



**Conseil Économique
et Social**

Distr.
GÉNÉRALE

TRANS/WP.15/2000/10
6 mars 2000

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

COMITÉ DES TRANSPORTS INTÉRIEURS

Groupe de travail des transports
de marchandises dangereuses
(soixante-huitième session,
point 4 a) de l'ordre du jour
Genève, 15-19 mars 2000)

PROPOSITION D'AMENDEMENTS AUX ANNEXES A ET B DE L'ADR

Formule d'épaisseur minimale équivalente adéquate des parois
Marginal 21x 127 (3) et (4) de l'ADR

Transmise par le Gouvernement allemand

Introduction

1. La question a été examinée lors de plusieurs sessions du Groupe de travail 15 (WP.15), réunions de groupes de travail spéciaux, et le résumé des débats a été présenté par l'Allemagne à la soixante-sixième session du WP.15. L'intérêt manifesté par les participants à ces réunions ayant été inégal, on n'était pas parvenu à un accord définitif. En conséquence, l'Allemagne a annoncé, lors de la soixante-sixième session, qu'elle présenterait une proposition officielle à ce sujet pour la soixante-septième session et qu'elle demanderait qu'ait lieu un débat final pour décider de la modification de l'actuel marginal 21x 127 (3) et (4).

La proposition présentée dans le document TRANS/WP.15/1999/49 a été examinée de près à la soixante-septième session, mais la complexité de la question et du motif a empêché tout vote représentatif. La décision fut donc prise de l'étudier à la réunion du nouveau Groupe de travail informel sur les véhicules-citernes (groupant des experts des pays intéressés), qui a eu lieu les 11 et 12 janvier 2000, à Berlin (voir le document TRANS/WP.15/2000/4).

GE.00-20688 (F)

Après un examen approfondi de la question, la majorité des participants à la réunion s'est prononcée non seulement pour le remplacement de l'actuelle formule de la racine cubique par la formule d'épaisseur minimale équivalente des parois (déjà proposée dans le document TRANS/WP.15/1999/49), mais aussi pour la réduction du motif excessivement détaillé, présenté dans ledit document, à des proportions permettant de prendre une décision lors de la soixante-huitième session du WP.15.

En conclusion, la rédaction de la proposition reste telle qu'elle figure dans le document TRANS/WP.15/1999/49, et seul a été modifié le texte du motif compte tenu des résultats du Groupe de travail informel sur les véhicules-citernes.

Proposition

1. Remplacer chaque fois la dernière phrase des marginaux

211 127 (3)

211 127 (4)

212 127 (3)

212 127 (4)

par le texte suivant :

Par épaisseur équivalente, on entend celle qui est donnée par la formule suivante :

$$e_1 = \frac{456 \cdot e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1} \cdot A_1)^2}} \quad \underline{4/}$$

2. Remplacer la note de bas de page 4/ concernant les marginaux susmentionnés par la suivante :

4/ Cette formule découle de la formule générale :

$$e_1 = e_0 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}\right)^2}$$

où :

R_{m0} = 360

A_0 = 27 pour l'acier doux de référence

R_{m1} = limite minimale de résistance à la rupture par traction du métal choisi, en N/mm^2

A_1 = allongement minimal à la rupture par traction du métal choisi, en %

3. Amendement à apporter en conséquence aux marginaux 211 125 (1) et 212 125 (1) :

Ajouter au quatrième alinéa des marginaux susmentionnés (commençant par : "Les valeurs minimales spécifiées selon..."), la phrase suivante :

Ces valeurs minimales spécifiées ne doivent pas être supérieures lorsqu'on utilise les formules indiquées au marginal 211 127 (3) et (4) [212 127 (3) et (4)].

4. Amendement à apporter en conséquence au marginal 211 188 :

Lire comme suit le marginal 211 188 :

Les citernes fixes (véhicules-citernes), les citernes démontables et les véhicules-batteries construits avant l'entrée en vigueur des dispositions applicables à compter du [1er janvier 2001] qui ne sont pas conformes à ces dispositions mais qui ont été construits selon les dispositions de l'ADR en vigueur jusqu'à cette date peuvent continuer d'être utilisés.

