



Analyse par émission acoustique de l'endommagement et de la rupture du béton polymère en fluage = Acoustic emission analysis of polymer concrete damage in creep

Rachid Berbaoui, Abderrahim El Mahi, Rachid El Guerjouma

► To cite this version:

Rachid Berbaoui, Abderrahim El Mahi, Rachid El Guerjouma. Analyse par émission acoustique de l'endommagement et de la rupture du béton polymère en fluage = Acoustic emission analysis of polymer concrete damage in creep. JNC 16, Jun 2009, Toulouse, France. 8 p. <hal-00388845>

HAL Id: hal-00388845

<https://hal.science/hal-00388845v1>

Submitted on 11 Jun 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Analyse par émission acoustique de l'endommagement et de la rupture du béton polymère en fluage

Acoustic emission analysis of polymer concrete damage in creep

R. Berbaoui, A. El Mahi, R. El Guerjouma

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine UMR CNRS 6613

Rachid.Berbaoui@univ-lemans.fr

Abderrahim.elmahi@univ-lemans.fr

Rachid.El_Guerjouma@univ-lemans.fr

Résumé

Le présent travail s'intéresse à l'identification par émission acoustique et à l'analyse des mécanismes d'endommagement du béton polymère soumis à charges importantes et sur longues durées. Des essais sont conduits sur des éprouvettes prismatiques sollicitées en fluage, en flexion 3 points. Les signaux de l'émission acoustique générés par les éprouvettes sont recueillis et ont été analysés par la technique d'analyse statistique multivariable (méthode de coalescence floue) et par analyse en composantes principales. Cette analyse est basée sur des paramètres issus de l'analyse temporelle conventionnelle des données d'EA (amplitude, énergie, nombre de coups...) afin de distinguer les signatures correspondants aux différents mécanismes d'endommagement du matériau (microfissuration de la résine, décohésion résine-agrégats, et la rupture des agrégats) avec leurs chronologie d'apparition au cours de l'essai en fluage. L'analyse des activités acoustiques au cours des essais de fluage nous a permis ensuite de trouver une corrélation intéressante entre le temps de rupture et le temps de transition du fluage primaire/secondaire. Ce résultat peut être utilisé pour la prédiction de la rupture des matériaux granulaires à base polymère au cours des essais de longues durées.

Abstract

The paper presents an analysis of creep behaviour of the polymer concrete in three point bending tests. The material considered in the analysis is constituted of epoxy resin matrix, fine sand and aggregates. Creep damage and rupture are characterised using Acoustic Emission (AE). The acoustic signatures corresponding to the various damage mechanisms from material are identified. A correlation between the evolution of AE activity in the primary creep and the time to failure of the samples is established. This new result suggests interesting possibilities for the prediction of the rupture time based on observation of AE during the transition between the primary and secondary creep.

Mots Clés : béton polymère, endommagement, fluage, émission acoustique.

Keywords : polymer concrete, damage, creep, acoustic emission.

1. Introduction

Le béton de polymère est l'objet d'un intérêt croissant de recherches dû à sa large gamme d'applications possibles notamment dans la construction civile [1]. Cette classe de matériaux est constituée d'un liant de polymère, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable, et d'une charge minérale comme le gravier ou la pierre concassée et du sable. Les résines les plus généralement utilisées sont les polyesters, Poly (métha- crylate de méthyle), et les époxydes. Comparativement au béton de ciment Portland, le béton polymère possède une plus grande résistance mécanique, résiste mieux aux produits chimiques et aux agents corrosifs, absorbe moins d'eau et présente une plus grande stabilité aux cycles gel-dégel [2]. La connaissance du comportement de ces matériaux en statique ne suffit pas et son développement nécessite des informations complémentaires sur son comportement sous des charges importantes et sur de longues durées. Une connaissance précise du comportement en fluage devient essentielle. Dans ce domaine, les essais non destructifs comme les ultrasons et l'émission acoustique sont peu utilisés en fluage notamment en termes de prédiction de la rupture. Des travaux récents ont proposé une approche qui consiste à étudier la rupture à travers des phénomènes de transitions de phase en fluage [3-5]. Dans cette perspective Nechad et al [3] ont analysé l'évolution du taux de déformation et du taux de

