

Etude de système probabiliste et les mécanismes d'endommagement de l'Acrylonitrile Butadiène Styrène

F.SABAH¹, A.WAHID¹, F.NASSIH¹, and M. El Ghorba²; H.CHAKIR¹

1 Faculté des sciences Ben M'sick, Laboratoire de la matière condensée, Casablanca Maroc,
E-Mail : sabah.fatima15@gmail.com

2 ENSEM, Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des structures,
Casablanca, Maroc

Résumé :

Les matières plastiques jouent un rôle important dans notre vie quotidienne en raison de leur facilité d'installation et de leurs coûts de production relativement faibles. A l'heure actuelle les polymères sont ubiquistes dans toutes les facettes de notre vie, d'où l'on soutire la nécessité imminente de déceler le comportement mécanique de ces dits polymères. Cette recherche présente de nouveaux développements dans le domaine de la mécanique de la rupture.

Ce présente travail sera consacré à l'étude du comportement mécanique en grandes déformations d'un polymère de type Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) sous chargement de traction uni axial en se focalisant sur l'influence de l'endommagement sur le comportement des structures en ABS étudiées. La connaissance du comportement mécanique des composants est indispensable pour prédire leurs durée de vie dans l'optique d'éviter toute rupture fatale en service. Dans ce contexte découle notre étude basée sur l'analyse de la fiabilité des structures endommagées artificiellement. Pour atteindre cet objectif nous avons endommagé le matériau étudié (ABS) par la réalisation des demis trous circulaires superficielle de différents diamètres, pour faire une étude de dommage statique en fonction de la fraction de vie, et une étude probabiliste afin de déterminer le défaut critique dans notre cas.

Abstract:

Plastics play an important role in our daily lives because of their ease of installation and their relatively low production costs. At present, polymers are ubiquitous in all facets of our life, from which we draw the imminent need to detect the mechanical behavior of these polymers. This research presents new developments in the field of fracture mechanics.

This work will be devoted to the study of the mechanical behavior in large deformations of an Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) type polymer under uni-axial tension loading focusing on the influence of the damage on the behavior of the structures in ABS studied. Knowledge of the mechanical behavior of the components is essential to predict their life in order to avoid any fatal failure in service. In this context follows our study based on the analysis of the reliability of artificially damaged structures. To achieve this objective we damaged the studied material (ABS) by the realization of the superficial circular half-holes of different diameters, to make a study of static

damage according to the fraction of life, and a probabilistic study to determine the critical defect in our case.

Mots clefs : Comportement mécanique, déformations, ABS, traction, endommagement, durée de vie, étude probabiliste, défaut critique.

1 Introduction

L'utilisation des matériaux par l'homme est apparue depuis qu'il construit son habitat, ses outils, ses armes et ses bijoux. Bref, depuis qu'il est homme. Sa volonté à créer des matériaux utiles, plus efficaces pour les tâches journalières constitue depuis toujours un souci important et une source de puissance et de maîtrise de son milieu. Les matériaux ont toujours défini le niveau de développement de l'être humain durant toute l'histoire de notre civilisation. Pourtant on considère généralement que la science des matériaux ne date que du début du XX^{ème} siècle vu le développement des activités industrielles [1].

Dans cet article, nous avons basé nos études sur le polymère thermoplastique Acrylonitrile Butadiène Styrene (ABS), ce choix est justifié par la compatibilité de l'ABS avec un large éventail de matériaux. Ce qui le rend extrêmement polyvalent.

Il est couramment utilisée dans plusieurs secteurs d'activité et particulièrement lorsqu'on souhaite allier la tenue au choc avec un beau design, ainsi que lorsqu'on cherche l'éco conception ; puisque l'ABS est une matière recyclable.

Il est favorisé dans la fabrication de capotage d'électroménager, coques de bateaux, planches à voiles, des pièces automobiles pouvant être chromées...etc.

Le travail actuel s'intéresse sur une étude de l'endommagement sur des éprouvettes pré-endommagée, en utilisant une loi de dommage statique[2] pour déterminer le défaut critique dans notre cas, d'une part et d'autre part nous avons effectué une étude fiabiliste par calcul de densité de probabilité.

