

## Fiabilité des accumulateurs hydropneumatiques

# La méthode du facteur de garantie appliquée aux enveloppes métalliques

Grâce à l'action combinée du Cetim, de la profession et des fiabilistes, les méthodes d'évaluation des enveloppes sous pression des accumulateurs hydropneumatiques ont été optimisées et la connaissance des produits a été améliorée.

► S'agissant de produits sous pression, ces accumulateurs sont soumis à la directive équipements sous pression (DESP 97/23/EC). Ils doivent respecter toutes les exigences essentielles de sécurité de cette directive en matière de conception, de fabrication, de contrôle et d'inspection. Les déclinaisons pour les différents produits se caractérisent par des normes harmonisées qui reprennent certaines dispositions de la directive telles que les matériaux, la conception (méthodes de calcul), la fabrication (procédés et contrôles), les inspections (étendues des contrôles, essais). Pour répondre totalement à ces exigences, il manquait une méthode expérimentale qui permette d'évaluer le niveau de fiabilité des accumulateurs.

### Fondements de la méthode

La directive a été assortie en 2002 de la norme EN 13 445 faite pour se substituer aux codes nationaux, donnant présomption de conformité à la directive et autorisant notamment à apposer le marquage CE. « Cette norme un peu particu-

lière qui contient tout ce qu'il faut pour construire un appareil à pression ne supprime cependant pas les codes, explique Alain Houssais, directeur produits Accumulateurs du groupe

Olaer. Ainsi pour concevoir un accumulateur et ceci jusqu'à une époque récente, le choix était soit de s'appuyer sur cette norme européenne, soit sur des codes nationaux mais re-

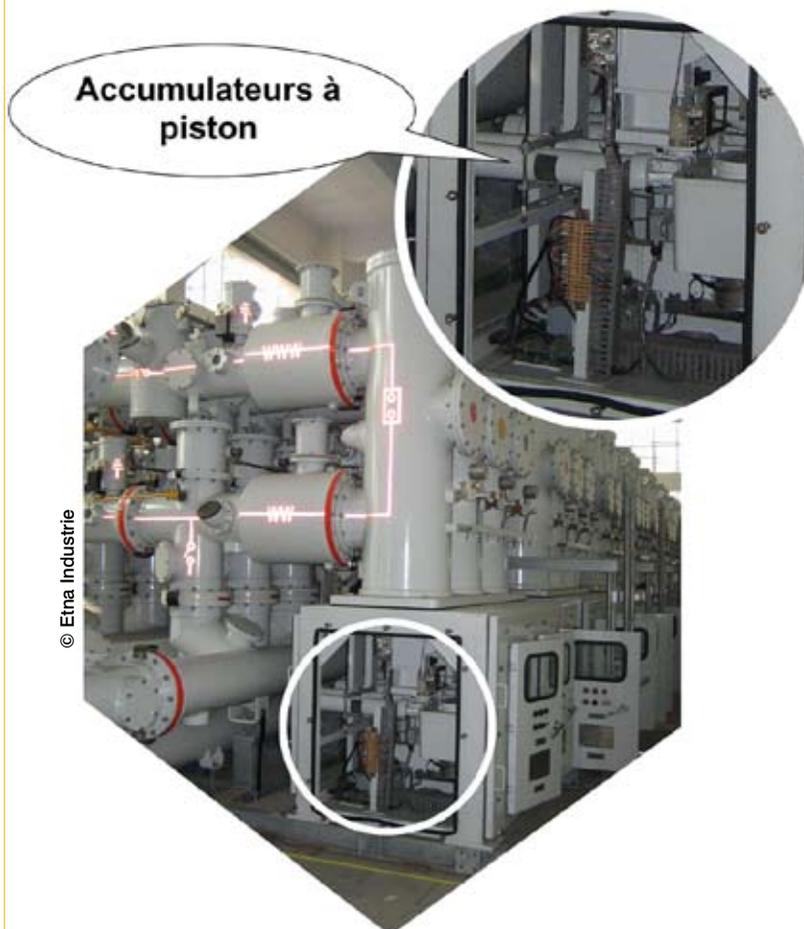
connus et enrichis des apports de la DESP ».

