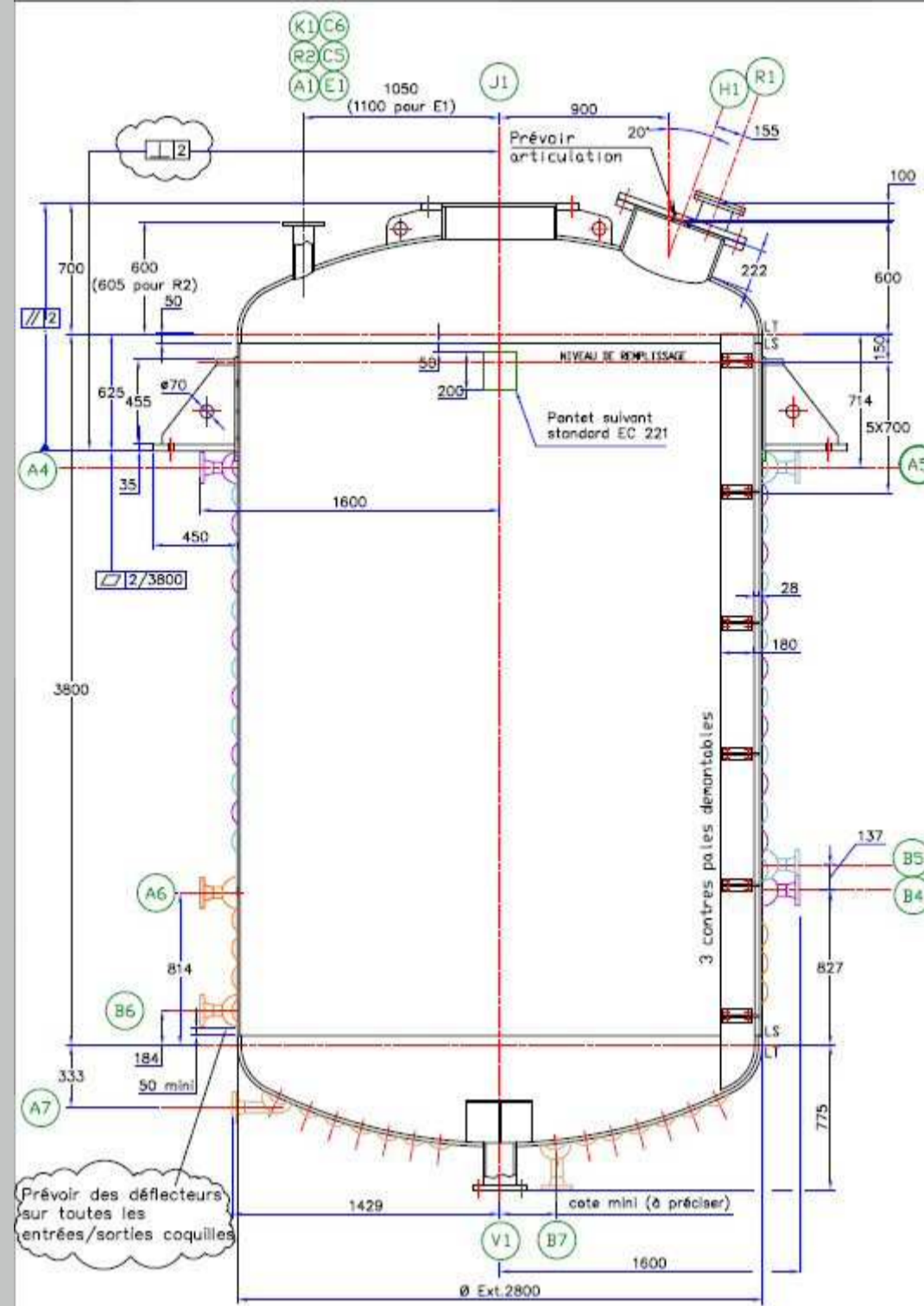


# Etude thermomécanique d'un réacteur



## Introduction

AtEcal rencontre un problème avec l'un de ses appareils charronnés, le réacteur K515. En effet, durant son cycle de fonctionnement l'appareil subit des phases de variations de température et de pression à l'intérieur de la virole et à l'intérieur des demi-coquilles. Ces différences de températures subies par le réacteur créent des contraintes thermomécaniques importantes s'exerçant au niveau de l'interface virole/demi-coquille qui entraînent des déformations importantes du matériau pouvant conduire au décollement des coquilles.