l'émission acoustique en fluage dans les phases du fluage primaire et tertiaire, sur des matériaux composites à matrice polyester renforcée par des fibres de verre. Ils ont mis en place une relation entre le temps de transition primaire/secondaire correspondant au minimum du taux de déformation et le temps de rupture du matériau. Notre contribution se situe dans ce cadre avec comme objectif l'analyse par émission acoustique de l'endommagement et de la rupture de matériaux granulaires à base polymère sollicités en fluage, et la possibilité de prédire la rupture en fonction de l'évolution de l'activité acoustique au cours des essais de fluage.

2. Matériaux et dispositif expérimental

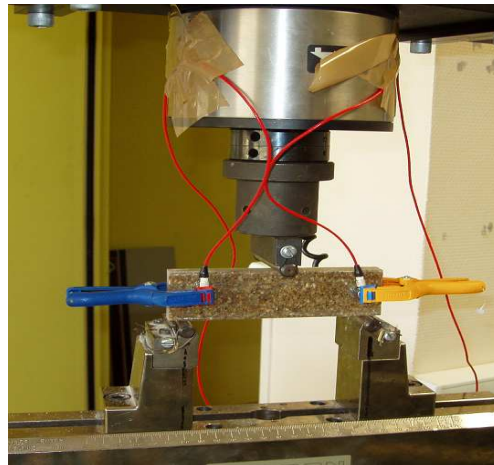


Fig. 1. Dispositif expérimental.

Le matériau utilisé dans ce travail est un matériau granulaire à base polymère type béton synthétique. Ce matériau est élaboré à partir d'une matrice polymère résine époxyde renforcée par des granulats et du sable. La mise en œuvre est réalisée au sein du laboratoire avec le dosage suivant : 40% de sable fin, 30% d'agréats et 30% de résine époxyde. Après un temps de polymérisation de quelques jours à température ambiante, les éprouvettes parallélépipédiques sont découpées à l'aide d'une tronçonneuse à disque diamanté, à partir d'une plaque de $250 \times 250 \text{ mm}^2$ de surface et de 15 mm d'épaisseur. Les dimensions des éprouvettes sont : $L = 160 \text{ mm}$, $l = 40 \text{ mm}$ et $b = 15 \text{ mm}$, où L , l et b sont respectivement la longueur, la largeur et l'épaisseur des éprouvettes. Les éprouvettes sont ensuite sollicitées en flexion 3-points avec une distance entre appuis prise égale à 120 mm. Les essais sont effectués sur une machine d'essais hydraulique universelle type INSTRON modèle 8516 de 100 kN de capacité, où le pilotage et l'acquisition se font par ordinateur (fig.1). Les essais de fluage d'une dizaine d'éprouvettes sont effectués avec une charge appliquée de 3000 N.

Le suivi de l'endommagement est réalisé à l'aide de la mesure d'émission acoustique. La figure 2 présente une vue d'ensemble du dispositif d'émission acoustique. Un système d'acquisition (EPA) comprenant 4 voies avec une fréquence d'échantillonnage de 5 MHz est utilisé. Ce système est composé d'une carte d'acquisition PCI reliée à un micro-ordinateur. Les signaux d'émission acoustique sont enregistrés par 4 capteurs différentiels piézoélectriques de type Micro-80, de bande passante 100 kHz – 1 MHz et de 10 mm de diamètre, positionnés sur les éprouvettes avec une graisse silicone. Ces signaux sont amplifiés par un préamplificateur avec un gain de 40 dB. Ils sont ensuite convertis par la carte PCI, qui les numérise et procède à l'extraction des paramètres d'émission acoustique. Les données issues des cartes sont transmises au micro-ordinateur, permettant l'affichage en temps-réel, le stockage et le post-traitement des données.

Un seuil de détection de 42 dB est utilisé pour détecter les temps d'arrivées et de fin des signaux d'EA. La distribution d'amplitude a pour intervalle 0-100 dB (0 dB correspond à 1 μV en sortie du transducteur). Le système d'acquisition est calibré avant chaque essai en utilisant la procédure de casser de mine (Nielsen, 1989) [6]. Ce test permet d'estimer la vitesse de propagation et l'atténuation des ondes acoustiques dans le matériau qui est de 3000 m/s.