5. Modifications à apporter en conséquence au marginal 212 182 :

Lire comme suit le marginal 212 182 :

Les conteneurs-citernes construits avant l'entrée en vigueur des dispositions applicables à compter du [1er janvier 2001] qui ne sont pas conformes à ces dispositions mais qui ont été construits selon les prescriptions de l'ADR en vigueur jusqu'à cette date peuvent continuer d'être utilisés.

Motif

L'épaisseur minimale des parois obtenue en appliquant les formules du marginal 21x 127 (2) aboutit, pour des pressions d'épreuve et de calcul entre 4 à 10 bars, à des épaisseurs de quelque 3 à plus de 5 mm, pour l'acier doux. Néanmoins, il faut assurer un niveau suffisant de sécurité des citernes contre les effets des forces internes et externes (accidentelles) qui s'exercent. On y parvient en satisfaisant aux prescriptions énoncées respectivement aux paragraphes (3) et (4) de l'actuel marginal 21x 127 et en définissant l'épaisseur minimale absolue pour l'acier doux comme suit (marginal 21x 127 (3) par exemple) :

"Les parois, les fonds et les couvercles des réservoirs à section circulaire dont le diamètre est égal ou inférieur à 1,80 m doivent avoir au moins 5 mm d'épaisseur s'ils sont en acier doux ou une épaisseur équivalente s'ils sont en un autre métal. Quand le diamètre est supérieur à 1,80 m, cette épaisseur doit être portée à 6 mm, à l'exception des réservoirs destinés au transport des matières pulvérulentes ou granulaires, si les réservoirs sont en acier doux, ou à une épaisseur équivalente s'ils sont en un autre métal. Par épaisseur équivalente, on entend celle qui est donnée par la formule suivante :

$$e_1 = \frac{21,4 \cdot e_0}{\sqrt[3]{Rm_1 \cdot A_1}} \text{ "}$$

Ces prescriptions correspondent aux niveaux nécessaires de sécurité des réservoirs des citernes (c'est-à-dire la citerne non entièrement équipée) par la spécification d'un certain assortiment de matériaux et d'épaisseurs de parois : l'acier doux de propriétés spécifiques (acier de référence) est assorti d'épaisseurs de parois de 6, 5, 4 ou 3 mm, selon le diamètre du réservoir de la citerne, les matières transportées (liquides/pulvérulentes ou granulaires) et la protection supplémentaire mise en œuvre.

Dans le cas de matériaux métalliques autres que l'acier de référence, c'est la formule susmentionnée de la racine cubique qu'il fallait appliquer jusqu'ici. Mais cette formule cubique ne suit pas les lois de la mécanique : elle n'est pas satisfaisante en ce qui concerne les forces internes ou externes qui, s'exerçant sur le réservoir de la citerne, aboutissent à une déformation plastique ou à une rupture.

Le niveau de sécurité d'un réservoir de citerne n'est défini que par une comparaison de

- certaines propriétés matérielles de l'acier de référence et la valeur de base de l'épaisseur des parois,
- certaines propriétés des matériaux se traduisant par d'autres épaisseurs des parois que d'épaisseurs de base là où est utilisé un métal autre que l'acier de référence.

comparaison fondée sur la même valeur de l'énergie de déformation à la rupture.

Dans chaque cas, les propriétés du matériau (c'est-à-dire aussi pour différents matériaux métalliques) seront déterminées par des essais normalisés de traction uniaxiale. Il faut donc aussi mettre au point une formule d'épaisseur minimale équivalente appropriée des parois, fondée sur des essais normalisés de traction uniaxiale.

Lors des essais de traction uniaxiale, ce sont les courbes d'allongement-contrainte et de déformation-contrainte à la rupture qui seront déterminées. L'énergie de déformation à la rupture correspond à l'aire sous ces courbes. Des échantillons faits de différents métaux sont comparables s'ils répondent à des énergies de déformation à la rupture comparables.