2 Expérimentation

2.1 Caractérisation du matériau

Pour la caractérisation du matériau, des essais de traction uniaxiale ont été réalisés selon les normes ASTM D638-03 [3], ASTM D 882-02 [4] et ASTM D5766M [5], la figure 1 ci-dessous montre les dessins de définition des éprouvettes utilisées pour les essais :

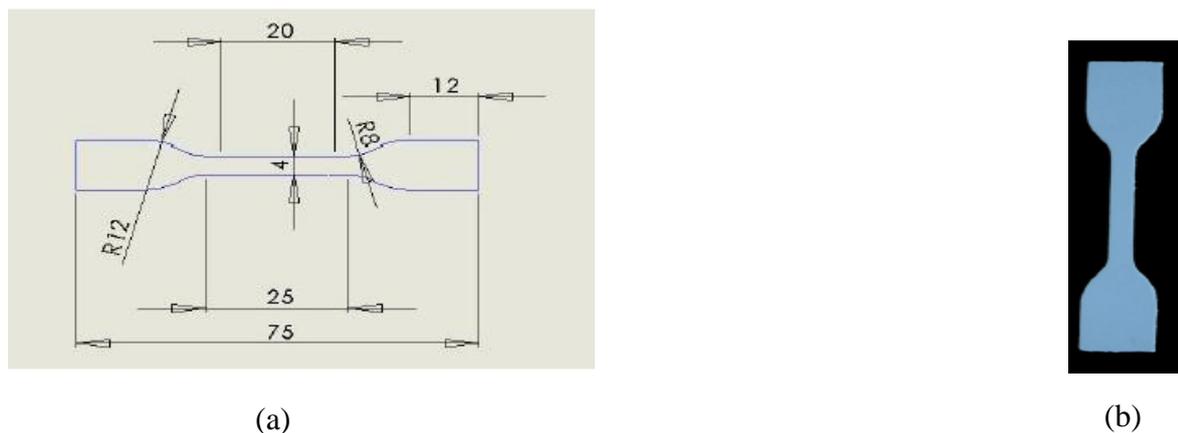


Figure 1 : (a) Dimension d'éprouvette selon la norme ASTM D638-03
 (b) Eprouvette haltère pour essai de traction simple

L'ensemble des tests menant à la rupture des éprouvettes ABS a permis de tracer l'allure de la courbe de traction qui représente l'évolution de la contrainte en (Mpa) en fonction du déformation (en %). (Fig.2) et par la suite extraire les caractéristiques mécaniques qu'on a regroupé dans un tableau 1 (les valeurs données sont des valeurs moyennes).

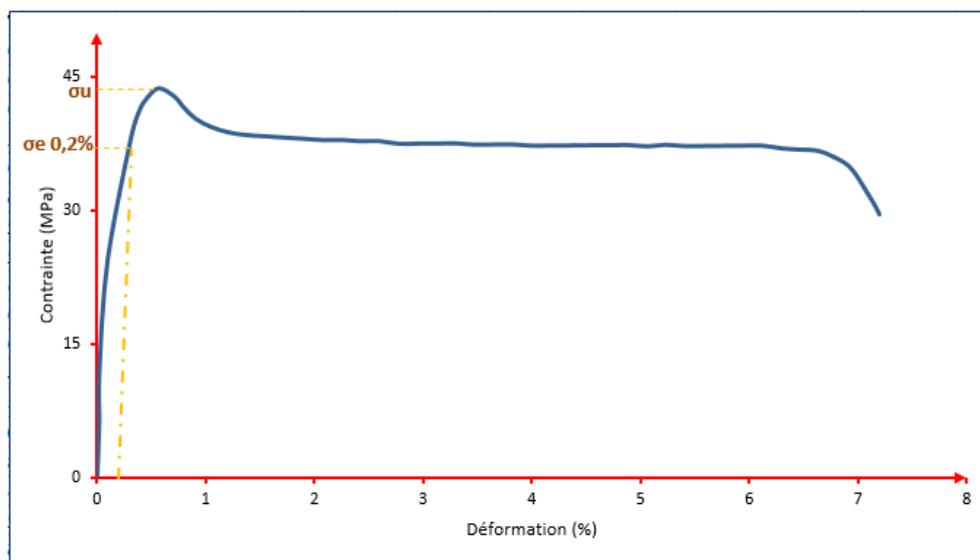


Figure 2 : Evolution de la contrainte (MPa) en fonction de la déformation (%) de l'ABS