« Mais les concepteurs d'accumulateurs à pression européens, n'y trouvaient pas leur compte. La norme EN 13445 a été jugée trop générale ne prenant pas en compte les spécificités de nos produits. Il s'est donc créé un groupe de travail européen TC54/WG5 pour élaborer une norme harmonisée portant exclusivement sur les accumulateurs et qui deviendra l'EN 14359. Cette norme, qui a été travaillée longuement jusqu'à sa parution en 2006, constitue une présomption de conformité à la DESP pour les accumulateurs hydropneumatiques ». L'intérêt pour un client est d'avoir un accumulateur conçu et fabriqué dans l'Union européenne selon les mêmes critères de fiabilité.

A côté d'une première méthode qui consistait à tester dix accumulateurs sur deux niveaux de pression jusqu'à rupture, la norme a proposé une méthode alternative, dite du facteur de garantie, dont les préalables sont :

- la connaissance des modes de défaillances,
- l'identification de la loi de distribution de la résistance,
- et la dispersion associée.

Cette méthode d'évaluation



© Etna Industrie

Application dans une commande hydraulique de disjoncteur par Etna Industrie

des accumulateurs, basée sur des lois probabilistes de résistance et de contrainte, utilise les approches classiques de la fiabilité mécanique. « Les essais sur les produits ont été impulsés par des adhérents d'Artema et confiés au Cetim afin de démontrer que cette méthode pouvait s'appliquer aux accumulateurs hydro-pneumatiques. » précise Olivier Cloarec, conseiller technique d'Artema.

« Dans le projet de norme EN 14 359, nous nous étions occupés de la partie qualification en fatigue explique Pierre Bonnet de la société I-Comète, à l'époque en charge de la fiabilité en fatigue au Cetim. Notre objectif

a consisté à vérifier que la méthode du facteur de garantie qui consiste à réaliser des essais sur des pièces sans les amener à la rupture était applicable aux accumulateurs hydrauliques ». Le fondement historique de cette méthode du facteur de garantie, cas particulier de la méthode fiabiliste contrainte-résistance était bien connu. Cependant pour l'alimenter, il fallait identifier les modes de défaillance, la loi de distribution de la résistance et estimer le coefficient de variation associé à la production.

L'action principale a consisté en la réalisation d'une campagne d'essais conséquente (comprenant une centaine

d'accumulateurs) sur trois types d'enveloppes (corps forgés, corps usinés, corps soudés) différentes. Ces enveloppes ont été prélevées sur des séries industrielles auprès des fabricants impliqués. « Nous avons identifié les modes de défaillance, continue Pierre Bonnet. Ces essais ont permis, par une analyse statistique et probabiliste, de déterminer les niveaux de dispersion de ces accumulateurs. Ces niveaux de dispersion ont été estimés en deçà de 10 %. Ils correspondent à l'attendu d'un composant industriel de grande série et dont les modes de défaillance en fatigue doivent être maîtrisés ».

de serrage. Ces travaux ont également permis de mettre en évidence le fait que les process de fabrication étaient adaptés à la tenue d'objectif de fiabilité en utilisation.

En conclusion, cette méthode du facteur de garantie proposée dans la norme EN 14359 peut permettre aux constructeurs de démontrer les niveaux de fiabilité avancés.

Elle a été publiée en octobre 2006 et, un guide FD E 48-155 s'en est suivi, publié en avril 2008, qui permet aux bureaux d'études de s'approprier la norme. L'approche fiabiliste de l'EN 14359 permet d'envisager son passage futur en norme ISO.

## Accumulateurs hydropneumatiques Olaer pour applications hydrauliques

La gamme EHV 10 à 60L 330 Bar  
certifiée EN 14359 : 2006.



© Olaer

dimensionnements dynamiques à l'aide de modélisations numériques, calculs et tests de fiabilité des enveloppes forgées démontrant ainsi la robustesse de celles-ci.