Les dimensions équivalentes nécessaires (par exemple épaisseur de paroi) de l'échantillon fait d'un autre métal peuvent être déterminées sur la base des dimensions (épaisseur de paroi, par exemple) de l'échantillon fait dans un acier de référence si l'énergie de déformation à la rupture à appliquer est la même et si les propriétés matérielles de l'échantillon sont connues.

On peut ainsi obtenir la formule d'épaisseur minimale équivalente adéquate des parois. Des détails concernant l'établissement de la formule proposée ont déjà été présentés dans le document TRANS/WP.15/1999/49, qui est joint en annexe au présent document dans un souci d'information.

Remarques complémentaires

La transition d'un matériau (acier de référence) à un autre, correspondant à l'absorption de la même énergie de déformation lors d'un essai uniaxial de traction (application de la formule de compromis), aboutit :

- à des chiffres plus élevés pour les épaisseurs minimales des parois dans le cas d'alliages d'aluminium communs,
- à des chiffres inférieurs pour les épaisseurs minimales des parois si l'on utilise des aciers austénitiques.

Toutefois, dans le cas des alliages d'aluminium perfectionnés on aura des épaisseurs minimales de parois telles que la masse des réservoirs sera comparable à celle des réservoirs actuellement en service. On ne voit, par conséquent, rien qui s'oppose sérieusement, même du point de vue économique, à l'application d'une formule appropriée de compromis.

En fait, on peut soutenir que l'application de la formule de compromis aux réservoirs faits en alliage d'aluminium contribuera à en accroître la sécurité.

Les tableaux 1 et 2 montrent les conséquences qu'aurait eu l'emploi de la formule de compromis pour les épaisseurs minimales des parois.

La formule de compromis permet d'évaluer correctement et suffisamment les propriétés de chaque matériau. Ainsi, la prescription particulière du marginal 21x 125 (1) pour les aciers austénitiques – indiquant que les valeurs minimales spécifiées selon les normes peuvent être dépassées jusqu'à 15 % - ne saurait s'appliquer au futur marginal 21x 127 (3) et (4).

Des précisions supplémentaires sur ce qui fonde la formule de compromis et les résultats des débats antérieurs sont présentés dans les documents TRANS/WP.15/R.433 et INF.32 (soixante-deuxième session), INF.13 (soixante-sixième session) et TRANS/WP.15/1999/48 et -/49 (soixante-septième session).

Annexe

Élaboration d'une formule d'épaisseur minimale équivalente adéquate des parois (formule de compromis)

Si, pour l'essai de traction, l'on prend un court échantillon, l'allongement permanent après rupture doit être mesuré sur une éprouvette de section circulaire où la longueur entre repères l est égale à 5 fois le diamètre d ; si des éprouvettes de section rectangulaire sont utilisées - ce qui est tout à fait normal pour déterminer les propriétés de la tôle - la longueur entre repères doit être calculée selon la formule

$$l = 5,65 \cdot \sqrt{F_0} \quad (1),$$

où F_0 est l'aire de la section initiale de l'éprouvette (voir également le marginal 21x 125, note de bas de page 1).

Le volume V de l'éprouvette cylindrique doit être égal à celui de l'éprouvette prismatique. En conséquence (voir fig. 1)

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot l = F_0 \cdot l = b \cdot e \cdot l \quad (2)$$

et

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cdot \sqrt{b \cdot e}$$

où $l = 5 \cdot d$, ce qui donne

$$l = 5 \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cdot \sqrt{b \cdot e} = 5,65 \cdot \sqrt{b \cdot e} \quad (3)$$

Les caractéristiques de déformation de l'éprouvette (travail/énergie de déformation ou capacité d'absorption d'énergie) peuvent être décrites comme suit :

$$\Delta W = V \cdot \int_0^{\varepsilon} \sigma d\varepsilon \quad (4)$$

Si le métal a des caractéristiques élastiques-plastiques idéales (voir fig. 2), l'équation (4) peut être transformée comme suit :

$$W = V \cdot R_m \cdot A \quad (5)$$

où

V = volume de l'éprouvette

R_m = résistance à la rupture par traction

A = allongement à la rupture par traction

Si l'on choisit un autre métal qui doit être capable de supporter la même quantité de travail de déformation (énergie de déformation) que dans le cas du métal de référence, il y a lieu de transformer l'équation (5) comme suit :

$$W = V \cdot R_m \cdot A = \text{const.}$$

$$W = V_0 \cdot R_{m0} \cdot A_0 = V_1 \cdot R_{m1} \cdot A_1 \quad (6)$$

où

Indice 0 = métal (acier) de référence,

Indice 1 = métal choisi.

