



## Conseil économique et social

Distr. générale  
4 janvier 2011  
Français  
Original: anglais

### Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

#### Groupe de travail des transports de marchandises dangereuses

Réunion commune de la Commission d'experts du RID et  
du Groupe de travail des transports de marchandises dangereuses

Berne, 21-25 mars 2011

Point 2 de l'ordre du jour provisoire

Citernes

### Chapitre 6.8 Catégorie des aciers austénitiques inoxydables

#### Communication du Gouvernement suédois<sup>1, 2</sup>

##### *Résumé*

**Résumé analytique:** Il est proposé ici de définir dans le 6.8.2.1.19 une catégorie distincte pour les aciers austénitiques inoxydables et de modifier dans ce même paragraphe l'épaisseur minimale autorisée pour les réservoirs construits avec ces aciers.

**Mesure à prendre:** Modifier le texte du 6.8.2.1.19 et établir une nouvelle disposition pour les aciers austénitiques inoxydables.

**Documents de référence:** Aucun.

<sup>1</sup> Conformément au programme de travail du Comité des transports intérieurs pour la période 2010-2014 (ECE/TRANS/208, par. 106 et ECE/TRANS/2010/8, activité 02.7 c)).

<sup>2</sup> Diffusée par l'Organisation intergouvernementale pour les transports internationaux ferroviaires sous la cote OTIF/RID/RC/2011/17.

## Introduction

1. L'épaisseur minimale des réservoirs des citernes à basse pression est définie dans les sections 6.8.2.1.17 à 6.8.2.1.22 de l'ADR.
2. L'épaisseur équivalente peut être réduite lorsque la citerne est protégée contre l'endommagement dû à un choc latéral ou à un renversement. Le tableau du 6.8.2.1.19 indique l'épaisseur minimale des réservoirs pour les quatre groupes de matériaux existants lorsque la citerne est protégée contre l'endommagement. Les quatre groupes de matériaux sont mentionnés dans le tableau 1 avec les épaisseurs minimales correspondantes.

Tableau 1  
**Épaisseur minimale des réservoirs selon le 6.8.2.1.19**

<i>Diamètre du réservoir</i>		$\leq 1,80 \text{ m}$	$> 1,80 \text{ m}$
<i>Épaisseur minimale du réservoir</i>	Aciers austénitiques inoxydables	2,5 mm	3 mm
	Autres aciers	3 mm	4 mm
	Alliages d'aluminium	4 mm	5 mm
	Aluminium pur à 99,80 %	6 mm	8 mm

3. Les aciers austénitiques inoxydables (également couramment appelés aciers Duplex) appartiennent au deuxième groupe (autres aciers) et sont donc aussi traités comme des aciers doux.
4. Le classement par catégorie est cependant imprécis et ne rend pas compte des propriétés des aciers austénitiques-ferritiques. Le potentiel qu'offrent ces derniers ne peut donc pas être exploité et les constructeurs de citernes ont de ce fait des difficultés pour trouver des solutions d'un bon rapport coût-efficacité.
5. Il est donc suggéré d'ajouter dans le tableau un cinquième groupe qui comprendrait les aciers austénitiques-ferritiques inoxydables tels qu'ils sont définis par la norme EN 10028-7. Les propriétés minimales de ces aciers austénitiques-ferritiques sont résumées dans le tableau 2.
6. En outre, il est suggéré d'adopter pour les aciers austénitiques-ferritiques inoxydables la même épaisseur minimale que pour les aciers austénitiques inoxydables. Cette proposition est examinée en détail dans la section «Justification» figurant plus bas.
7. L'équation figurant dans le 6.8.2.1.18 permet de calculer l'épaisseur minimale des réservoirs pour les citernes non protégées contre l'endommagement. Le 6.8.2.1.19 précise comment la formule peut être adaptée lorsque la protection contre l'endommagement est assurée, ce qui donne  $e_0 = 4 \text{ mm}$  pour les citernes à diamètre  $> 1,8 \text{ m}$ , et  $e_0 = 3 \text{ mm}$  pour les citernes à diamètre  $\leq 1,8 \text{ m}$ .

$$e_1 = \frac{464e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1}A_1)^2}} \quad (\text{Équation figurant dans le 6.8.2.1.18})$$

dans  
laquelle:

- $e_1$  = épaisseur minimale du réservoir en mm pour le métal choisi;
- $e_0$  = épaisseur minimale du réservoir en mm pour l'acier doux selon les 6.8.2.1.18 et 6.8.2.1.19;

$R_{m1}$  = limite minimale de résistance à la rupture par traction du métal choisi, en N/mm<sup>2</sup>;

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

8. Les calculs sont effectués à la fois pour les citernes qui ne sont pas protégées contre l'endommagement et pour celles qui le sont. Les valeurs calculées pour tous les aciers austénitiques-ferritiques inoxydables énumérés dans la norme EN 10028-7 et les valeurs calculées pour les applications faisant appel essentiellement aux aciers austénitiques inoxydables sont indiquées dans le tableau 3.

Tableau 2

**Valeurs minimales selon la norme EN 10028-7**

<i>Nuance</i>	<i><math>R_m</math> = limite de résistance à la rupture par traction [MPa]</i>	<i>Allongement [%]</i>	<i>Type d'acier</i>
1.4362	650	20	Austénitique-ferritique
1.4462	700	20	Austénitique-ferritique
1.4507	690	20	Austénitique-ferritique
1.4410	750	30	Austénitique-ferritique
1.4501	730	25	Austénitique-ferritique
1.4404	530	40	Austénitique
1.4401	530	40	Austénitique
1.4307	520	45	Austénitique

Tableau 3

**Calcul de l'épaisseur des réservoirs selon les 6.8.2.1.18 et 6.8.2.1.19**

*Calcul effectué avec l'équation du 6.8.2.1.18 sans protection de la citerne contre l'endommagement*

<i>Nuance</i>	<i>Diamètre du réservoir: &gt; 1,8 m</i>	<i>Diamètre du réservoir: ≤ 1,8 m</i>
	<i>Épaisseur minimale du réservoir en mm pour le métal choisi, avec <math>e_0 = 6</math> mm</i>	<i>Épaisseur minimale du réservoir en mm pour le métal choisi, avec <math>e_0 = 5</math> mm</i>
Austénitiques-ferritiques		
1.4362	5,04	4,2
1.4462	4,8	3,99
1.4507	4,84	4,03
1.4410	4,58	3,81
1.4501	4,02	3,35
Austénitiques		
1.4404	3,63	3,03
1.4401	3,63	3,03
1.4301	3,32	2,77

Calcul effectué avec l'équation du 6.8.2.1.18, la citerne étant protégée contre l'endommagement

Nuance	Diamètre du réservoir: > 1,8 m		Diamètre du réservoir: ≤ 1,8 m	
	Épaisseur minimale du réservoir en mm pour le métal choisi, avec $e_0 = 4$ mm	Épaisseur minimale autorisée en mm selon le 6.8.2.1.19 de l'ADR	Épaisseur minimale du réservoir en mm pour le métal choisi, avec $e_0 = 3$ mm	Épaisseur minimale autorisée en mm selon le 6.8.2.1.19 de l'ADR
Austénitiques-ferritiques				
1.4362	3,36	4	2,52	3
1.4462	3,2	4	2,4	3
1.4507	3,23	4	2,42	3
1.4410	3,05	4	2,29	3
1.4501	2,68	4	2,01	3
Austénitiques				
1.4404	2,42	3	1,82	2,5
1.4401	2,42	3	1,82	2,5
1.4301	2,21	3	1,66	2,5

9. Le tableau 3 montre que les valeurs de l'épaisseur minimale obtenues pour les aciers austénitiques-ferritiques inoxydables sont (légèrement) supérieures à celles obtenues pour les aciers austénitiques lorsque les calculs sont effectués selon le 6.8.2.1.18. La même chose se produit lorsque les calculs sont effectués selon le 6.8.2.1.19. En revanche, les valeurs de l'épaisseur minimale obtenues pour les aciers austénitiques-ferritiques sont plus faibles que celles de 3 mm et 4 mm obtenues respectivement pour des réservoirs de diamètre ≤ 1,8 m et pour des réservoirs de diamètre > 1,8 m lorsque les calculs sont effectués selon le 6.8.2.1.19. Par conséquent, les épaisseurs minimales des réservoirs en aciers austénitiques-ferritiques peuvent être plus faibles, c'est-à-dire réduites aux valeurs calculées ou aux deux épaisseurs minimales proposées de 3 mm et 2,5 mm pour les diamètres > 1,8 et ≤ 1,8 respectivement.