A partir de la courbe Contrainte-Déformation, on obtient les résultats illustrés dans le tableau suivant :

Table.1. Caractéristiques mécaniques de l'ABS

Contrainte maximale (MPa)	43,8
Allongement à rupture en(%)	7,2
Contrainte à la limite élastique (MPa)	38,45
Module d'Young(GPa)	1,47
Contrainte à la rupture (MPa)	29,58

2.2 Epreuve utilisée

Pour avoir l'effet du défaut sur le matériau utilisé (ABS), nous avons effectué des essais de traction sur des éprouvettes rectangulaire de l'ABS simplement entaillée ; selon les normes ASTM D 882-02 [6] et 766m ASTM [7], L'ensemble de ces éprouvettes a été testé en traction monotone à déplacement imposé correspondant à une vitesse de déformation de 1mm/min. Les essais ont été réalisés dans les conditions d'air et de température ambiante (≈ 20 à 24°C) sur une machine de type ZwickRoell d'une cellule de charge de 2.5 KN. Les défauts correspondant à des entailles sous forme des demi-cercles, de rayon allant de 1mm jusqu'à 18 mm (Fig.3).



Figure 3 : (a) Dimensions de l'éprouvette ;(b) les différentes éprouvettes étudiés ; (c) Machine de traction type ZwickRoell

Nous avons appliqué des différents fonds d'entaille de 1 à 18 mm (forme circulaire) sur des éprouvettes rectangulaire étudiés, ensuite, nous avons appliqué un essai de traction sur trois éprouvettes pour chaque fond d'entaille.

3 Résultats et Discussion

3.1 Essai statique de traction sur les éprouvettes entaillées

La courbe contrainte-déformation des essais de traction des éprouvettes entaillées à différentes longueur d'entailles de 1 à 18mm étudiés (Fig.4) est illustrée dans la figure ci-dessous :

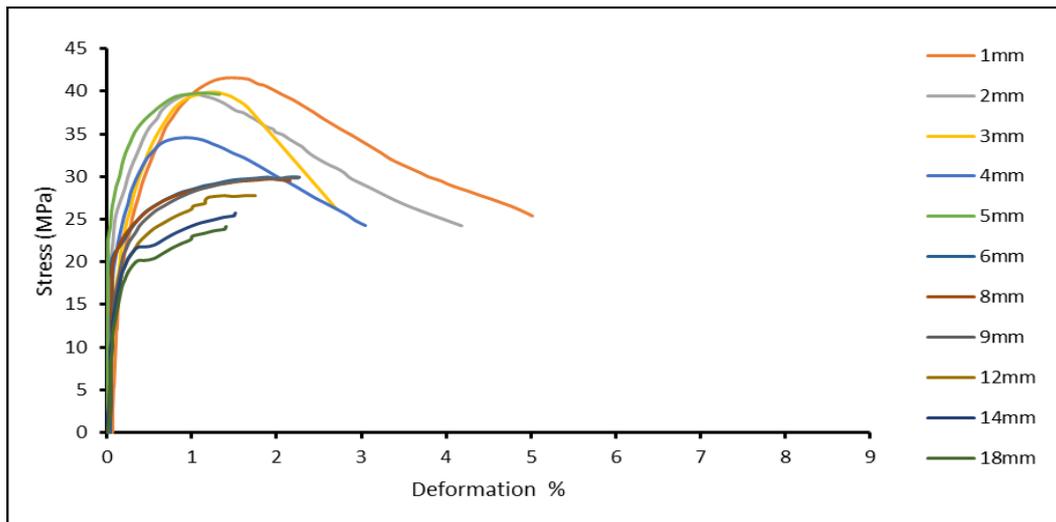


Figure 4 : Courbe Contrainte-Déformation des éprouvettes entaillées

On remarque que les caractéristiques mécaniques du matériau chutent remarquablement avec l'évolution de la taille du défaut (Fig.4). Ces caractéristiques comprennent la limite élastique, la contrainte ultime, l'allongement...etc.