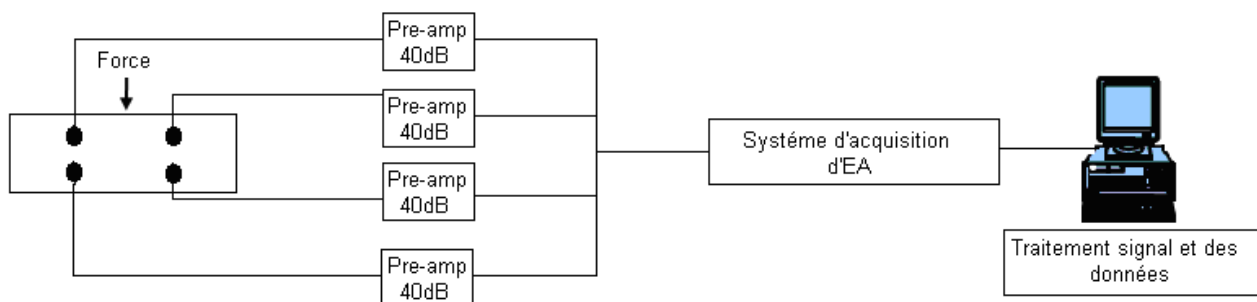


Fig. 2. Synoptique d'un système d'émission acoustique.

Plusieurs descripteurs temporels sont calculés par le système d'acquisition pour chaque salve d'EA (fig.3): l'amplitude maximale du signal, l'énergie, la durée, le nombre de coups (nombre de franchissements du seuil de détection par le signal sur toute sa durée), le temps de montée (temps qui sépare le premier dépassement de seuil et l'amplitude crête du signal), etc. La plupart de ces paramètres sont définis en fonction du choix du seuil de détection lors de l'acquisition, permettant de sélectionner les parties du signal ultrasonore correspondant à des salves d'émission acoustique. Ce seuil est généralement fixé à une valeur légèrement supérieure au bruit de fond. La classification des activités acoustiques collectées sont traitées par la méthode de la coalescence floue et par l'ACP. Cette classification est réalisée avec quatre paramètres : temps de montée, amplitude, durée, et fréquence moyenne.

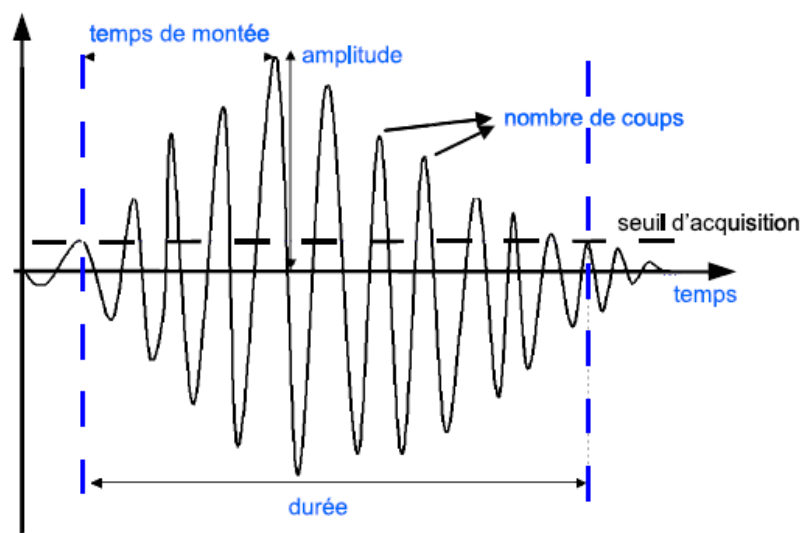


Fig. 3. Principaux paramètres mesurés sur une salve d'émission acoustique

3. Résultats et analyse

3.1 Résultats

L'activité d'émission acoustique collectée au cours d'un essai de fluage sur les éprouvettes a été étudiée dans un premier temps en termes d'amplitude et de nombre de signaux collectés en fonction du temps. Les figures 4 et 5 représentent l'amplitude des salves et le nombre de salves cumulées enregistrées en fonction du temps pour un essai de fluage.

