

# PROCÉDURE D'INSPECTION DES BOUTEILLES DE PLONGÉE EN ALUMINIUM

UTILISÉES POUR LA PRATIQUE DE LA PLONGÉE SUBAQUATIQUE  
À L'AIR OU AUX MELANGES

REDIGEE PAR

L.BETSCHART, S.BOUQUET, J.P.MONTAGNON

COMPLETEE PAR M.LECOQ

# POURQUOI UNE PROCEDURE ALUMINIUM ?

# Particularités de l'ALUMINIUM

## Caractéristiques physiques :

### Avantages

- masse volumique faible (2,7)
- résistance à la corrosion
- caractéristiques mécaniques intéressantes
- durcissement important par traitement thermique
- bas point de fusion (658 °C)
- mise en œuvre assez facile par laminage, forgeage, moulage, formage, étirage, extrusion

# Particularités de l'ALUMINIUM

## Caractéristiques physiques :

Inconvénients :

- faible résistance à l'usure et à la fatigue
- son coefficient de dilatation et sa conductivité thermique imposent des précautions en soudage et en usinage.
- grand retrait au moulage (3,5 % à 8,5 % en volume)
- l'élasticité peut être une gêne dans l'usinage.

# Particularités de l'ALUMINIUM

C'est pourquoi l'usage des blocs Aluminium introduit certaines **CONTRAINTES** :

*La notion de service*

*Les contraintes d'utilisation*

## Définition de la notion de service :

### Service intensif :

- Bouteilles qui sont remplies ou "complétées" **cinq fois ou plus** par semaine;
- Bouteilles de **location** en cours d'utilisation lors de la "saison" et non utilisées pendant la "hors saison".
- Bouteilles utilisées dans un environnement où elles sont plus susceptibles de subir des dommages plus intenses que dans des conditions normales d'utilisation.

Action: - Inspection visuelle tous les **4 mois**  
- ou à tout moment opportun et en deçà de quatre mois.

## Définition de la notion de service :

### Service normal:

Si l'utilisation de la bouteille n'entre pas dans le cas du service intensif:

- Inspection visuelle tous les **12 mois**
- ou à tout moment opportun et en deçà de douze mois.

# Rappel de l'arrêté du 20/11/2017

## Inspections périodiques ou visites :

« aussi souvent que nécessaire »

Intervalle maximum entre deux inspections périodiques:

- **douze mois** pour les bouteilles pour appareils respiratoires utilisées pour la plongée subaquatique ainsi que pour les récipients mobiles en matériaux autres que métalliques.

### Remarque:

Si l'état d'un équipement sous pression le justifie, l'exploitant doit réduire cet intervalle. Les équipements sous pression mobiles doivent en outre être vérifiés extérieurement avant chaque remplissage.

## Requalification périodiques :

Intervalle **maximal** entre deux requalifications périodiques:

- **deux ans** pour les bouteilles pour appareils respiratoires utilisées pour la plongée subaquatique ainsi que pour les récipients mobiles en matériaux autres que métalliques
- **six ans** pour les bouteilles de plongée dont l'inspection périodique a été effectuée au moins annuellement ou avant leur utilisation quand la visite a été réalisée depuis plus d'un an, dans **les conditions définies par la dernière version du cahier des charges** relatif à l'inspection périodique des bouteilles métalliques utilisées pour la plongée subaquatique.

# Principe de la procédure TIV ALU :

## Avant l'inspection :

Déterminer le type de la bouteille à inspecter

Déterminer la fréquence des inspections :

Service normal ?

Service intensif ?

Essayer de connaître « l'histoire » du bloc :

Manipulation, choc, chute, stockage, agression par produits chimique.....

## **CAR...**

*Critères de rebus:*

- *endommagements physiques*
- *corrosion externe ou interne*

# Principe de la procédure TIV ALU :

## Démarche de la procédure :

*Organisation similaire à la procédure bouteille acier*

- identification de la bouteille
- inspection de la robinetterie
- inspection de la bouteille
  - état du filetage
  - état extérieur
  - état intérieur
  - état de la paroi.

## **Consignation des constats:**

Il est recommandé de remplir une feuille de suivi et d'évaluation pour:

- consigner toutes les remarques
- faire apparaître clairement la décision : acceptation ou refus

***Lorsque l'inspection visuelle a été réalisée et que la décision a été prise :***

- ***rentrer cette décision sur l'Application TIV***

# Réalisation de l'inspection visuelle :

## Examen et identification du marquage de la bouteille :

Informations à relever :

### Obligatoire

- le fabricant
- le numéro de série de la bouteille
- la date de première épreuve
- la date de la dernière épreuve
- la marque de la bouteille
- la pression de service
- le type de filetage
- la capacité en litres

### Facultatif

- épaisseur de référence *(Si mentionnée par le constructeur)*

## Remarque:

Si tout ou partie des éléments d'identification obligatoires ne peuvent être clairement établis ou ont été modifiés, cela entraîne un **refus** !

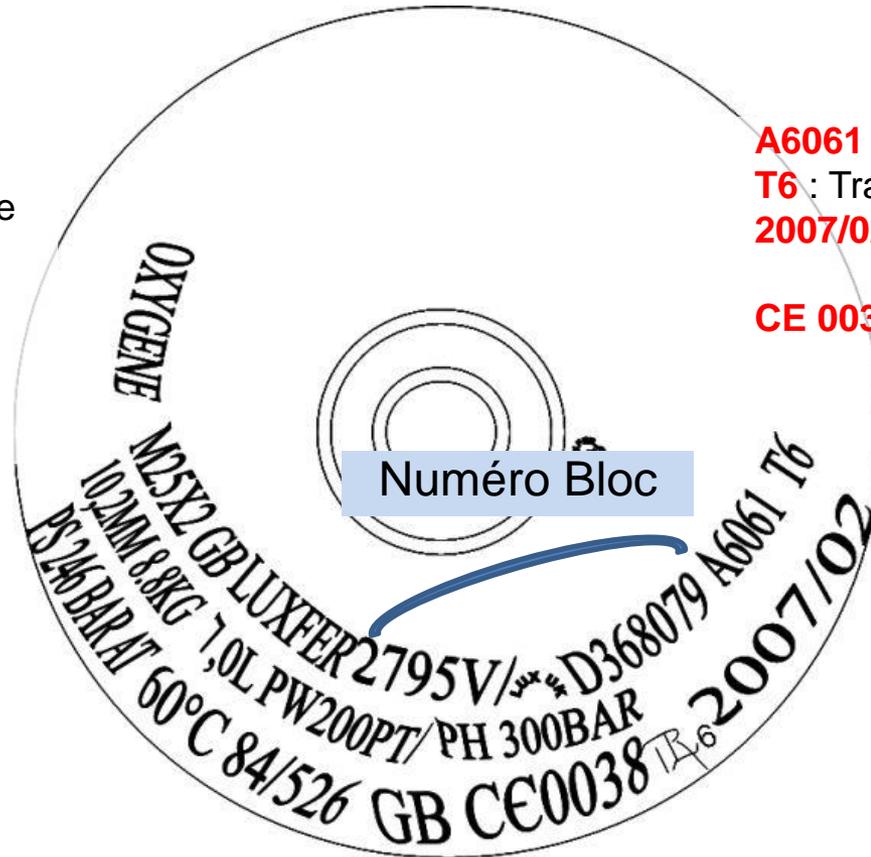
Exemple de marquage bouteille Luxfer Europe :