## Proposition

10. Il est proposé d'ajouter une cinquième catégorie dans le tableau du 6.8.2.1.19 et d'adopter pour les aciers austénitiques-ferritiques inoxydables les mêmes valeurs que pour les aciers austénitiques inoxydables, comme indiqué dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4

### Modifications proposées pour le tableau du 6.8.2.1.19

		Diamètre du réservoir	
		≤ 1,80 m	> 1,80 m
Épaisseur minimale du réservoir	Aciers austénitiques inoxydables	2,5 mm	3 mm
	<b>Aciers austénitiques-ferritiques inoxydables</b>	<b>2,5 mm</b>	<b>3 mm</b>
	Autres aciers	3 mm	4 mm
	Alliages d'aluminium	4 mm	5 mm
	Aluminium pur à 99,80 %	6 mm	8 mm

11. Ces propositions ne s'appliquent pas aux récipients à forte pression. L'épaisseur de ces récipients est donnée par la formule classique à appliquer à ceux-ci et les aciers

austénitiques-ferritiques doivent être rangés dans la catégorie «autres aciers», ce qui est conforme aux normes pour récipients à pression, notamment la norme EN 13445 et la section VIII du Code d'essai des chaudières et cuves sous pression de l'American Society of Mechanical Engineers.

## Justification

### 1. Raisonnement à la base des propositions de modification quant aux épaisseurs minimales des réservoirs en aciers austénitiques-ferritiques inoxydables

#### Comportement de la courbe contrainte/déformation

12. Toute collision endommage une structure, mais à un niveau qui dépend de différents facteurs. Un facteur influant sur la gravité d'une collision est la capacité qu'a le matériau d'absorber l'énergie. Un matériau à grande capacité d'absorption d'énergie assure généralement une meilleure sécurité.

13. Afin de visualiser et déduire la capacité qu'a un matériau d'absorber l'énergie, on peut recourir à des courbes contrainte/déformation. La figure 1 montre une telle courbe pour l'acier austénitique de nuance 1.4404 et la figure 2 une courbe générale contrainte/déformation pour les aciers austénitiques-ferritiques inoxydables. La question du calcul de l'absorption d'énergie est examinée plus bas.

14. Dans la formule du 6.8.2.1.18 servant à calculer l'épaisseur minimale du réservoir, il est tenu compte de la capacité qu'a le matériau d'absorber l'énergie.  $R_{m1} A_1$  est la partie de la formule qui représente l'absorption de l'énergie par le matériau.

$$e_1 = \frac{464e_0}{\sqrt[3]{(R_{m1}A_1)^2}} \quad (\text{Équation figurant dans le 6.8.2.1.18})$$

15. La surface du rectangle de la figure 1 (partie en rouge et partie en vert) représente l'absorption d'énergie de l'acier de nuance 1.4404 calculée avec  $R_{m1} A_1$ . La même chose s'applique aux aciers austénitiques-ferritiques dans la figure 2. L'absorption d'énergie, telle qu'elle est incluse dans la formule du 6.8.2.1.18, n'est cependant pas la capacité réelle d'absorption d'énergie du matériau. La véritable absorption d'énergie est représentée par la surface figurant sous la courbe, donc la partie verte et la partie jaune de la figure.

16. Lorsque l'on compare chaque courbe, on constate que la surface de la partie rouge au-dessus de la courbe est nettement plus grande pour la nuance 1.4404 que pour les aciers austénitiques-ferritiques. Lorsque l'on calcule  $e_1$  avec l'équation du 6.8.2.1.18, la partie rouge est totalement prise en compte, mais cette partie ne contribue quasiment pas à l'absorption réelle d'énergie du matériau. Si l'on tient compte des figures 1 et 2, il devient évident que l'équation du 6.8.2.1.18 est beaucoup plus fondée sur le principe de prudence pour les aciers austénitiques-ferritiques que pour les aciers austénitiques inoxydables. Il est donc suggéré que l'épaisseur minimale des réservoirs imposée pour les aciers austénitiques soit aussi adoptée pour les aciers austénitiques-ferritiques (tableaux 1 et 4).