Les calculs réalisés par AtEcal ne comprenant pas les sollicitations thermomécaniques de la jonction virole/demi-coquille, il s'agira ici d'effectuer une analyse détaillée de la résistance à la fatigue de l'appareil afin de déterminer sa durée de vie.

## Profil d'utilisation

### PROFILS D'UTILISATION DU K515 Avec les amplitudes de P + T maxi

- à t=0 : réacteur vide; température interne = 50°C ; P interne = 1.03 bar abs, agitation à l'arrêt ; coquilles vides
- à t=10mn : charge = 8 T ; température interne = 50°C ; P interne = 1.03 bar ; coquilles fond +coquilles viroles (1) et (2) en vap ; agitation en marche.
- à t= 30mn : charge = 25 T ; température interne = 70°C ; P interne = 1.03 bar, coquilles fond +coquilles viroles (1) et (2) en vap ; agitation en marche.
- à t= 75 mn : décompression vapeur des coquilles fond +coquilles viroles (1) et (2) à l'atmosphère, puis remplissage en eau des coquilles du fond ; coquilles viroles (1) et (2) restent vides.
- à t= 80 mn : charge = 25 T ; température interne = 115°C ; P interne = 1.03 bar, coquilles fond en eau; coquilles viroles (1) et (2) vides / inutilisées ; agitation en marche.
- à t= 155 mn : charge = 25 T ; température interne (max) = 155°C ; P interne = 1.03 bar, coquilles fond en eau ; coquilles viroles (1) + (2) vides / inutilisées ; agitation en marche.  
Pour une des gammes de produit, mise en eau des coquilles de la virole (1) en plus des coquilles du fond ; coquilles virole (2) restent vides / inutilisées
- de t = 155 à 215 mn : mise sous vide progressive, profil linéaire à température interne (max) = 155°C
- à t= 215 mn : charge = 25 T ; température interne = 155°C ; P interne = 0,05 bar abs, coquilles fond en eau ; coquilles viroles (1) + (2) vides / inutilisées ; agitation en marche.  
Pour une des gammes de produit, les coquilles de la virole (1) sont en eau en plus des coquilles du fond ; coquilles viroles (2) restent vides / inutilisées
- à t= 220mn : remplissage coquilles virole (1) et (2) en eau de refroidissement. Injection azote dans le réacteur pour revenir à P = 1.03 bar abs. [remplissage des coquilles de la virole (2) en eau de refroidissement si celles de virole (1) le sont déjà]
- à t= 225mn : charge = 25 T ; température interne = 155°C ; P interne = 1.03 bar abs, toutes coquilles en eau à débit maxi (t° entrée = 15°C; t° sortie = 60°C)
- à t= 275 mn : charge = 25 T ; température interne = 80°C ; P interne = 1.03 bar abs, toutes coquilles en eau à débit maxi (t° entrée = 15°C; t° sortie = 50°C)
- à t= 295 mn : charge = 0 T ; température interne = 50°C ; P interne = 1.03 bar abs, toutes coquilles vidangées ; agitation à l'arrêt.  
Reprise du cycle à t=0.

## Analyse simplifiée

L'analyse simplifiée est l'étude en fatigue telle qu'elle est réalisée chez AtEcal. Elle prend en compte uniquement les sollicitations de pression.

Variation de pression  $\Delta P = 0.8$  MPa  
Pression max  $P_{max} = 0.8$  MPa  
Module de Young  $E = 189900$  MPa

### Règle de calcul de la défaillance par fissuration par fatigue

- 1) Condition à vérifier :  $n_1 + n_2 + n_3 + n_4 < N_{adm}$
- 2) Nombre pondéré  $n_1$  de cycles de variation de pression

$$n_1 = \sum n_{1i} * x_{1i}$$

$$x_{1i} = \left( \frac{k * \Delta P_i}{P_{max}} \right)^3$$

- 3) Nombre pondéré  $n_2$  de cycles de variation de la différence de température caractéristique d'un gradient thermique entre 2 points voisins:  $n_2 = 0$
- 4) Nombre pondéré  $n_3$  de cycles de variation de la température de calcul d'une zone d'appareil comportant des éléments soudés en matériaux de coefficients de dilatation différents:  $n_3 = 0$
- 5) Nombre pondéré  $n_4$  de cycles de variation des sollicitations mécaniques autres que la pression:  $n_4 = 0$

$$6) \text{ Nombre de cycle admissible } N_{adm} = 2e6 * \left( \frac{C * C_t * C_e}{3 * f} \right)^3 = 1690$$