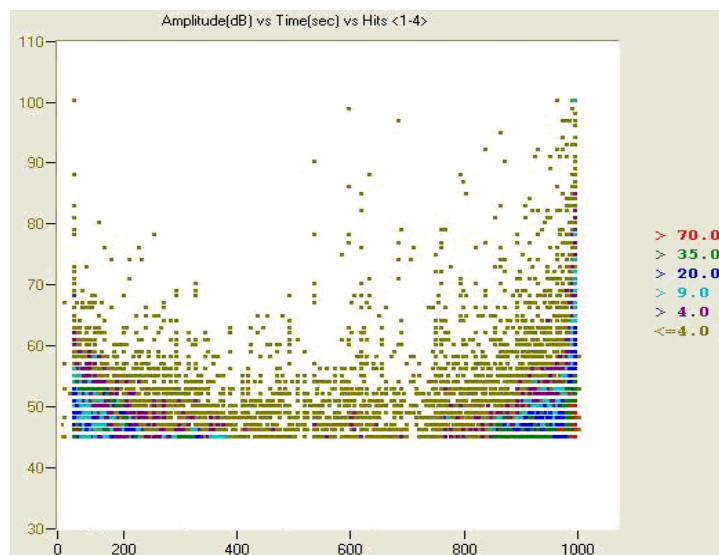


Fig. 4. Amplitude des salves en fonction du temps au cours d'un essai de fluage

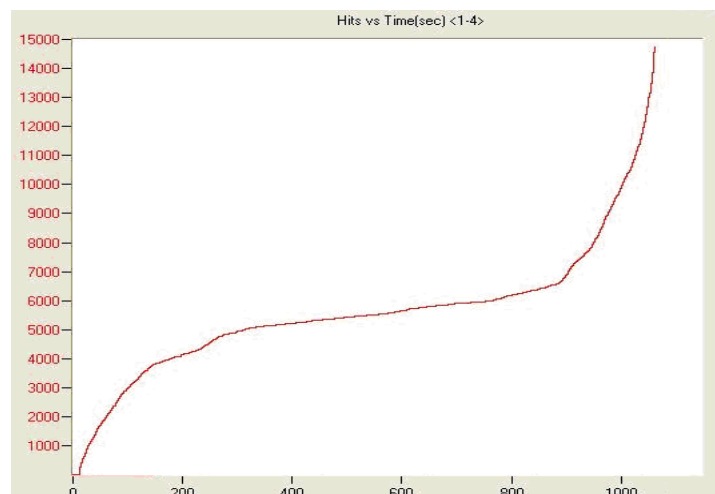


Fig. 5. Nombre de salves cumulées au cours d'un essai de fluage

Les résultats obtenus montrent que l'activité acoustique au cours des essais de fluage se déroule en 3 phases :

- dans la première phase, est observé une augmentation très importante de l'activité acoustique dès le début des essais qui correspond à une initiation et une multiplication des microfissures au sein de l'éprouvette, ces signaux ont une amplitude comprise entre 42 dB et 75dB.

- pendant la deuxième phase, l'activité acoustique est un peu faible, où les signaux ont une amplitude comprise entre 42 dB et 90 dB. Cette phase est due à la propagation des microfissures, et correspond à la quasi-totalité de la durée de vie de l'éprouvette.

- enfin dans la dernière phase, très courte, l'activité acoustique redevient très importante et très énergétique où l'amplitude atteint par fois les 100 dB. Cette phase correspond à la propagation rapide des microfissures générant ainsi une fissuration plus localisée entraînant la rupture de l'éprouvette. Cette phase engendre des signaux couvrant toutes les gammes d'amplitudes, correspondant visiblement à plusieurs mécanismes d'endommagement. L'étude de ces mécanismes d'endommagement et leur discrimination est menée par une analyse statistique multivariable et sera analysée dans le paragraphe 3.2.