17. Le tableau 3 montre les valeurs calculées des épaisseurs minimales des réservoirs pour certains aciers inoxydables. Ces valeurs calculées sont dans certains cas supérieures pour les aciers austénitiques-ferritiques (voir l'introduction). Ceci dépend dans une certaine mesure de la façon dont la capacité d'absorption de l'énergie est calculée avec la formule du 6.8.2.1.18 comme cela a déjà été indiqué dans la présente section. Les épaisseurs minimales pour certains aciers austénitiques-ferritiques dépassent 3 mm pour les diamètres

> 1,8 m et 2,5 mm pour les diamètres  $\leq 1,8$  m, mais il existe aussi des nuances pour lesquelles on peut retenir les valeurs de 3 mm et 2,5 mm respectivement. Il semble donc raisonnable de donner aux constructeurs de citernes la possibilité de les concevoir avec des épaisseurs minimales de 3 mm et 2,5 mm respectivement, en fonction des nuances d'aciers austénitiques-ferritiques qu'ils choisissent.

18. En outre, en raison du principe de prudence qui est appliqué aux aciers austénitiques-ferritiques lorsque la formule est employée, la modification du tableau du 6.8.2.1.19 semble justifiée.

Figure 1  
Absorption de l'énergie pour l'acier de nuance 1.4404

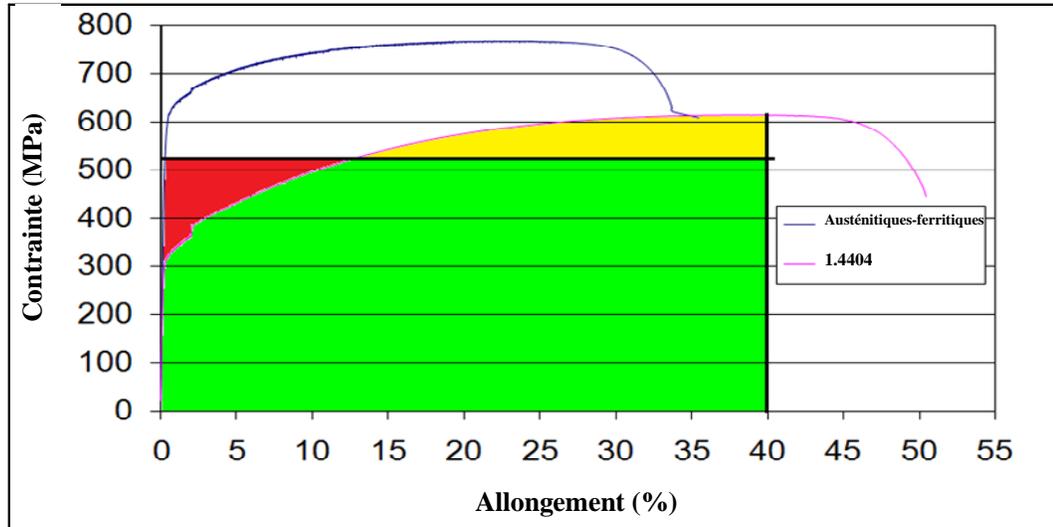
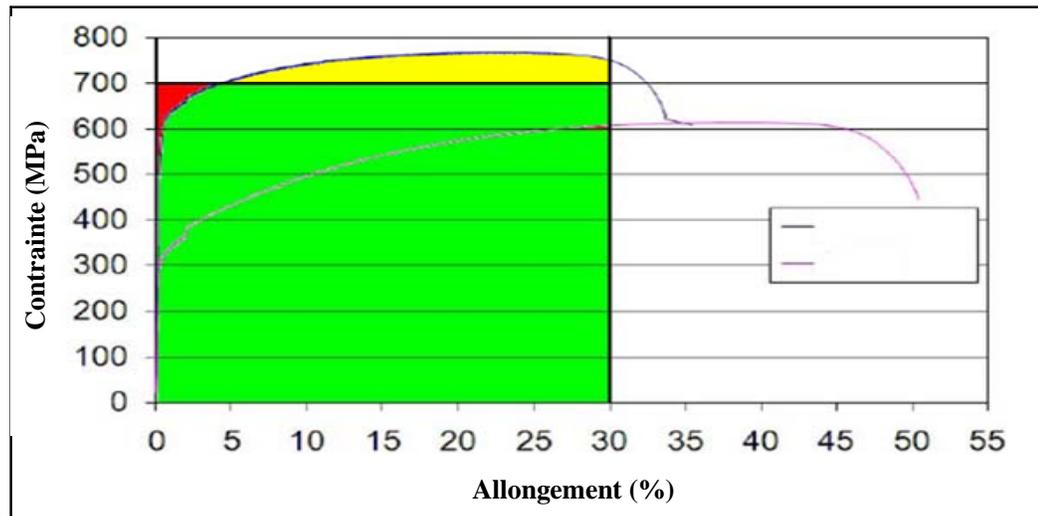