## Exemple de marquage bouteille Luxfer Europe :

**M25x2** : Pas de la bouteille  
**GB** : Angleterre  
**LUXFER** Constructeur  
**10.2** : épaisseur de référence  
**8.8** : poids de la bouteille  
**7.0** volume intérieur  
**PW 200** : pression service  
**PH 300** Pression épreuve

**PS 246 at 60°** pression à  
 ne pas dépasser  
**84/526** : caractéristiques  
 mécaniques

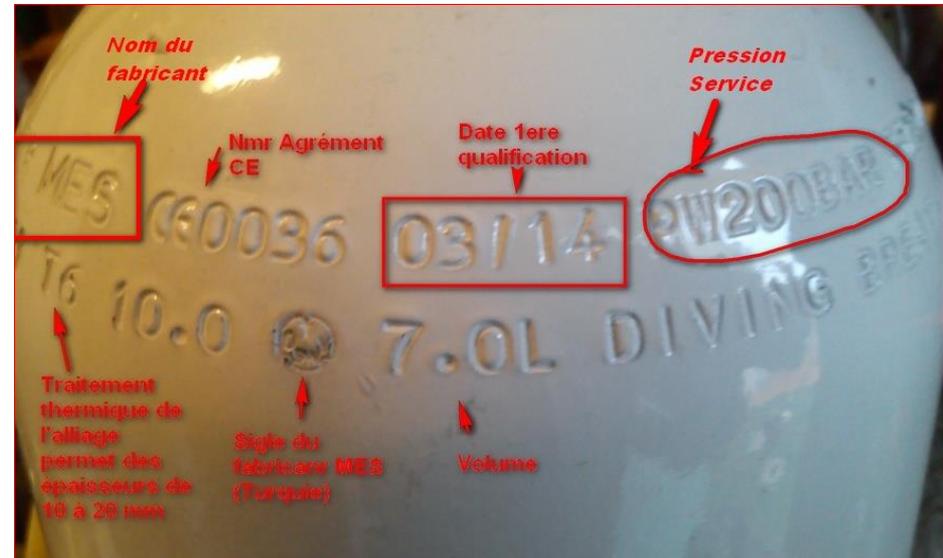
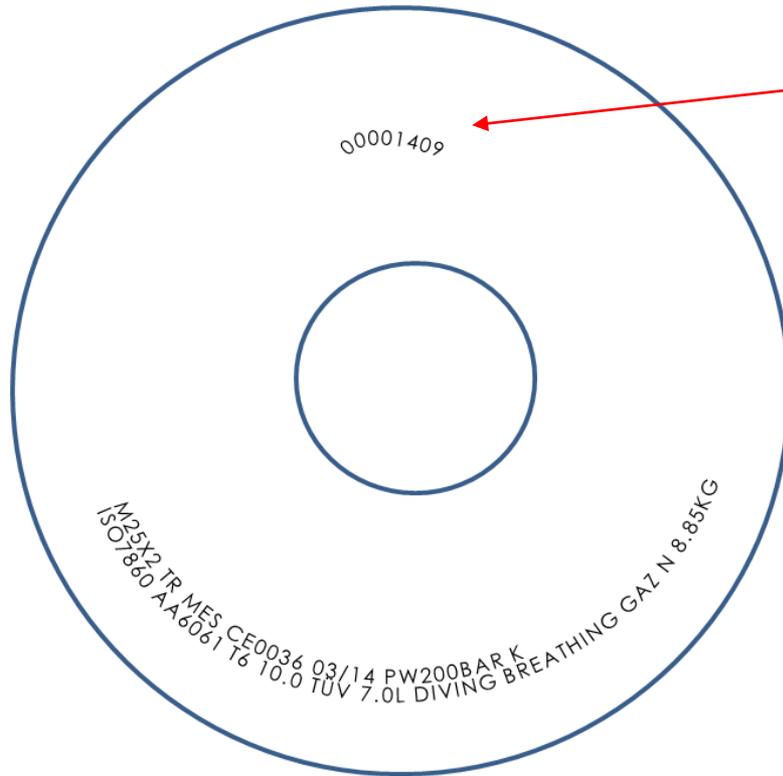


**A6061** : Type alliage  
**T6** : Traitement thermique  
**2007/02** date 1ère épreuve :  
 Année et **TRIMESTRE**  
**CE 0038** Conformité et  
 organisme notifié

Exemple de marquage bouteille Luxfer Europe :



## Exemple de marquage bouteille MES - Turquie



## Examen externe :

Démonter l'ensemble des accessoires de la bouteille.

Observer l'ensemble de la surface pour vérifier et détecter :

- l'état de la peinture : écaillages, cloques, éraflures, etc...
- la présence de chocs, de déformations, de fissures, etc...
- la présence de corrosion

## Objectifs :

- détecter les endommagements physiques
- détecter les zones de corrosion

***Pour ces deux classes de défauts, il faut clairement les situer, les identifier et les caractériser.***

## Caractérisation, évaluation et mesure :

Comparer les valeurs face à celles du tableau de critère de refus

# DEMONTAGE ET INSPECTION DE LA ROBINETTERIE

## Démontage de la robinetterie

Risque de pollution interne de la bouteille par des particules grasses

Utiliser la procédure de visite des robinets (+ service oxygène si nécessaire)

## Objectifs :

- Vérifier la présence du revêtement uniforme sur l'ensemble de la robinetterie
- Vérifier l'état du filetage de la robinetterie
- Contrôler les dimensions des filetages avec les bagues et les tampons (si nécessaire)

## Critères de refus d'une robinetterie :

**Revêtement non uniforme**  
et non présent sur la  
totalité de la robinetterie

**Filetage endommagé** par  
des traces de chocs ou  
des déformations  
anormales

### En cas de doute

utiliser les bagues de contrôle :

#### REFUS

Si la bague lisse « n'entre pas » *entre*

Si la bague fileté « n'entre pas » *entre*

## Critères de refus du filetage du bloc :

**Défauts à constater** dans la zone active du filetage :

- perte de métal
- incrustations de matière
- corrosion forte et profonde
- fissurations
- forçages
- défaut dimensionnel du filetage

**Présence** d'un ou de plusieurs de ces défauts sur la zone active des filets (marquage, déformation, fissures).

→ **Utiliser les tampons :**

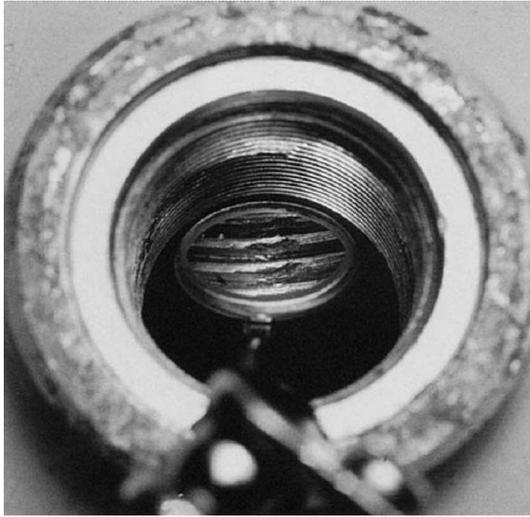
**Refus**

Si tampon fileté « **n'entre pas** »  
**entre,**

Si le tampon « **entre** » **n'entre pas.**

Si tampon lisse « **n'entre pas** »  
**entre,**

## Défauts présents sur la zone active des filets :



Déformation



Marquage



Fissure

## Constat de la présence de résidus de matière :

Retourner la bouteille au dessus d'une feuille de papier blanc  
Analyser les résidus.