La localisation de l'endommagement par émission acoustique est détectée en fonction de la position X et Y qui représentent les coordonnées respectivement suivant la longueur et la largeur de l'éprouvette. La figure 6 représente la localisation des signaux d'émission acoustique dans l'éprouvette au cours d'un essai de fluage. La plus part des événements sont localisés sur la surface entre les quatre capteurs jusqu'au moment de la rupture, où la majorité de ces signaux sont concentrés dans la zone de rupture. Il a été observé qu'au début du chargement, les événements d'émissions acoustiques apparaissent dans la zone tendue (face inférieure) et en face de la charge de l'éprouvette. Après cette période, une distribution plus dispersée des événements a été observée dans la longueur et la largeur de l'éprouvette au cours de l'essai jusqu'à la rupture.

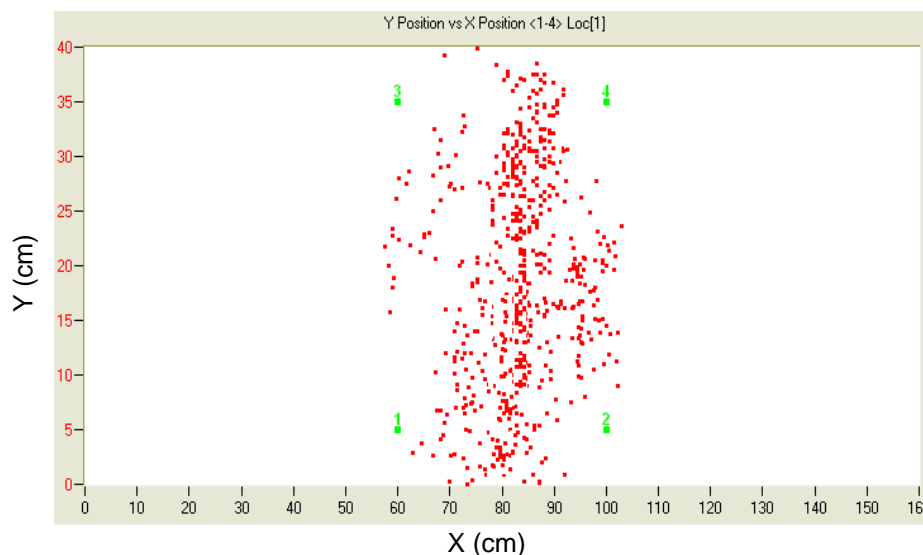


Fig. 6. Localisation de l'endommagement au cours d'un essai en fluage

3.2 Analyse statistique multivariable des données d'EA

Les méthodes d'analyse statistique multivariable permettent de définir les ressemblances ou les différences entre les données en prenant en compte n paramètres. Ces paramètres qui peuvent être temporels, fréquentiels ou temps-fréquence. Les données sont séparées en classes, chaque classe définissant un type d'endommagement. La méthode utilisée dans cette analyse est la méthode de coalescence floue [7,8] associée à une analyse en composante principale (ACP) [9-10].

- La méthode de coalescence floue (FCM) permet d'obtenir une classification non supervisée dans le cas de données multidimensionnelles. Cette méthode aussi appelée C-means floue est utilisée pour faire une classification en M classes, représentatives des M mécanismes d'endommagement dans le cadre de l'émission acoustique. Cette méthode utilise une partition floue de l'espace des données de telle sorte que chaque vecteur de forme x_j ($j=1, n$) peut appartenir à chacune des classes ω_i ($i=1, M$) avec différentes valeurs d'appartenance $u_i(x_j)$ comprises entre 0 et 1.
- l'analyse en composantes principales (ACP) est utilisée pour pouvoir améliorer la visualisation des résultats de la classification réalisée avec la méthode de coalescence floue. L'ACP permet de diminuer le nombre de dimensions et les données peuvent ainsi être visualisées dans un plan par exemple. Le but de cette approche est de trouver un ensemble de M vecteurs orthogonaux (vecteurs propres de la matrice de corrélation) dans l'espace de données qui prennent le mieux en compte la variance des données. On projette alors les données de leur espace à N dimensions vers le sous-espace à M dimensions défini par ces vecteurs et on procède alors à une réduction de dimension.