Figure 2  
Absorption de l'énergie pour les aciers austénitiques-ferritiques



## 2. Observation

### Absorption de l'énergie à divers niveaux de déformation

19. Il ressort des essais réalisés dans l'industrie automobile qu'un matériau ne se déforme que jusqu'à 10 % en cas de choc et non jusqu'à 20 %, 30 % ou plus. La figure 3 montre la véritable absorption d'énergie à la fois pour la nuance 1.4404 et pour les aciers austénitiques-ferritiques à des allongements de respectivement 10 %, 15 % et 20 %.

20. Jusqu'à la rupture, les aciers austénitiques-ferritiques ont une bien meilleure capacité réelle d'absorption de l'énergie que les aciers de nuance 1.4404. À titre de simple illustration, l'absorption d'énergie a été calculée sous la forme  $R_{px} A_1$  à un allongement de  $x$ . Les résultats sont présentés dans le tableau 5 ci-dessous. Il convient de souligner que, pour les raisons mentionnées plus haut, ces résultats ne correspondent pas à l'absorption réelle d'énergie (voir le chapitre Justification, sect. 1).

Tableau 5

### Absorption d'énergie des aciers austénitiques-ferritiques comparée à celle des aciers de nuance 1.4404

Allongement	Absorption d'énergie ( $R_{px} A_1$ )		Absorption d'énergie par les aciers austénitiques-ferritiques par rapport à l'absorption par l'acier de nuance 1.4404
	par les aciers austénitiques-ferritiques	Absorption d'énergie ( $R_{px} A_1$ ) par l'acier de nuance 1.4404	
10 %	7 400	5 000	+ ~50 %
15 %	11 400	8 100	+ ~40 %
20 %	15 600	11 600	+ ~35 %
30 %	22 500	18 300	+ ~23 %

21. Le tableau 5 montre aussi que, pour une même absorption d'énergie un acier austénitique se déformera (s'allongera) beaucoup plus que des aciers austénitiques-ferritiques. Par exemple, l'absorption d'énergie d'un acier austénitique-ferritique est de 11 400 à un allongement de 15 %. En cas de choc, l'acier de nuance 1.4404 devra s'allonger de 21,5 % pour absorber la même quantité d'énergie que les aciers austénitiques-ferritiques allongés à 15 % (voir la figure 4). Des comparaisons supplémentaires ont été faites pour des valeurs d'allongement de 10 %, 20 %, 25 % et 30 %. Les résultats sont donnés dans le tableau 6.

Tableau 6

### Allongement de l'acier de nuance 1.4404 pour une valeur donnée de l'absorption d'énergie

Absorption d'énergie pour les aciers austénitiques-ferritiques	Allongement des aciers austénitiques-ferritiques	Allongement de l'acier de nuance 1.4404 pour obtenir la même absorption d'énergie que les aciers austénitiques-ferritiques
7 400	10 %	15 %
11 400	15 %	22 %
15 600	20 %	27 %
22 500	30 %	37 %

<sup>3</sup>  $R_{px}$  = Contrainte à l'allongement considéré.

Figure 3  
**Absorption d'énergie à un allongement de 10 %, 15 %, 20 % et 30 % pour les aciers austénitiques-ferritiques et l'acier de nuance 1.4404**