Résidus de couleur

Origine

blanchâtre ou grisâtre

présence d'oxyde d'aluminium ou de  
particules d'aluminium.

noirâtre:

origine extérieure à la bouteille, venant  
du compresseur par le gonflage, ou  
introduit lors de la dernière inspection.

**Déterminer l'origine de ces résidus !**

## Constat de la présence de résidus de matière :

Secs ou humides il faut les éliminer:

- secs :	par soufflage d'air sec à l'intérieur de la bouteille
- <i>humide</i> :	présence d'eau : soufflage par air sec et chaud (sèche cheveux).
- humidité grasse	soufflage d'un air sec pour l'élimination des résidus présents dans la bouteille, puis nettoyage intérieur avec un produit dégraissant selon la procédure

## **EXAMEN DE LA SURFACE INTERNE LISSE :**

Sur toutes la paroi interne de la bouteille

### **Observer :**

- fond plat de la bouteille
- zone cylindrique de la bouteille
- col de la bouteille

Utiliser : miroir dentaire,  
endoscope lumière  
blanche (matériel  
dédié si bloc O2)

### **Objectifs :**

- détecter les endommagements physiques :
  - saillie,
  - enfoncement, entaille / goujure,
  - fissure, décollement
- détecter les zones de corrosion : classique ou galvanique

Pour ces deux classes de défauts, il faut clairement les situer, les identifier et les caractériser.

**Comparer les valeurs face à celles du tableau de critère de refus !!**

# Tableau des critères de refus :

## Défauts physiques extérieurs

### Poinçonnage :

DÉFAUT	DESCRIPTION	REFUS	ACCEPTABLE
Poinçonnage	Marquage au moyen d'un poinçon métallique. - marquage partiellement illisible, altéré ou erroné,	<b>oui</b>	<b>oui si identification faite et après accord de la DREAL</b>
	- poinçonnage sur la partie cylindrique non identifiable	<b>oui</b>	<b>non</b>

## Défaut d'aplomb :

Défaut	Défaut d'aplomb
Description	Mauvais positionnement de la bouteille par rapport à la verticale (défaut d'aplomb visible à l'œil nu > 1% de la hauteur de la bouteille)
REFUS	OUI
Acceptable	NON

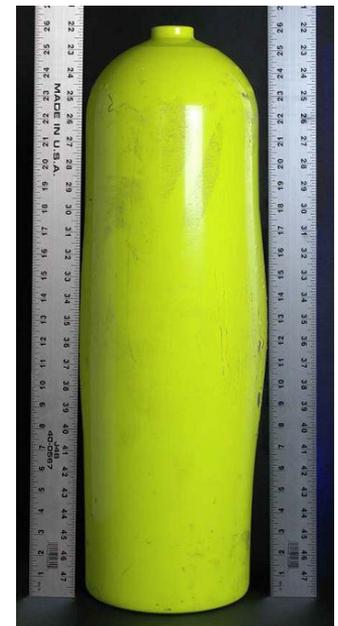


## *Meulage ou tâche suspecte :*

DÉFAUT	DESCRIPTION	REFUS	ACCEPTABLE
Meulage ou tâche suspecte	Intervention effectuée après la fabrication de la bouteille.	<b>oui</b> <b>A présenter en requalification</b>	<b>non</b>

## Saillie :

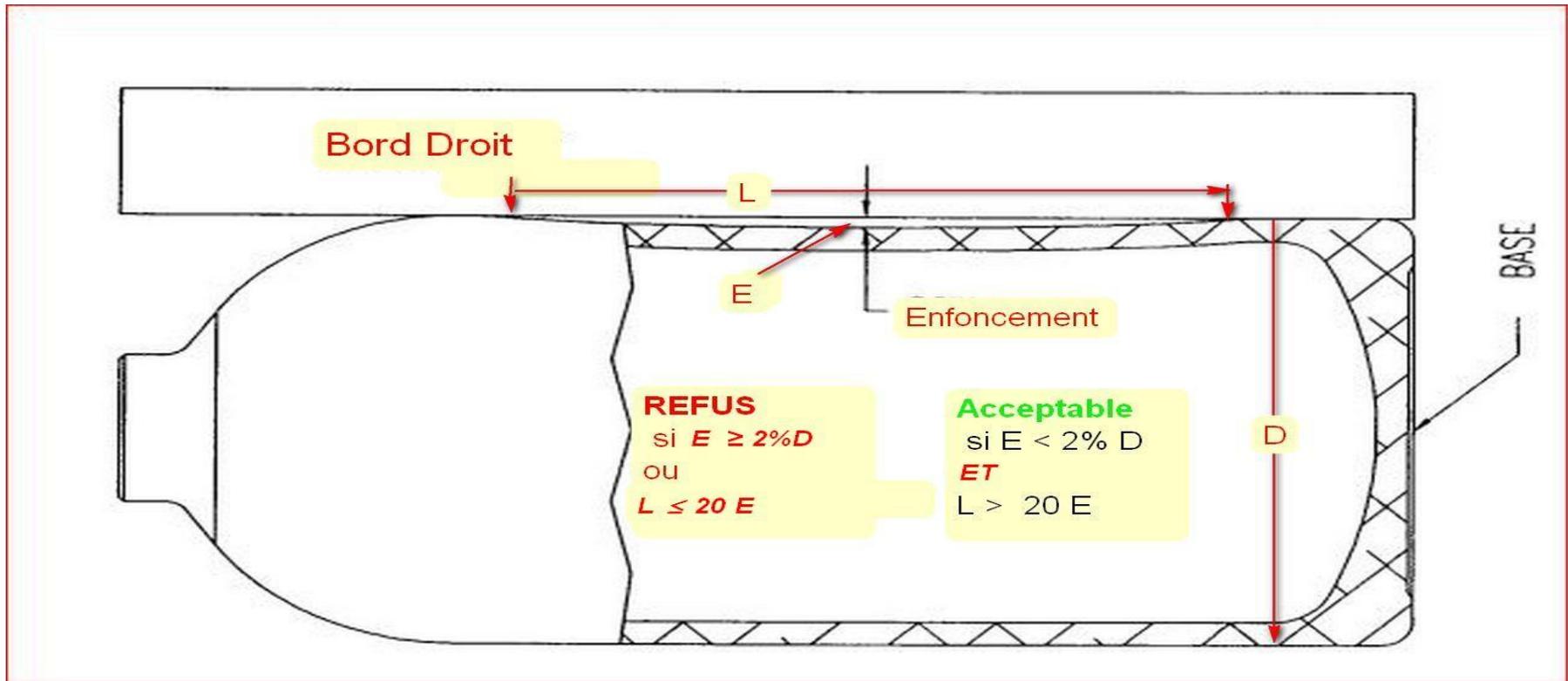
Défaut	Saillie
Description	Renflement visible à l'œil nu de la surface de la bouteille.
REFUS	OUI
Acceptable	NON