3.2 Calcul du dommage statique

Le modèle du dommage statique consiste à déterminer l'évolution de la contrainte en fonction de la fraction de vie $\beta=a/w$. L'endommagement est déterminé par la variable D_s :

$$D_s = \frac{\sigma_u - \sigma_{ur}}{\sigma_u - \sigma_a}$$

Avec :

σ_u : la valeur de la contrainte ultime à l'état initial

σ_{ur} : la valeur de la contrainte ultime résiduelle pour différents allongements

σ_a : la contrainte juste avant la rupture

a : longueur d'entaille

w : largeur d'entaille.

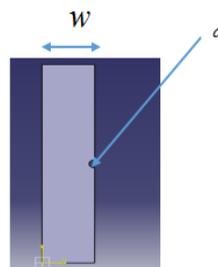


Figure 5 : Courbe Contrainte-Déformation des éprouvettes entaillées

Au cours de l'essai, La variation du dommage en fonction de fraction de vie est illustrée par la courbe dans la figure 6.

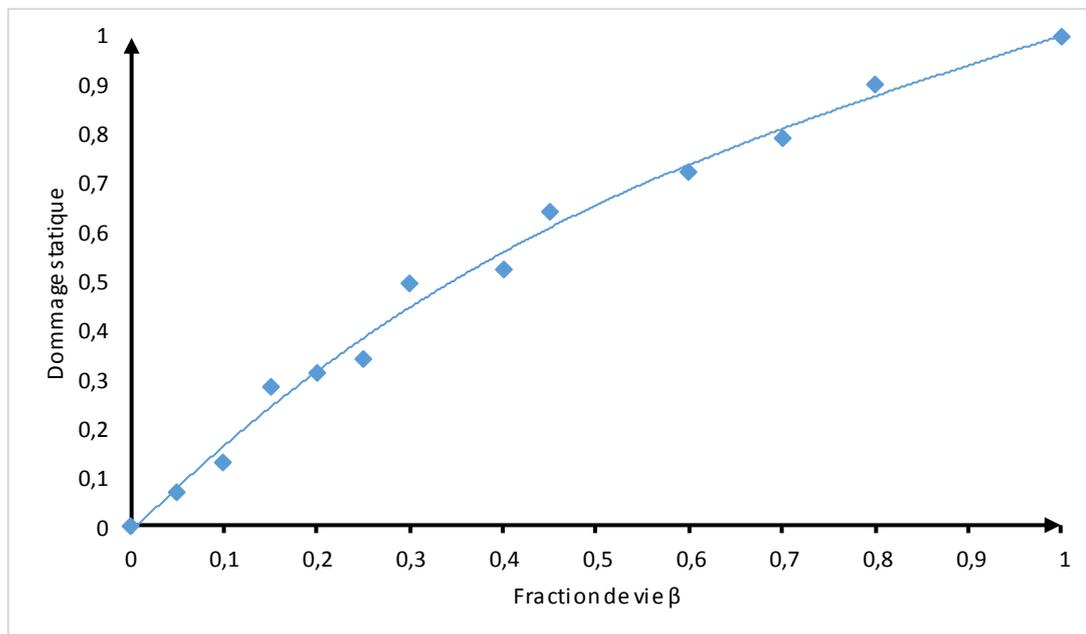


Figure 6 : Évolution du dommage en fonction de la fraction de vie

L'accroissement du dommage signifie l'augmentation de la perte en résistance en traction statique des échantillons, cette perte évolue lorsque l'allongement devient plus important. Il s'agit d'un endommagement fragile avec des déformations irréversibles qui réduit la résistance ultime du matériau.

3.3 Relation Dommage-Fiabilité

Le dommage d'une structure est présenté par l'estimation de sa probabilité de défaillance [8], par contre, la fiabilité se caractérise par les performances limites d'un structure à assurer son bon fonctionnement, la complémentarité de ces deux notions probabilistes se traduit par la relation suivantes :