Ces méthodes ont été utilisées pour analyser les signaux acoustiques collectés au cours des essais de fluage et sont appliquées avec trois classes. Ils correspondent aux signatures acoustiques de trois types d'endommagement qui sont la fissuration matricielle de la résine, la décohésion interfaciale de l'agrégat et résine et la rupture des granulats. Les figures 7 et 8 présentent les distributions d'amplitude de chacune des classes et la chronologie d'apparition des trois types d'endommagement en fonction du temps au cours des essais de fluage. La première classe (classe A) correspond à la signature acoustique de la microfissuration matricielle. Les signaux de cette classe ont une amplitude comprise majoritairement entre 42dB et 60dB. La seconde classe (classe B) observée (8%) a une distribution d'amplitude comprise majoritairement entre 50dB et 90dB et correspond à la décohésion interfaciale granulats/résine. La troisième classe (classe C) moins de 2% des signaux d'EA, correspond à 95-100dB d'amplitude. Ce signal très énergétique apparaît en fin d'essai et correspond à la rupture des granulats.

La chronologie d'apparition des différents types d'endommagement (fig. 8) montre que les microfissurations matricielles sont les mécanismes d'endommagement les plus distingués durant les essais, la décohésion interfaciale qui commence dès le début des essais sont beaucoup moins importantes que les microfissurations matricielles. En fin d'essai, quelques ruptures de granulats apparaissent et conduisent à la rupture des matériaux.