Exemple : Pour un accumulateur à vessie EHV 20 Litres, une fiabilité de 99,9% est démontrée à 2 millions de cycles et un  $\Delta P = 200$  Bar. Selon la norme, deux millions de cycles correspondent à une durée de vie infinie.

Cette procédure de certification permet à Olaer de proposer à ses clients une nouvelle gamme de produits avec un niveau d'exigence en matière de fiabilité à hauteur de celui requis par les standards européens d'aujourd'hui.

En suivant cette démarche, Olaer confirme son expertise en matière de fiabilité des enveloppes sous pression et son statut de choix professionnel.

Olaer s'est très tôt investi dans les travaux relatifs à la norme EN 14359 : 2006 en assurant la présidence du groupe de travail européen. Au-delà des aspects déjà couverts par la DESP (description générale de l'accumulateur à vessie et de son fonctionnement, analyse de risque, calcul statistique...), les domaines clés des exigences de la norme EN ont fait l'objet de travaux complémentaires :

## « La méthode du facteur de garantie permet de démontrer les niveaux de fiabilité avancés »

Ces études ont été menées de façon collégiale. Les échantillons ont été testés afin d'obtenir les courbes de résistance en fatigue. « Le groupe de travail du Cetim a grandement participé à l'élaboration de la norme EN 14 359, tant sur la vérification des formules que sur la proposition de nouvelles formules adaptées au cas particulier des accumulateurs, toutes technologies confondues, rappelle Roland Lauroz, responsable R&D d'Etna Industrie, correspondant industriel du groupe de travail du Cetim. En outre, de nombreuses enveloppes métalliques d'accumulateurs ont été fournies afin d'alimenter en données d'entrées cette méthode du facteur de garantie ».

Les travaux menés ont permis aux constructeurs d'identifier les paramètres du couple matériaux-process influents sur la tenue en fatigue. Ces paramètres sont notamment et non exclusivement, l'état du surface, le process de soudage, la dispersion sur les couples

## Principes de la méthode

Cette méthode est un cas particulier de la méthode contrainte – résistance [1][2]. Sa mise en œuvre nécessite que soient connus les modes de défaillance et le coefficient de variation de la résistance en fatigue (CVM).

Dans ce strict cas, son application se réduit à la vérification du facteur de garantie S existant entre la résistance moyenne en fatigue de l'accumulateur à  $2 \cdot 10^6$  cycles ( $\Delta PM$ ) et un niveau de pression cyclique à amplitude constante ( $\Delta PE$ ). (cf. figure 1, page 23).

La mise en œuvre de la méthode se fait en deux temps :