$$R(\beta) + D(\beta) = 1$$

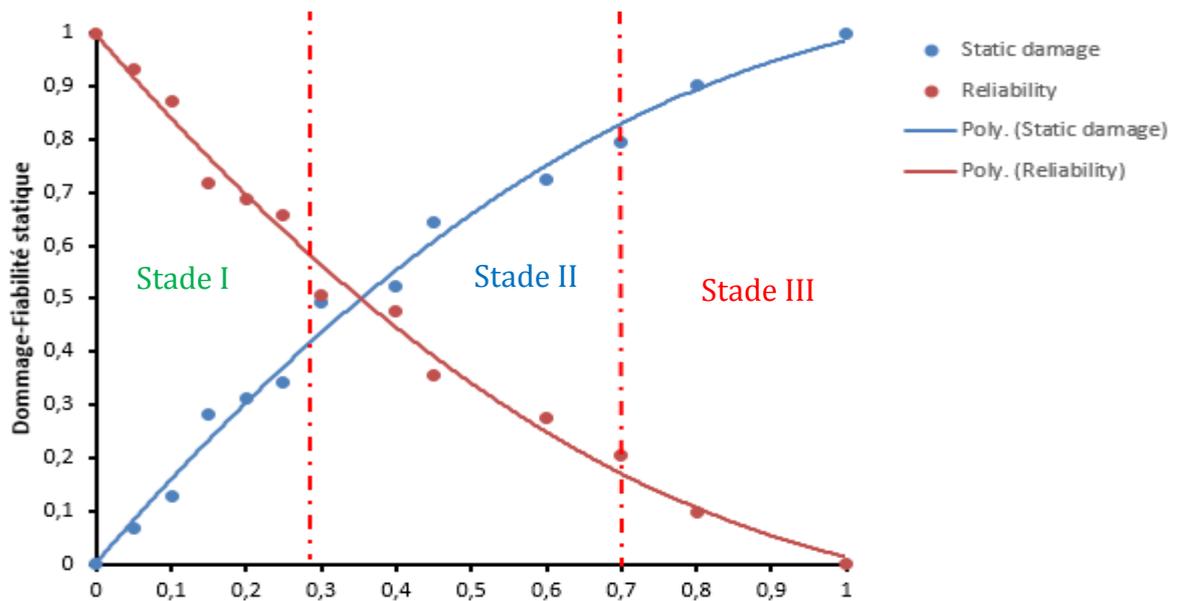


Figure 7 : Courbes dommage statique-Fiabilité en fonction de la fraction de vie

La courbe dans la figure 7 représente au début un comportement linéaire qui illustre un changement brutal (croissance-décroissance) des deux allures du dommage et de fiabilité (stade I), dans le stade II, on a une zone de stabilisation des deux allures dans laquelle se situe l'intersection fiabilité-endommagement.

En fin on trouve le stade III qui est la zone de la rupture incontrôlable dans laquelle on ne peut pas contrôler le défaut.

4 Densité de probabilité du matériau

Pour évaluer la densité de probabilité de rupture en fonction de la taille du défaut pour notre matériau étudié. On a adapté la fonction de distribution de Weibull à notre cas [9] :

$$f(a) = \frac{1}{am} * \exp\left(-\frac{a}{am}\right)$$

Avec :

- a_m : la valeur moyenne de la taille de la fissure ;
- a critique : la longueur critique de la fissure ;
- a amorçage : la longueur de la fissure amorcée.

Les résultats de l'étude fiabiliste sont reportés sur la figure ci-dessous :

