millions de francs) de la valeur totale de nos importations en combustibles et carburants, les 58 % de l'énergie calorifique y contenue (16 000 milliards Kcal.).

Au cours de l'année hydrographique allant du 1^{er} octobre 1937 au 30 septembre 1938, notre production totale d'énergie hydro-électrique s'est élevée (déduction faite des pertes entre l'usine génératrice et le point de livraison) à 6270×10^6 kWh environ dont 1550×10^6 ont été exportés. La consommation du pays s'est donc montée à 4720×10^6 kWh soit l'équivalent brut de 4060×10^9 Kcal. Nos forêts dont la production annuelle en bois de feu peut être estimée à 1 500 000 m³ en ont fourni près de 2650 milliards. Nos besoins d'énergie se sont donc élevés, au total, à environ 34 600 milliards de Kcalories. Nos usines hydro-électriques avec 6270×10^6 kWh et nos forêts avec 1 500 000 m³, qui fournissent en tout 8000×10^9 Kcal., suffisent donc à peine, dans l'état présent, au quart de nos besoins d'énergie.

Si l'on table sur le fait que la production totale annuelle de toutes nos forces hydrauliques susceptibles d'être utilisées ne doit pas dépasser 20 milliards de kWh, soit l'équivalent de 17 200 milliards de Kcalories, on constate donc que nous ne pourrions couvrir, au taux actuel de notre consommation et compte tenu de notre production de bois de feu, qu'un peu plus de 50 % de nos besoins d'énergie ; sans compter que la production d'énergie électrique est assez mal répartie puisqu'elle est précisément la plus faible en hiver où les besoins de chaleur pour le chauffage et d'énergie pour l'éclairage se font plus pressants.

Le pouvoir calorifique des divers combustibles et carburants dont nous avons fait mention ainsi que l'équivalence calorifique du kWh ont seuls servi de base à l'évaluation de nos besoins d'énergie. Par énergie, nous entendons l'énergie nécessaire au fonctionnement de nos usines, de nos industries, de nos moteurs, de nos fourneaux, etc. Nous n'ignorons pas que ces deux notions sont insuffisantes et inexactes pour définir la valeur d'un combustible, d'un carburant ou d'un kWh parce que l'énergie qu'ils représentent théoriquement n'est jamais utilisée en totalité mais affectée, à l'usage, d'un coefficient d'utilisation très variable avec la nature du combustible ou du carburant, et avec les fours, les fourneaux et les moteurs qui les utilisent. Bien que, par conséquent, par suite des variations affectant l'énergie utilisable, il soit au fond nécessaire d'avoir une autre base de mesure, la valeur d'usage des combustibles et des carburants, notion sur laquelle il n'est pas possible, à cause de sa complexité de parler ici, nous admettons, dans un but de simplification, que la valeur d'usage