• **Calcul théorique** de facteur de garantie

$$S = \frac{\Delta PM}{\Delta PE}$$

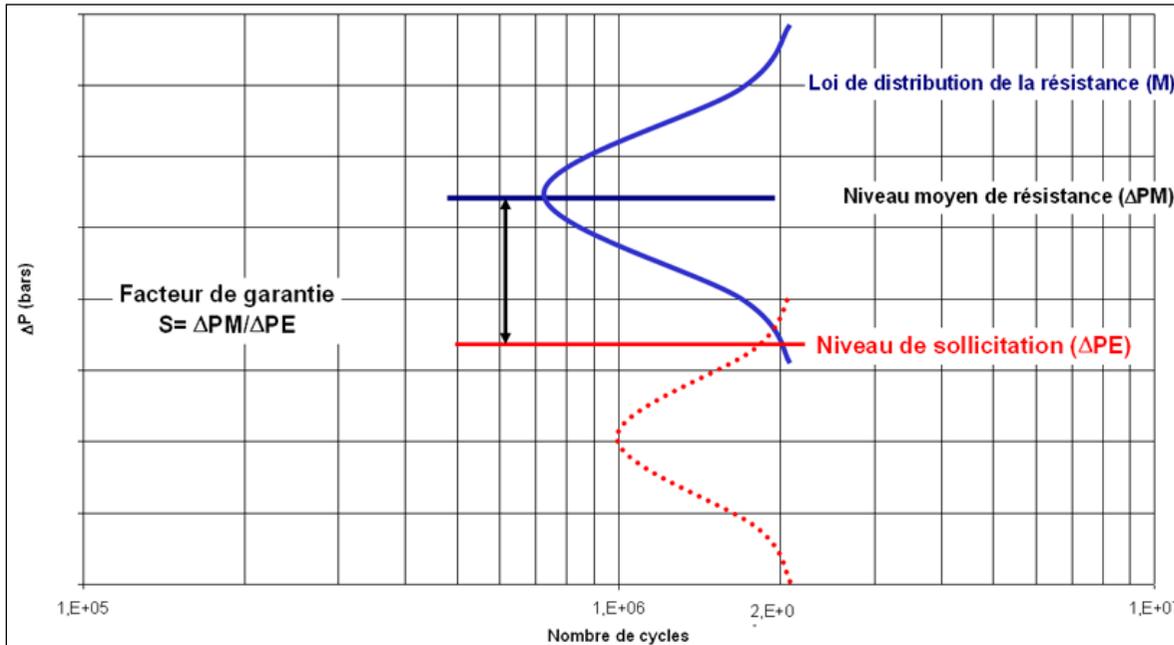


Figure 1 Illustration de la méthode du facteur de garantie appliquée aux accumulateurs

nécessaire à l'obtention du niveau de fiabilité requis R. Lorsque la résistance en fatigue des accumulateurs est faiblement dispersée ( $CVM \leq 10\%$ ) et qu'elle peut être représentée par une loi Log-normale, S est donné par l'équation

$$\text{Log } S \approx CVM \cdot \left( \beta + \frac{1}{2} CVM \right)$$

$\beta$  est l'indice de fiabilité. Sa valeur est fonction de l'objectif de fiabilité R (Tab. 1).

R	$\beta$
0,999	3,09
0,9999	3,72
0,99999	4,26
0,999999	4,75

Tab.1 : Indice de fiabilité

• **Vérification expérimentale** du facteur de garantie S, en réalisant n essais de pression cyclique jusqu'à  $2 \cdot 10^6$  cycles, sans qu'aucune défaillance ne soit enregistrée. Toujours dans l'hypothèse d'une loi de distribution Log-normale de la résistance, le niveau de pression  $\Delta P_{\text{test}}$  auquel doivent être effectués les essais est donné par l'équation

$$\Delta P_{\text{Test}} = \frac{S}{e^{-a' \cdot \sqrt{\frac{\text{Log}(1+CVM^2)}{n}}}} \cdot \Delta PE$$

$a'$  est l'indice de confiance (ou facteur de probabilité). Sa valeur est fonction du niveau de confiance qu'il est souhaitable d'allouer aux résultats d'essais obtenus sur

un faible échantillon de taille n (Tab.2).

Niv. de confiance	$a'$
0,90	1,28
0,95	1,64
0,975	1,96

Tab.2 : Indice de confiance

Les lecteurs désirant approfondir ces notions pourront consulter les ouvrages suivants :

- [1] Cl.Marcovici, J.CL.Ligeron : *Utilisation des techniques de Fiabilité en Mécanique – Technique & Document* - Paris
- [2] H.Procaccia, P.Morilhat : *Fiabilité des structures des installations industrielles. Théorie et applications de la mécanique probabiliste*. Collection Deref – Eyrolles - Paris

## Les industriels de la Mécatronique

ARTEMA est le syndicat des Industriels de la Mécatronique. Il rassemble quelque 120 entreprises, fournisseurs de composants, de solutions, et de systèmes dans les domaines de l'étanchéité, des transmissions hydrauliques, mécaniques et pneumatiques, des roulements et guidages li-

néaires et de la Mécatronique. ARTEMA, c'est 4,3 milliards de chiffre de production, 28.200 salariés dédiés, 80% de la production nationale. ARTEMA est membre de la FIM (Fédération des Industries Mécaniques) et des comités européens CETOP, EUROTRANS et FEBMA