Puis les équations (2) et (3) sont introduites dans l'équation (6) comme suit :

$$\begin{aligned} W &= R_{m0} \cdot A_0 \cdot V_0 = R_{m1} \cdot A_1 \cdot V_1 \\ &= R_{m0} \cdot A_0 \cdot b_0 \cdot e_0 \cdot 5,65 \cdot \sqrt{b_0 \cdot e_0} = R_{m1} \cdot A_1 \cdot b_1 \cdot e_1 \cdot 5,65 \cdot \sqrt{b_1 \cdot e_1} \end{aligned}$$

où $b_0 = b_1 = \text{const.}$ (comme dans le cas de réservoirs de citernes réels d'un diamètre donné);
le résultat est le suivant :

$$\begin{aligned} R_{m0} \cdot A_0 \cdot \sqrt{e_0^3} &= R_{m1} \cdot A_1 \cdot \sqrt{e_1^3} \\ \sqrt{e_1^3} &= \sqrt{e_0^3} \frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1} \\ e_1^3 &= e_0^3 \left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1} \right)^2 \\ e_1 &= e_0 \sqrt[3]{\left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1} \right)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

Cette dernière équation représente la formule de compromis.

Remarque finale

Bien que, dans la réalité, les métaux n'aient pas un comportement élastique-plastique idéal, l'équation (5) convient parfaitement, car le rapport d'aire (aire sous une courbe de déformation-contrainte réelle (F_1) divisée par l'aire sous la courbe de déformation élastique-plastique théorique (F_0)) pour chaque métal présente pratiquement toujours la même valeur (0,89 à 0,91). Ainsi, à 2 ou 3 % près, l'épaisseur de parois calculée selon la formule de compromis (équation 7) ne présente que des écarts négligeables par rapport à des valeurs réelles de rapport d'aire. La même remarque peut d'ailleurs être faite à propos de l'application de l'actuelle formule de la racine cubique.

| Formule | Matériau | Acier doux de référence | 1 Mg 4,5 Mn | Alliage d'aluminium 5186 (Pechiney) | Acier austénitique (1.4541) | Acier à grains fins (St E 460) |
|---|--|-------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | Épaisseur des parois | | | | | |
| Formule de la racine cubique | $e_1 = e_0 \sqrt[3]{\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}}$ | 4,0 | 5,12 | 4,6 | 3,0 (2,9) | 4,0 |
| Formule de compromis | $e_1 = e_0 \sqrt[3]{\left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}\right)^2}$ | 4,0 | 6,5 | 5,2 | 2,2 | 4,1 |
| Formule de la racine cubique | $e_1 = e_0 \sqrt[3]{\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}}$ | 6,0 | 7,7 | 6,8 | 4,5 (4,3) | 6,1 |
| Formule de compromis | $e_1 = e_0 \sqrt[3]{\left(\frac{R_{m0} \cdot A_0}{R_{m1} \cdot A_1}\right)^2}$ | 6,0 | 9,8 | 7,8 | 3,4 | 6,1 |
| <p>Tableau 1 : Épaisseur des parois requise (e_1 [mm]) en fonction du matériau utilisé pour les citernes, rapportée à l'acier doux de référence ($e_0 = 6$ mm, $R_{m0} = 360$ N/mm² et $A_0 = 27$ %)</p> | | | | | | |

| Propriété | Matériau | Acier doux de référence | 1 Mg 4,5 Mn | Alliage d'aluminium 5186 (Pechiney) | Acier austénitique (1.4541) | Acier à grains fins (St E 460) |
|---|----------|-------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| R_{m0} [N/mm ²] | | 360 | - | - | - | - |
| A_0 [%] | | 27 | - | - | - | - |
| R_{m1} [N/mm ²] | | - | 275 | 275 | 540 | 560 |
| A_1 [%] | | - | 17 | 24 | 43 | 17 |
| $R_{m0} \cdot A_0$ | | 9 720 | - | - | - | - |
| $R_{m1} \cdot A_1$ (($R_{m1} \cdot A_1$) + 15 %) | | - | 4 675 | 6 600 | 23 220 (26 700) | 9 520 |