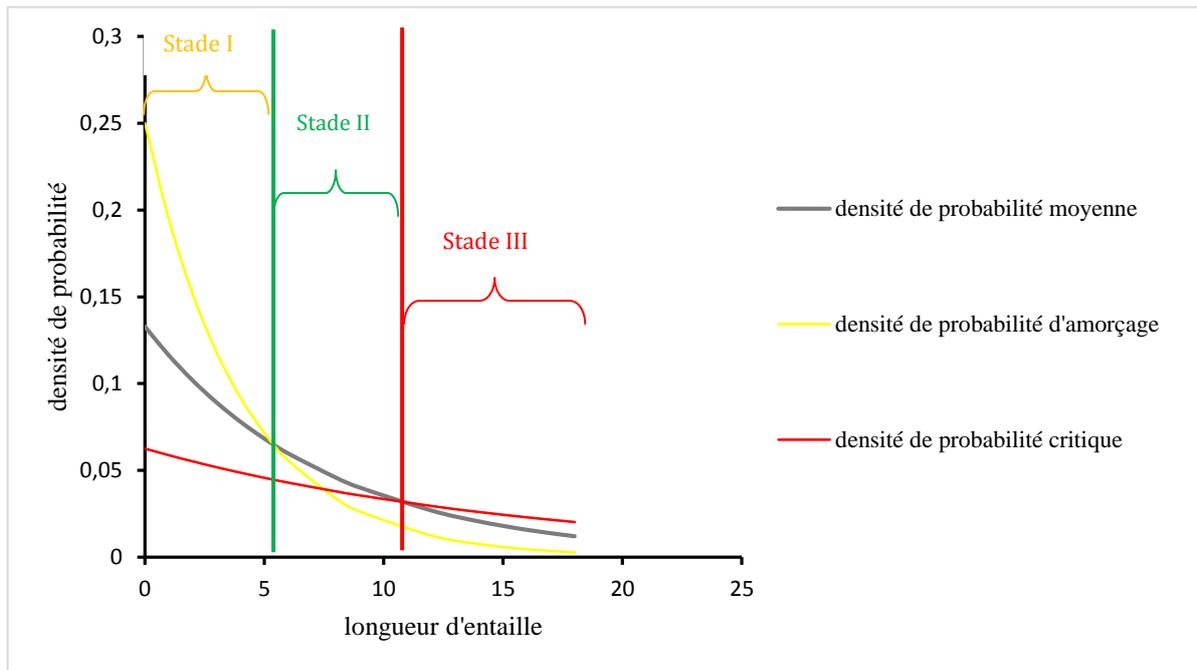


Figure 8 : Représentation du dommage par la densité de probabilité de Weibull

On note clairement d'après le tracé des courbes l'existence de trois phases qui définissent la progression du dommage :

Stade I : [0 ; 6] on définit ce stade par l'intersection entre la courbe de la densité de probabilité d'amorçage et la courbe de la densité de probabilité moyenne ;

Stade II : [6 ; 12] on définit ce stade par l'intersection entre la courbe de densité de probabilité moyenne et la courbe de densité de probabilité critique

Stade III : [12 ; 18] dernière phase du cycle de vie où la rupture peut survenir à tout moment c'est le stade incontrôlable.

5 Conclusion

Ce travail est basé sur des essais expérimentaux pour faire une étude du comportement mécanique de l'ABS. Dans un premier temps, nous avons préparé des éprouvettes normalisées rectangulaires percées, après on découpe l'éprouvette en deux pour obtenir des éprouvettes avec des demis trous allant de 1mm jusqu'à 9mm, pour faire des essais de traction.

Dans les essais d'endommagement, l'influence du défaut a été évaluée, et démontrée par des résultats expérimentaux normalisés en fonction de la contrainte ultime résiduelle.

Cette dernière diminue graduellement au fur et à mesure de rayon d'entaille, jusqu'à la rupture de l'éprouvette endommagée.

Une étude de dommage et de fiabilité a été réalisée basée sur un essai statique de traction qui a permis d'estimer le dommage artificiel d'une éprouvette entaillée.

Le stade II défini par la méthode de la densité de probabilité est plus réduit et donc présente plus de sécurité par rapport au stade II défini par la méthode du dommage statique-Fiabilité.

Références

- [1] : Etude du comportement mécanique des structures endommagées en polymères. Dialogue calcul numérique /essais. Application à la photoélasticimétrie
- [2] : Wahid, Achraf, et al. "Energy method for experimental life prediction of central core strand constituting a steel wire rope." *Engineering Failure Analysis* 97 (2019): 61-71.
- [3]: «ASTM D638-03 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics».
- [4]: «ASTM D882 - 02 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting».
- [5]: «ASTM D5766 / D5766M - 11 Standard Test Method for Open-Hole Tensile Strength of Polymer Matrix Composite Laminates».
- [6]: D5766M ASTM Standard test method for open hole tensile strength of polymer matrix composite laminates.
- [7]: E606 / E606M - 12 ASTM Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing.
- [8]: I.Makadir, M.Barakat, M.Elghorba, H.Farid "Study Of Damage To ABS Specimens Submitted To Uniaxial Loading", *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, Volume 4, Issue 1, January-2015,PARES,05-08.
- [9] : Henri Procaccia, Patrick Morilhat « fiabilité des structures des installations industrielles » Editions EYROLLES 1996. Pp.31-33.