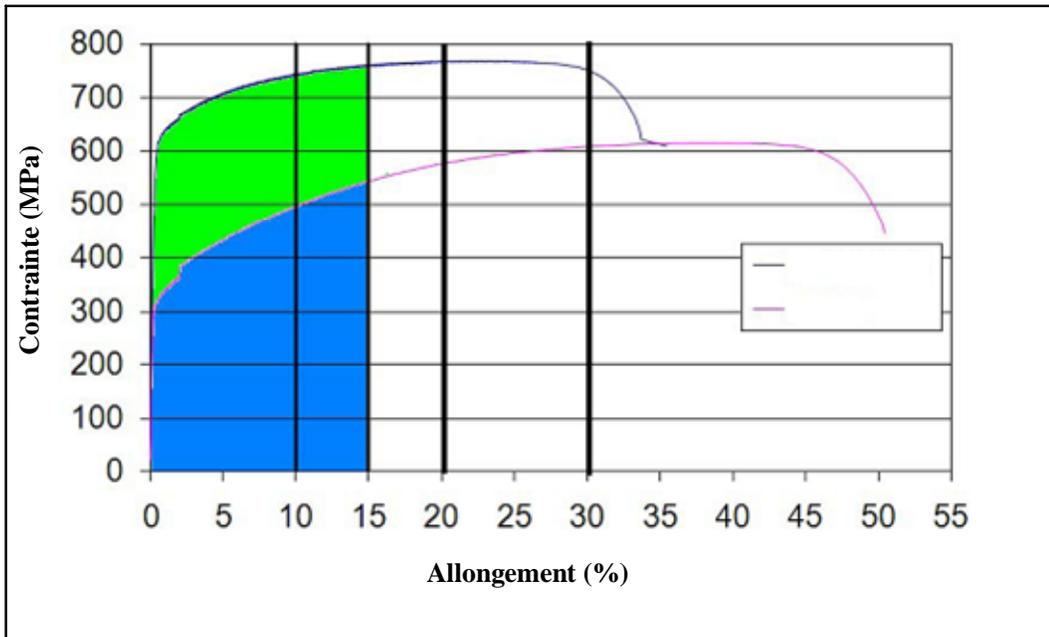
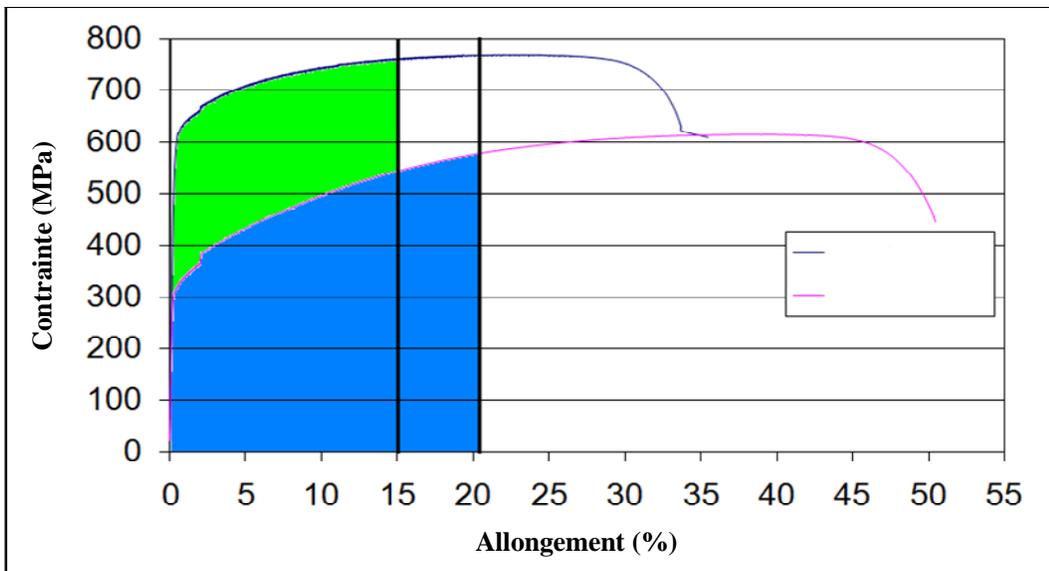


Figure 4  
**Allongement de l'acier de nuance 1.4404 et des aciers austénitiques-ferritiques lorsque l'absorption d'énergie est de 11 400**



### **3. Informations supplémentaires**

22. En janvier 2011 des épreuves statiques et dynamiques sont prévues pour certains aciers austénitiques-ferritiques et certains aciers austénitiques. Elles seront réalisées par l'Institut fédéral allemand de recherche et d'essais de matériaux (BAM). Leurs résultats seront présentés et utilisés pour être examinés plus avant lors de la réunion commune en mars 2011.

---