Tableau 2 : Propriétés des matériaux fréquemment utilisés pour les citernes

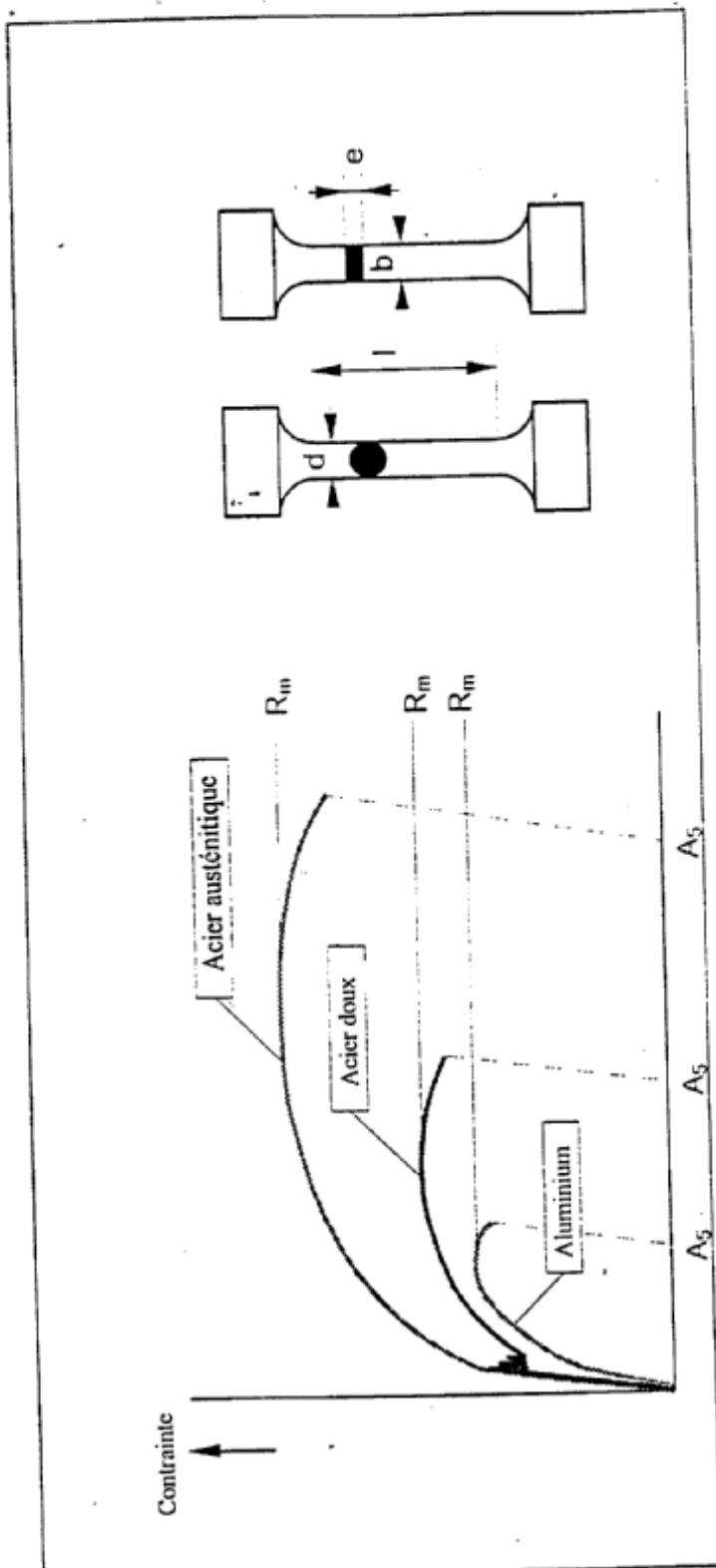


Figure 1 : Diagramme de déformation-contrainte des matériaux généralement utilisés pour les citernes