## Enfoncement :

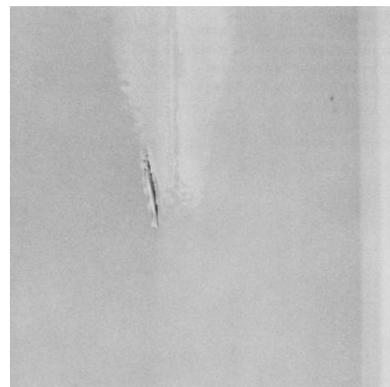
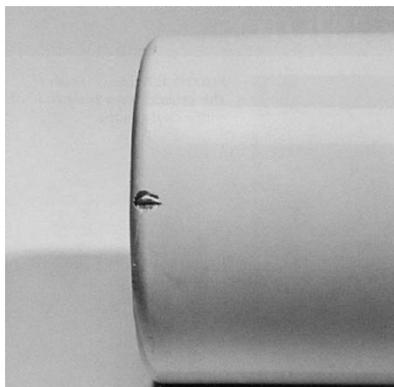
DÉFAUT	DESCRIPTION	REFUS	ACCEPTABLE
Enfoncement	Creux dans la surface de la bouteille n'impliquant ni pénétration, ni enlèvement de métal.	<p><b>oui si</b></p> <p><b>Profondeur enfoncement <math>\geq 2\%</math> du diamètre extérieur de la bouteille</b></p> <p><b><i>ou</i></b></p> <p><b>Diamètre de l'enfoncement <math>\leq 20</math> fois la profondeur de l'enfoncement</b></p>	<p><b>oui si</b></p> <p><b>Profondeur enfoncement <math>&lt; 2\%</math> du diamètre extérieur de la bouteille</b></p> <p><b><i>et</i></b></p> <p><b>Diamètre de l'enfoncement <math>&gt; 20</math> fois la profondeur de l'enfoncement</b></p>

## Enfoncement :



## Entaille / goujure :

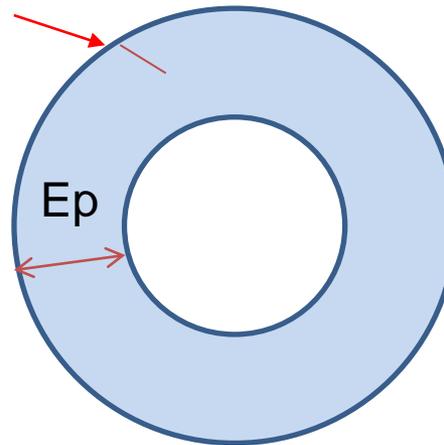
DÉFAUT	DESCRIPTION	REFUS	ACCEPTABLE
Entaille / goujure	Empreinte nette impliquant un enlèvement ou un déplacement du métal. <i>Épaisseur réelle (avec cale étalon pour aluminium) ou à défaut épaisseur de calcul associée à la bouteille.</i>	<b>oui si</b> <b>Profondeur de l'enfoncement <math>\geq</math> 5% de l'épaisseur de la bouteille</b>	<b>oui si</b> <b>Profondeur de l'enfoncement <math>&lt;</math> 5% de l'épaisseur de la bouteille</b>



## Entaille / goujure :

**REFUS** si  
Profondeur de  
l'enfoncement  $\geq 5\%$   
de l'épaisseur de la  
bouteille

Profondeur  
entaille : P

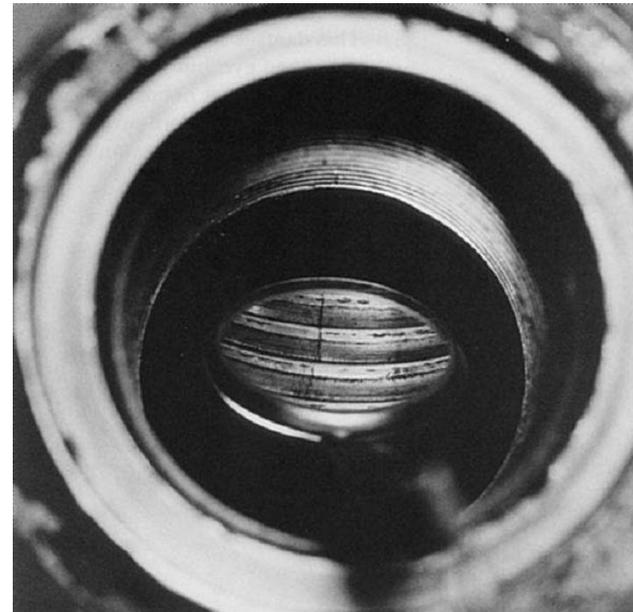


**Acceptable** si

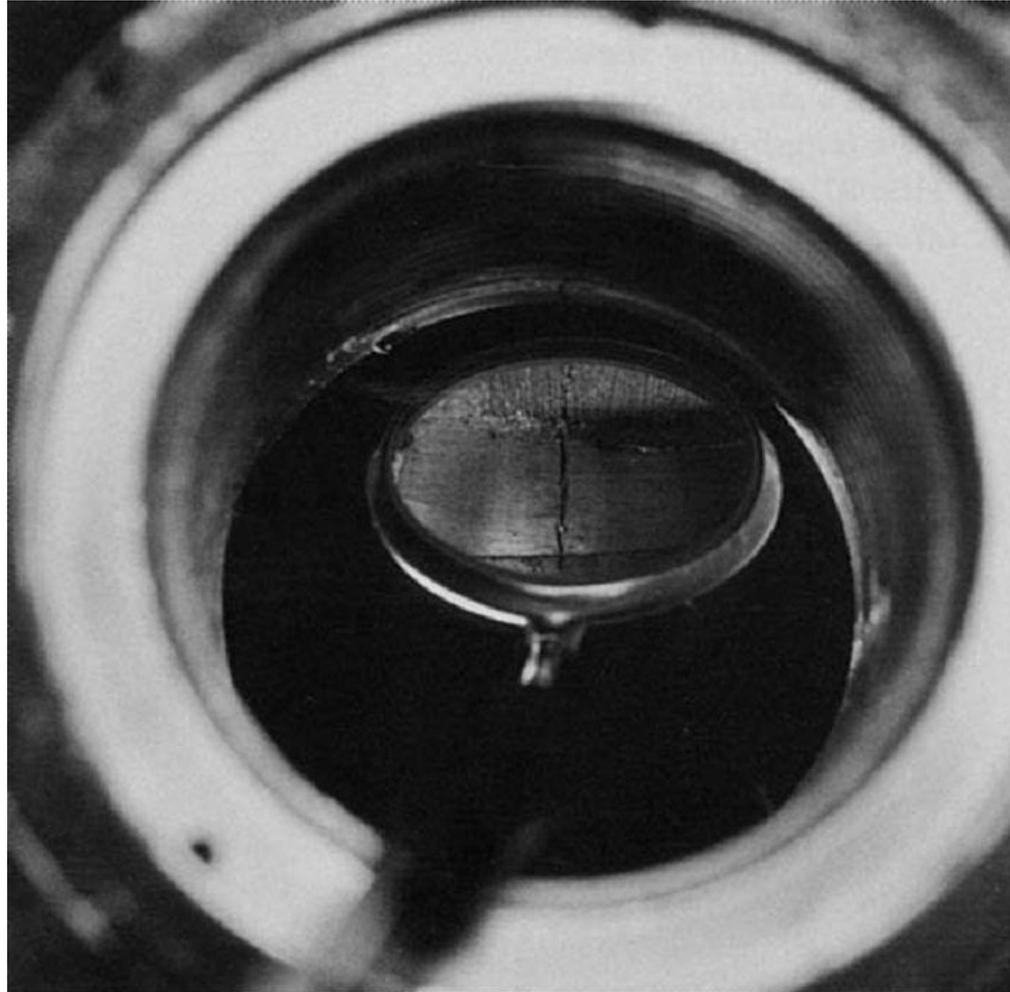
Profondeur de  
l'enfoncement  $< 5\%$   
de l'épaisseur de la  
bouteille