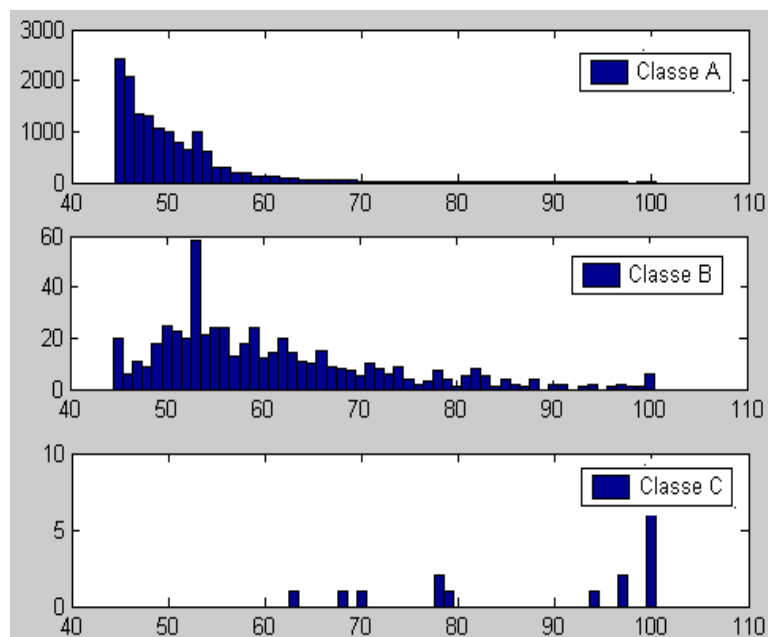


Fig. 7. Distribution d'amplitudes de chacune des classes

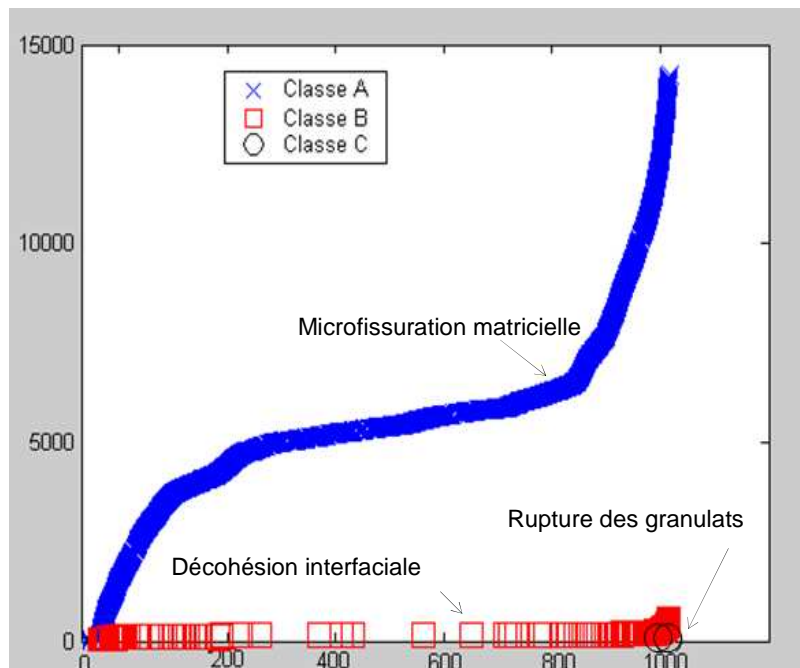
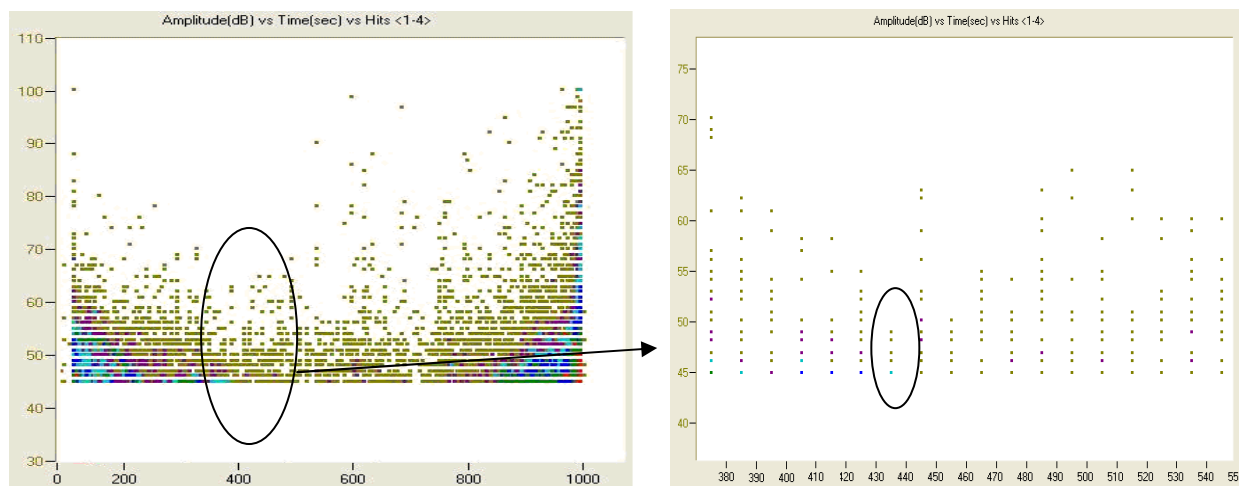


Fig. 8. Chronologie d'apparition de chacune des classes en fonction du temps

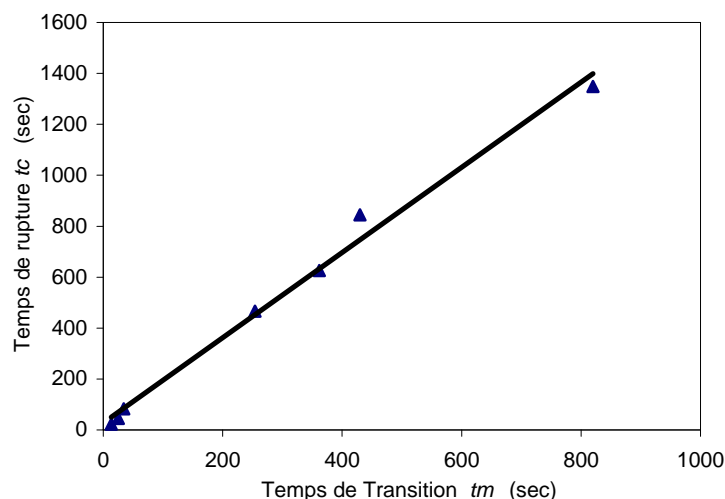
3.3 Corrélation entre fluage primaire et temps à rupture