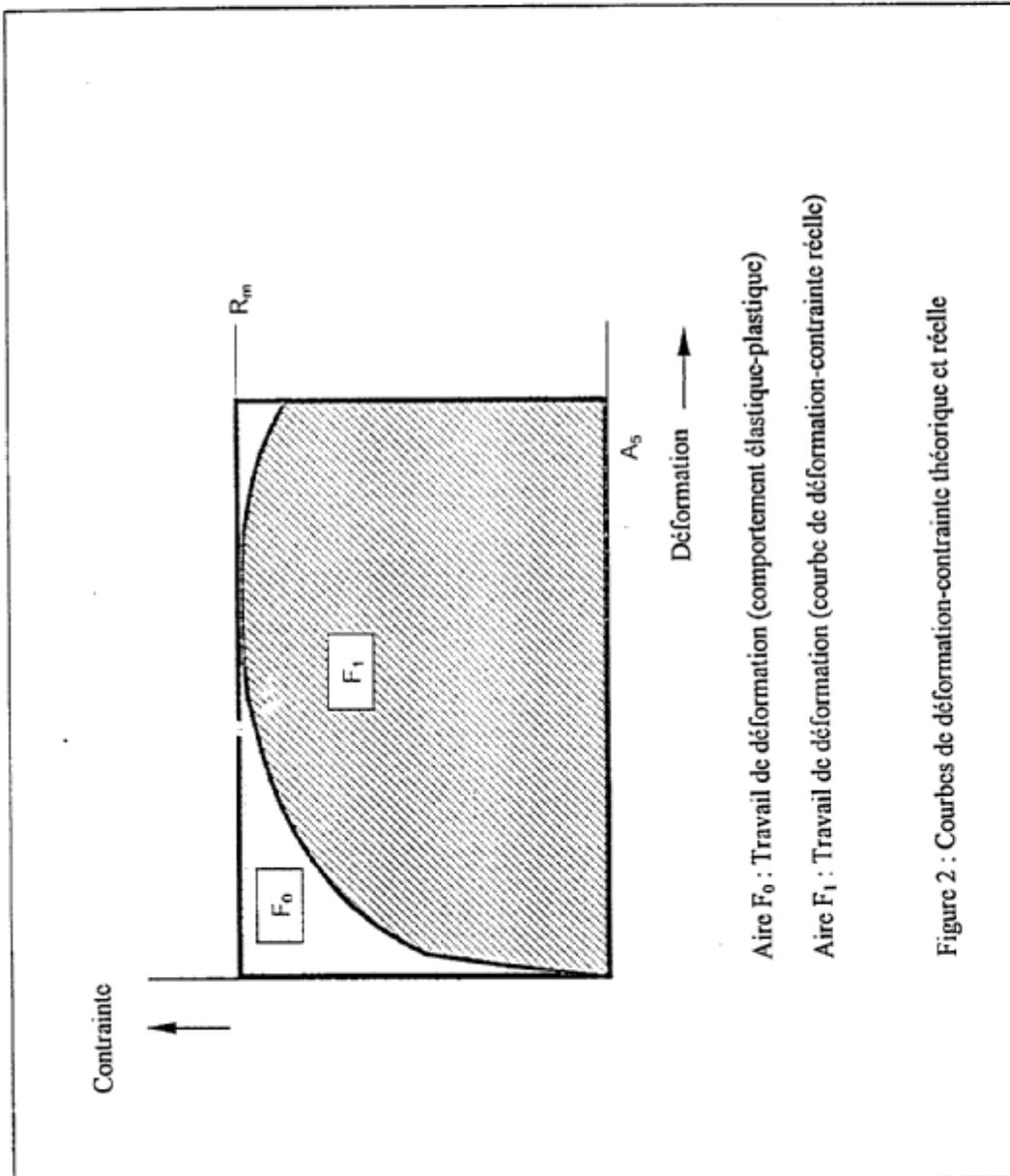


Figure 2 : Courbes de déformation-contrainte théorique et réelle