## *Fissure :*

DÉFAUT	DESCRIPTION	REFUS	ACCEPTABLE
Fissure	Fente ou déchirure du métal.	oui	non



**Fissure :**

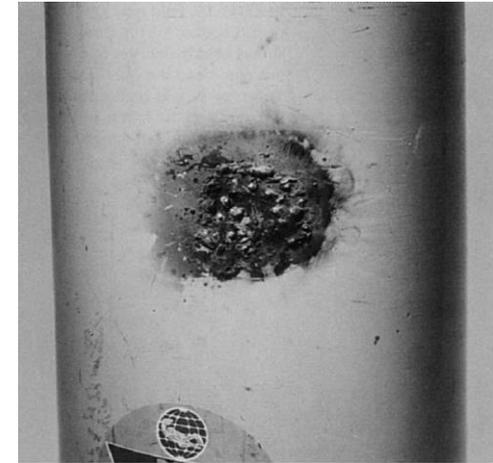


## ***Décollement :***

<b>DÉFAUT</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>REFUS</b>	<b>ACCEPTABLE</b>
Décollement	Décollement apparaissant à la surface sous forme d'une discontinuité, d'une fissure ou d'une saillie provenant d'un défaut d'origine (repli, feuilletage du métal, recouvrement, incrustation,...) mis en évidence à l'utilisation de la bouteille.	<b>oui</b>	<b>non</b>

## Dommmage dû au feu :

Défaut	Dommmage dû au feu
Description	Échauffement général ou localisé excessif sur une bouteille, mis en évidence par : - la brûlure plus ou moins importante du métal, - la déformation de la bouteille, - la carbonisation ou la brûlure de la peinture. .
REFUS	OUI
Acceptable	NON



### Remarque importante:

Une bouteille en aluminium ne doit pas subir localement une température supérieure à

**175°C**

## *Appendices, bouchons, corps étrangers :*

DÉFAUT	DESCRIPTION	REFUS	ACCEPTABLE
Appendices, bouchons, corps étrangers,	Éléments additionnels fixés sur l'ogive, le corps ou le fond de la bouteille. Toute modification apportée affectant l'intégrité de la bouteille	<b>oui</b>	<b>non</b>

## ***Amorçage d'arc ou coup de chalumeau :***

<b>DÉFAUT</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>REFUS</b>	<b>ACCEPTABLE</b>
Amorçage d'arc ou coup de chalumeau	Brûlure partielle du métal, addition de métal de soudure ou enlèvement de métal lié à la présence de rainures ou critères de fusion.	<b>oui</b>	<b>non</b>

## La corrosion de l'Aluminium

### 1- Généralités

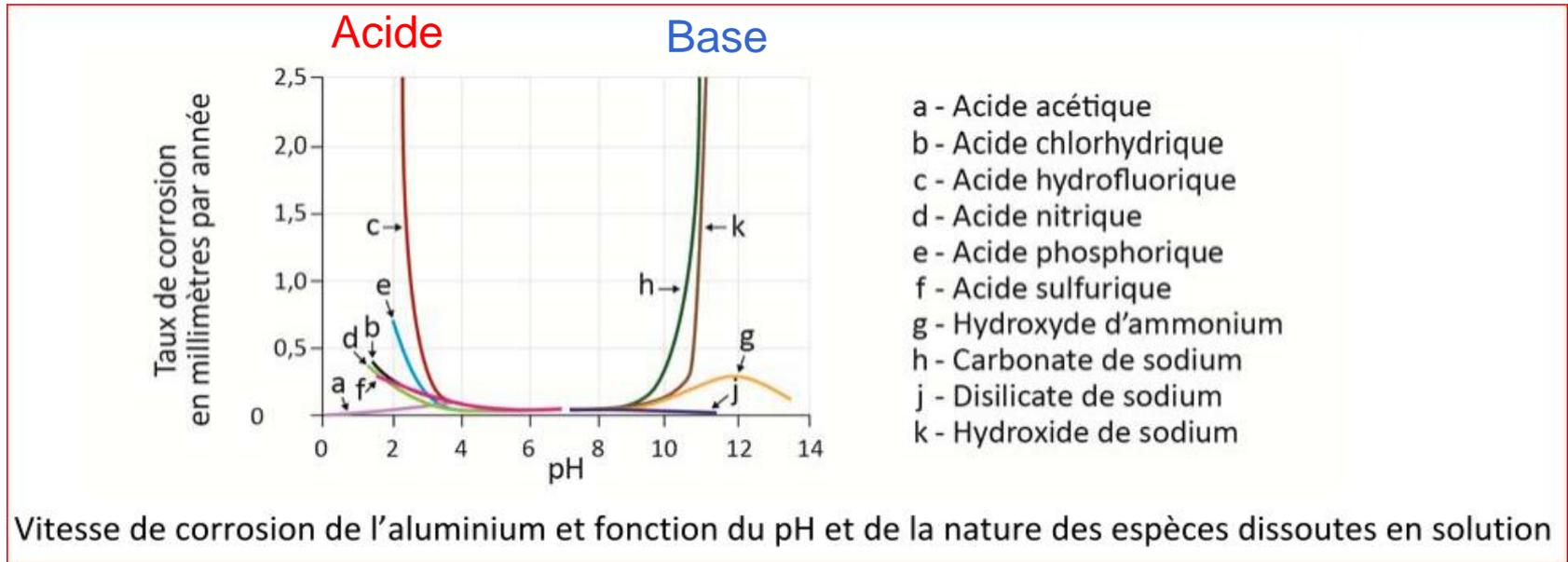
Bien que l'aluminium soit oxydable, sa grande affinité avec l'oxygène favorise l'apparition d'une couche d'oxyde ( $\sim 0,5 \mu\text{m}$ ) compacte et protectrice..

### 2- le plus courant : Corrosion électrochimique

La corrosion électrochimique est le mode de corrosion le plus courant. Elle repose essentiellement sur un échange électrique entre le métal et l'environnement humide.