En comparant la densité des salves émises par le matériau avec les différentes phases du fluage, nous avons constaté une relation entre ces deux phénomènes. Lors de nos essais, le temps de rupture relatif à chaque éprouvette varie considérablement, alors que la contrainte appliquée reste la même. Cela montre l'impossibilité de prévoir le temps de rupture du matériau en utilisant une relation empirique entre la contrainte appliquée et le temps de rupture. Cela nous a amené à chercher une corrélation entre les paramètres du fluage primaires et le temps de la rupture. Le résultat obtenu de cette recherche est montré sur la figure 9. La figure 9.a présente le temps de transition t_m correspondant au minimum des salves acoustiques et la figure 9.b donne la corrélation entre le temps de transition t_m et le temps de rupture t_c de l'éprouvette. L'expression de cette relation est donnée par :

$$t_c = 1,68t_m + 29,35 \quad (1)$$



a) Temps de transition primaire/secondaire

b) : Temps de rupture t_c en fonction du temps de transition primaire/secondaire t_m .Fig. 9. Corrélation entre la durée du fluage primaire t_m et le temps à rupture t_c .

Ainsi nous pouvons prévoir le temps de rupture en suivant l'évolution du taux des salves acoustiques durant le fluage primaire-secondaire et avant l'accélération de l'endommagement pendant le fluage tertiaire qui conduit à la rupture de l'éprouvette. Cette relation suggère une méthode originale pour l'estimation du temps de rupture t_c à partir du moment que le minimum t_m est repéré avec une bonne précision.

4. Conclusions

L'objectif de ce travail était d'analyser l'endommagement et la rupture des matériaux granulaires à base polymère sollicités en fluage en utilisant l'émission acoustique. Une analyse statistique multivariable des signaux collectés a été effectuée au cours des essais de fluage par une méthode de classification, composée de la méthode de coalescence floue et d'une ACP. Cette méthode nous a permis d'identifier trois classes correspondant aux signatures acoustiques de trois types d'endommagement (la fissuration matricielle, la décohésion interfaciale et la rupture des agrégats) et leur chronologie d'apparition pendant l'essai. Une assez bonne similitude entre les évolutions des taux d'EA pendant le fluage primaire et le fluage tertiaire au voisinage de la rupture a été constatée. Ce qui a permis la mise en place d'une corrélation entre certains paramètres des fluages primaire et tertiaire, notamment entre le temps à rupture t_c et le temps de transition fluage primaire/secondaire t_m . Ce résultat important montre les liens entre les deux phases et permet d'envisager un moyen de prédiction de la rupture du matériau.

Références

- [1] R.D. Browne, M. Adams, E.L. French, « Experience in the Use of Polymer Concrete in the Building and Construction Industry » . *Compte rendu du First International Congress on Polymers in Concrete*, Londres, 1975.
- [2] A. Blaga, J.J. Beaudoin, « Polymer Modified Concrete » . *Division of Building Research, National Research Council Canada*, Canadian Building Digest 241, Ottawa, 1985.
- [3] H. Nechad, A. Helmstetter, R. El Guerjouma, and D. Sornette, « Andrade and Critical Time-to-Failure Laws in Fibre-Matrix Composites: Experiments and Model » *Journal of the Mechanics and Physics of solids*, Vol. 53, pp. 1099–1127, 2005.
- [4] H. Nechad, « Evaluation de l'endommagement et de la rupture de matériaux hétérogènes par ultrasons et émission acoustique : Estimation de la durée de vie restante ». *Thèse de doctorat*. INSA de Lyon, 2004.
- [5] A. Politi, S. Ciliberto, R. Scorretti, « Failure time in the fibre-bundle model with thermal noise and disorder ». *Phys. Rev. E* 66 (2), 026107/1-6, 2002.
- [6] A. Nielsen, « Acoustic Emission Source based on Pencil Lead Breaking ». *The Danish Welding Institute Publication*, vol.80, pp.15, 1980.
- [7] J.C. Bezdek, « Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms » . *Plenum Press, New-York*, 1981.
- [8] I.T. Jolliffe, « Principal Component Analysis » . *Springer-Verlag*, 1986.
- [9] B. Dubuisson, « Diagnostic, intelligence artificielle et reconnaissance des formes ». Hermès Science Pub, 2001.
- [10] E. Oja, « Neural networks, principal components, and subspaces ». *International Journal of Neural Systems*, Vol.1, pp.61-68, 1989.