Assemblage bout à bout ou en angle à pleine pénétration, exécuté d'un seul côté sans support:  $C=63$

$C_t = 0.963$        $C_e = 1$        $f = 214$  MPa

Le nombre de cycles admissibles sur la durée de vie de l'appareil est de 1690

## Analyse détaillée de la résistance à la fatigue

Le principe de cette analyse repose sur le fait que, contrairement à l'analyse simplifiée, les effets de toutes les sollicitations appliquées à l'appareil sont pris en compte. L'analyse détaillée de la résistance à la fatigue procède d'approches différentes, selon qu'elle concerne une zone soudée ou une zone sans soudure. Les différences portent sur le ou les types de contraintes à prendre en compte, les courbes de fatigue applicables ainsi que les corrections de résistance qui s'y rattachent.

### Processus d'analyse détaillée de la résistance à la fatigue

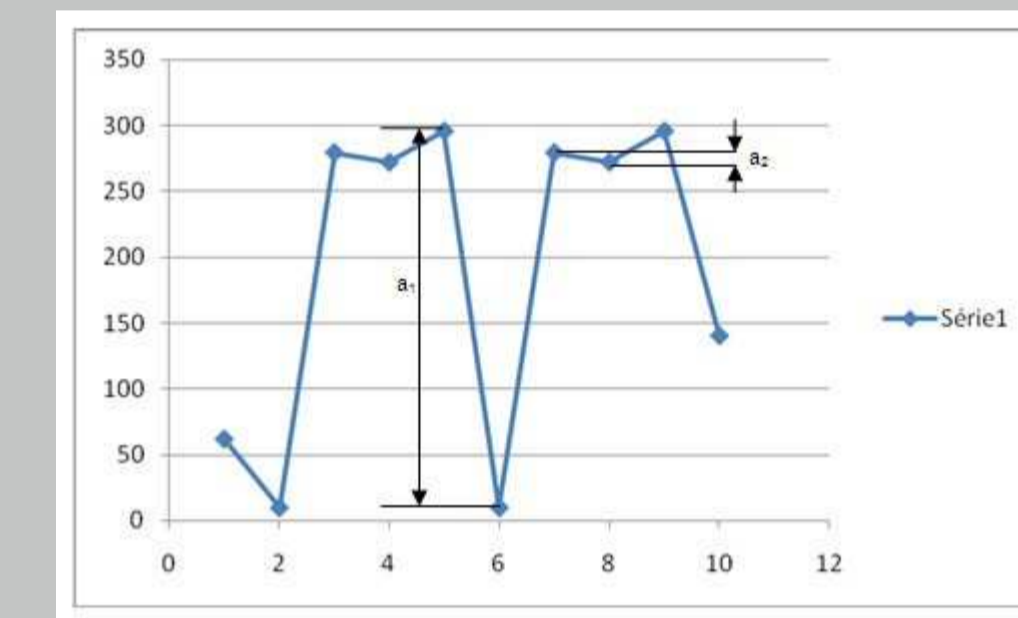
1) Etablir les sollicitations appliquées à l'appareil durant la totalité de sa durée de vie prévue: Pression et température

2) Identifier les zones d'appareils susceptibles d'être concernées par le risque de défaillance par fatigue, et les points potentiellement critiques:  
Zone soudée d'un assemblage par soudure à pleine pénétration. Les contraintes à prendre en compte sont les contraintes géométriques, déterminées selon les hypothèses de l'élasticité linéaire.

3) Déterminer, au moyen d'une analyse de contraintes appropriée, les contraintes engendrées par chaque sollicitation:  
La détermination des contraintes géométriques se fait par extrapolation des contraintes qui s'exercent à distance du point étudié. La zone d'influence d'une discontinuité étant de l'ordre de 0.4 fois l'épaisseur de la paroi, l'extrapolation doit être faite en ne considérant que les contraintes s'exerçant à une distance de la discontinuité supérieure ou égale à cette valeur. Une extrapolation quadratique, à partir des contraintes connues en trois points placés à des distances de 0.4e, 0.9e et 1.4e du point critique est recommandée. Avec de tels points, la valeur extrapolée  $\sigma_{P_0}$  au point potentiellement critique  $P_0$  est donnée par la formule:

$$\sigma_{P_0} = 2.52\sigma_{P_1} - 2.24\sigma_{P_2} + 0.72\sigma_{P_3}$$

4) Déterminer le nombre d'occurrences et les caractéristiques des différents cycles élémentaires d'endommagement résultant des variations des sollicitations appliquées.