## La corrosion de l'Aluminium

### Actions de produits sur l'Aluminium



## La corrosion de l'Aluminium

Performance relative des familles d'alliage vis-à-vis de la Corrosion

Alliages de corroyage	Résistance mécanique	Ductilité	Soudabilité	Anodisation	Résistance à la corrosion	Commentaires (types de corrosion)
1xxx	Faible	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée	Al à 99%, très bonne résistance à la corrosion (piqûres, généralisée)
2xxx	Très élevée	Faible	Faible	Faible	Faible	Risque de piqûration, corrosion intergranulaire (IG), corrosion sous contrainte (CSC), exfoliation
3xxx	Faible, > 1xxx	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée	Bonne résistance à la corrosion. (piqûres, généralisée)
5xxx	Moyenne	Moyenne	Élevée	Élevée	Élevée	Excellente résistance à la corrosion, grade marin, (piqûres, généralisée). Risque de CSC et exfoliation, lorsque %Mg ≥4% et sensibilisation en température
6xxx	Moyenne	Moyenne	Élevée	Élevée	Élevée	Bonne résistance à la corrosion, surtout avec un bon ratio silicium et du magnésium pour former du siliciure de magnésium dans l'alliage. (piqûres, généralisée)
7xxx	Élevée	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Piqûres, corrosion intergranulaire (IG), corrosion sous contrainte (CSC), exfoliation
7xxxCu	Très élevée	Faible	Faible	Faible	Faible	Piqûres, corrosion intergranulaire (IG), corrosion sous contrainte (CSC), exfoliation

Source: AfSA, Corrosion resistance of aluminum, 2011.

## La corrosion de l'Aluminium

Seuls les alliages d'aluminium « Série 6000 » (6xxx) sont autorisés pour la fabrication des bouteilles de plongée : 6061, 6063, 6082,..

Les blocs en alliage « Série 2000 » (2xxx) - alliage aluminium/cuivre doivent impérativement être retirés du service



**Rappel** : les blocs en AG5 (AA5283) sont également interdit depuis plus de 15 ans

# La corrosion de l'Aluminium

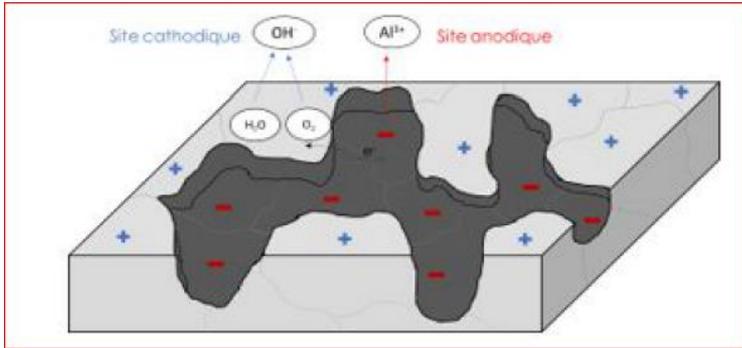


Figure 1. corrosion électrochimique

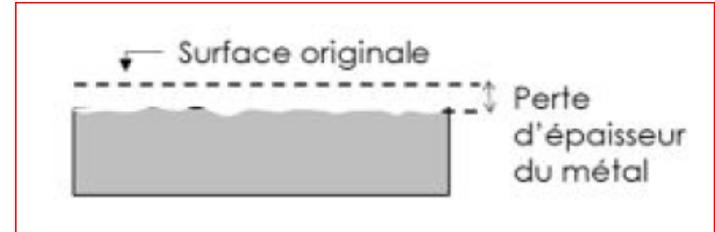


Figure 2. Corrosion uniforme.

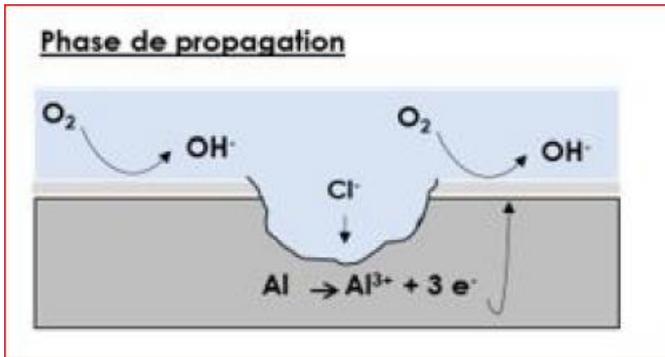


Figure 3. Corrosion par piqûre.

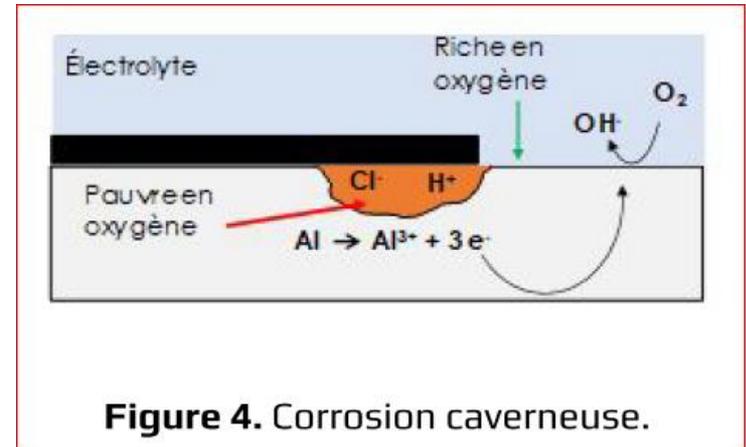


Figure 4. Corrosion caverneuse.

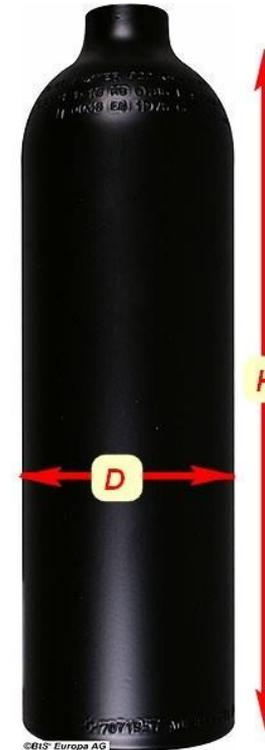
# La corrosion de l'Aluminium

## Corrosion généralisée :

<b>DÉFAUT</b>	Corrosion généralisée
<b>DESCRIPTION</b>	<p>Corrosion provoquant une diminution d'épaisseur de la paroi sur</p> <p><b>une superficie <math>\geq 20\%</math> de la surface de la bouteille.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lorsque la surface du métal sain n'est pas visible</li> <li>- lorsque la surface du métal sain est visible</li> </ul>
<b>REFUS</b>	<b>OUI</b>
<b>ACCEPTABLE</b>	<b>NON</b>