$$a_1 = 285.4 \text{ MPa}$$

$$a_2 = 7.3 \text{ MPa}$$

Calcul, pour chaque différence des contraintes principales  $d_{ij}$ , du paramètre d'endommagement  $D_{ij}$  correspondant aux cycles élémentaires obtenus:

$$D_{ij} = \sum_k \left( \frac{n_k}{N_k} \right)_{ij}$$

où  $n_k$  est le nombre d'occurrences des différents cycles élémentaires, d'étendues  $\Delta\sigma_k$ , et  $N_k$  est le nombre de cycles admissibles pour les différentes étendues de contrainte  $\Delta\sigma_k$ .

Les cycles élémentaires d'endommagement à retenir sont ceux encourus par la différence des contraintes principales, notée  $d_{UV}$ , qui conduit à celui des trois paramètres d'endommagement  $D_{ij}$  dont la valeur est la plus grande.

- cycle 1       $\Delta\sigma = 285.4$  MPa
- cycle 2       $\Delta\sigma = 7.3$  MPa

5) Apporter les corrections qui s'imposent aux caractéristiques des cycles élémentaires d'endommagement obtenus à l'issue de l'étape 4:

Les caractéristiques des cycles élémentaires d'endommagement déterminés à l'étape 4 sont établies sur la base d'un comportement supposé élastique du matériau, ces cycles résultant de l'analyse des variations de contraintes calculées selon les hypothèses de l'élasticité linéaire. Lorsqu'il existe parmi ces cycles des cycles dont les étendues de contrainte sont telles qu'ils produisent des déformation élasto-plastiques, des corrections de plasticité doivent être apportées aux caractéristiques de l'ensemble des cycles encourus. Ce n'est pas le cas dans le cas présent.

6) Sélectionner la courbe de fatigue à prendre en compte sur la base de la classe de résistance à la fatigue à considérer:

$$C = 63 \quad C_1 = 5,00 \cdot 10^{11} \text{ MPa}^3 \quad C_2 = 1,08 \cdot 10^{15} \text{ MPa}^3$$

$$\Delta\sigma_D = 46.4 \text{ MPa (Limite d'endurance)} \quad \Delta\sigma_C = 25.5 \text{ MPa (Limite de troncature)}$$

7) Déterminer les coefficients de corrections de la résistance à la fatigue à prendre en compte dans les calculs pour chaque type de cycle que comporte le spectre de calcul. En déduire le coefficient global de correction de la résistance à la fatigue applicable:

\*Coefficient de correction de température  $C_t = 1.043 - 4,3 \cdot 10^{-4} t^*$

$$C_{t1} = 0.981725 \quad C_{t2} = 0.9908625$$

\*Coefficient de correction d'épaisseur  $C_e = 1$  pour  $e < 25$  mm

\*Coefficient de correction global de résistance à la fatigue  $C_r = C_t \cdot C_e$

$$C_{r1} = 0.981725 \quad C_{r2} = 0.9908625$$

8) Calculer le nombre de cycles admissibles pour chaque type de cycle que comporte le spectre de calcul, puis vérifier l'admissibilité des sollicitations à l'origine de l'ensemble de ce spectre.

$$\text{cycle 1: } \Delta\sigma^{**} = 285.4 \text{ MPa} > C_r \cdot \Delta\sigma_D = 45.55 \text{ MPa}$$

$$N_{adm} = \frac{C_1}{\left( \frac{\Delta\sigma^{**}}{C_r} \right)^3} = 20351 \text{ cycles}$$

$$\text{cycle 2: } \Delta\sigma^{**} = 7.3 \text{ MPa} < C_r \cdot \Delta\sigma_C = 25.27 \text{ MPa}$$

Les cycles qui satisfont cette condition ne sont pas à prendre en compte.

En combinant ces deux cycles pour obtenir le cycle de fonctionnement complet de l'appareil avec la formule:

$$\frac{N}{N_1} + \frac{N}{N_2} = 1$$

on obtient finalement  $N_{adm} = 20\,351$  cycles.