Ep = Epaisseur de la bouteille

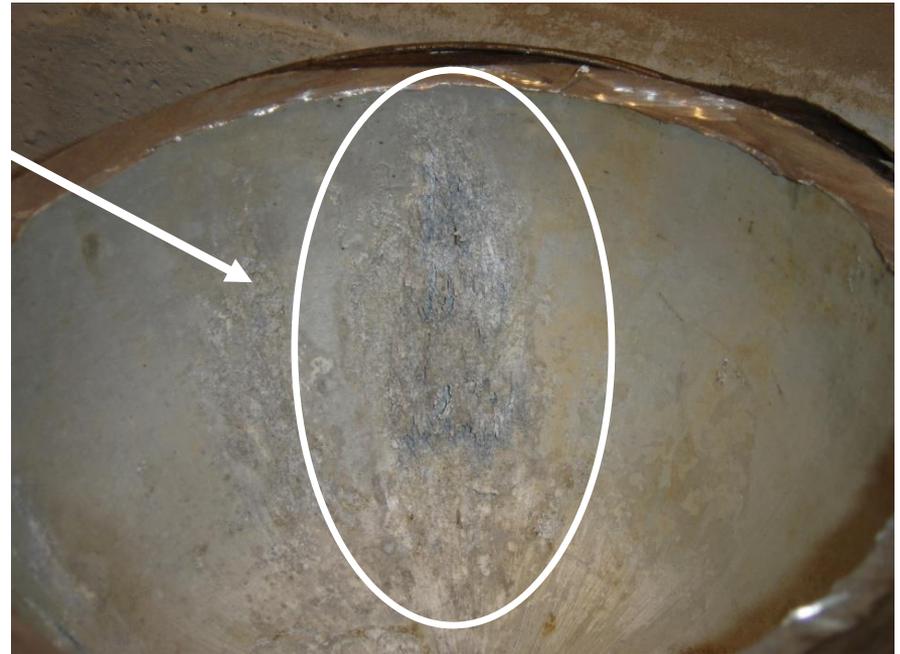
Surface S  
 $S = (3.14D-2EP) \times H$



**SC > 20% S**  
**Refus**  
**A présenter en requalification**

## La corrosion de l'Aluminium

**Corrosion généralisée :**



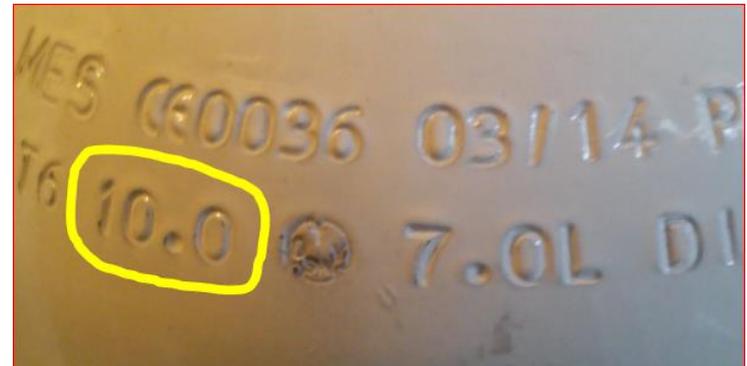
## Corrosion localisée :

### Définitions:

**Épaisseur d'origine** : Épaisseur de fabrication ou épaisseur mesurée hors zone de corrosion (mesure par capteur à ultrasons).



**Épaisseur de référence** : Épaisseur figurant sur l'état descriptif de la bouteille ou épaisseur calculée (soit reprise dans l'état descriptif, soit calculée sur éléments probants), valeur marquée sur l'ogive de la bouteille.



## Corrosion localisée :

<b>DÉFAUT</b>	Corrosion localisée
<b>DESCRIPTION</b>	<p>Corrosion provoquant une diminution d'épaisseur de la paroi sur</p> <p><b>une superficie &lt; 20% de la surface</b></p> <p>de la bouteille à l'exclusion des autres types de corrosions locales décrites ci-après.</p>



# La corrosion de l'Aluminium

## Corrosion localisée :

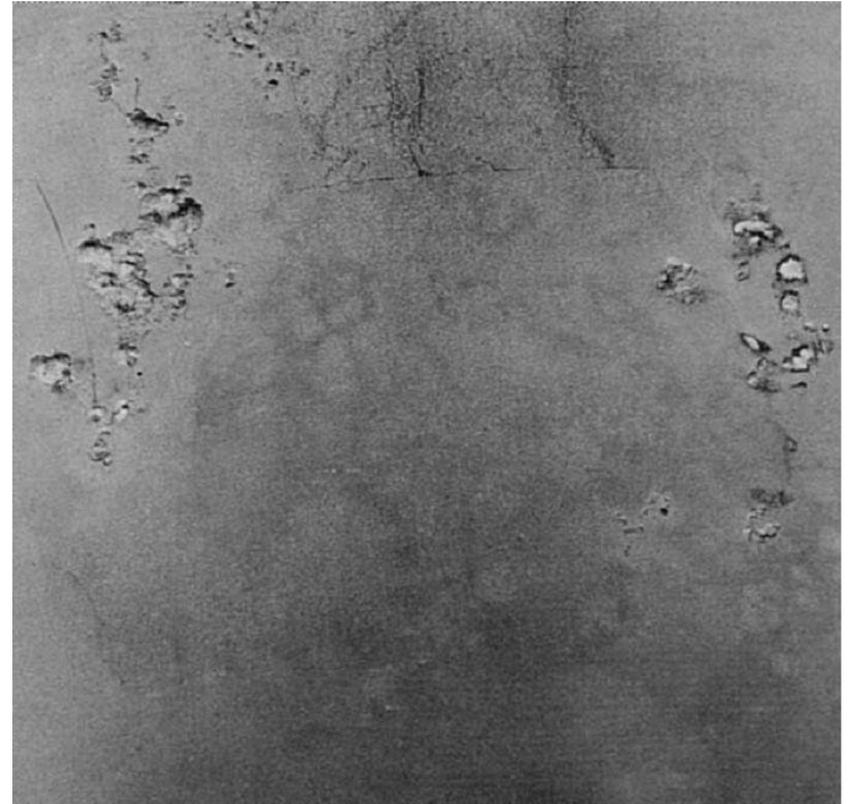
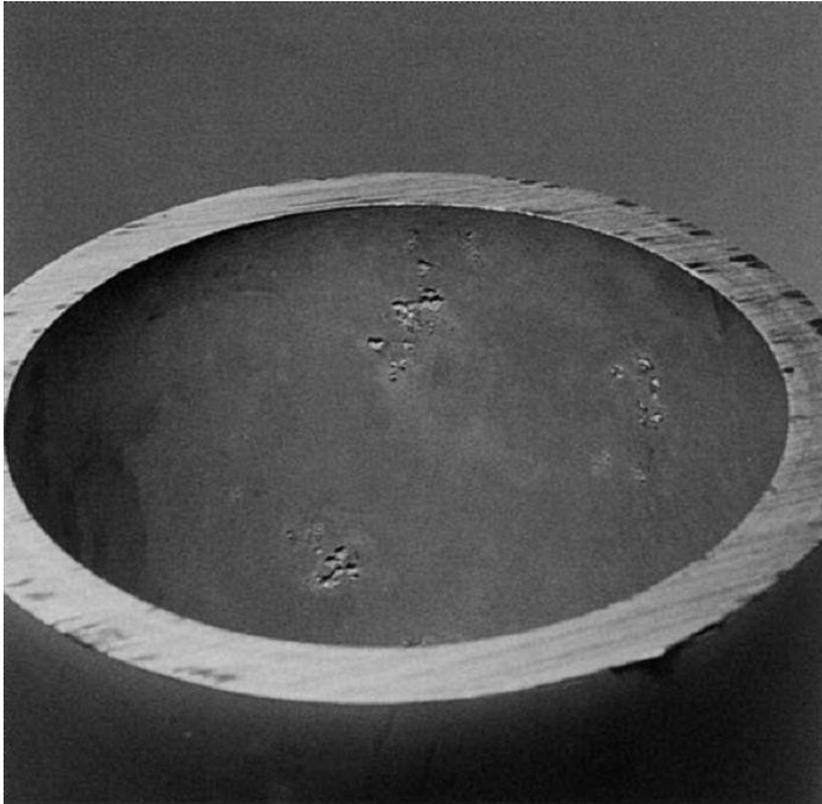
Dans tous les cas...:

DÉFAUT	Corrosion localisée
<b>REFUS</b>	<p>oui si</p> <p>Profondeur de corrosion <math>\geq 1/5</math> de l'épaisseur d'origine</p> <p><b>ou</b></p> <p>épaisseur mesurée <math>&lt;</math> épaisseur de référence</p>

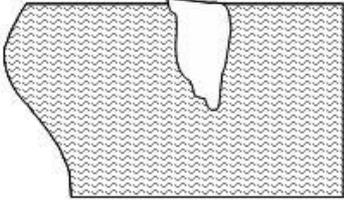
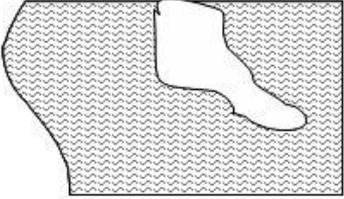
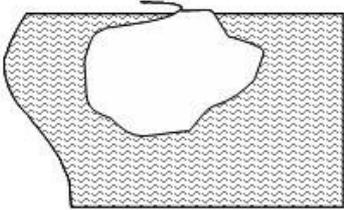
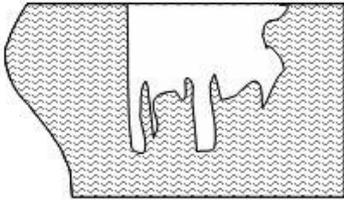
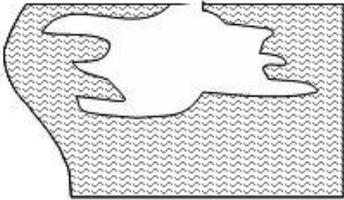
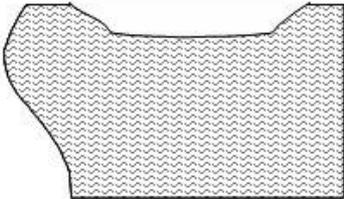
DÉFAUT	Corrosion localisée
<b>ACCEPTABLE</b>	<p>oui si</p> <p>Profondeur de corrosion <math>&lt; 1/5</math> de l'épaisseur d'origine</p> <p><b>et</b></p> <p>épaisseur mesurée <math>\geq</math> épaisseur de référence</p>



## *Corrosion localisée :*



## Corrosion localisée : différents types de piqûres

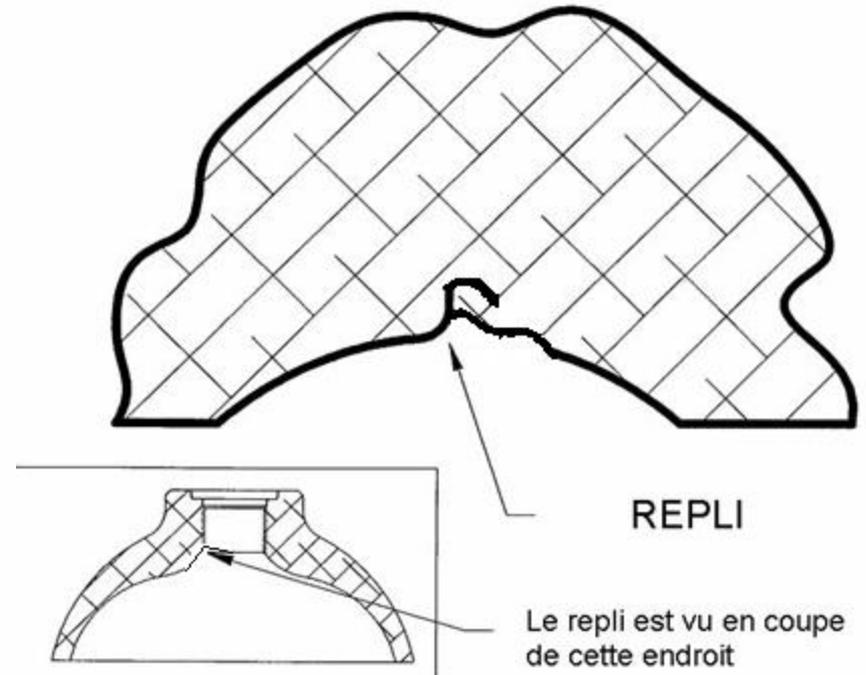
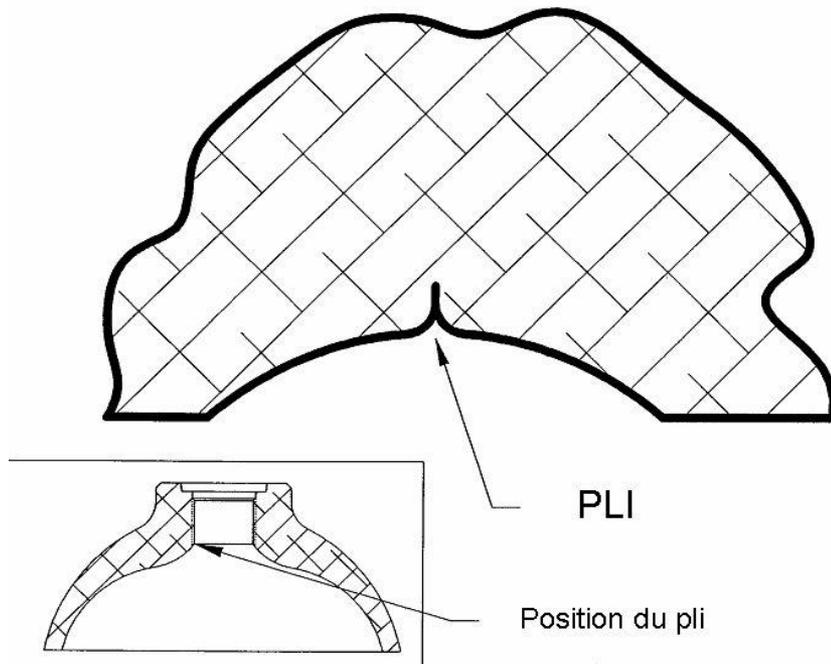
	
<p>Piqûre étroite</p>	<p>Piqûre oblique sous le métal</p>
	
<p>Piqûre sous la surface</p>	<p>Piqûre verticale</p>
	
<p>Piqûre horizontale</p>	<p>Piqûre superficielle large</p>

## Corrosion en ligne ou piqûres en chaîne :

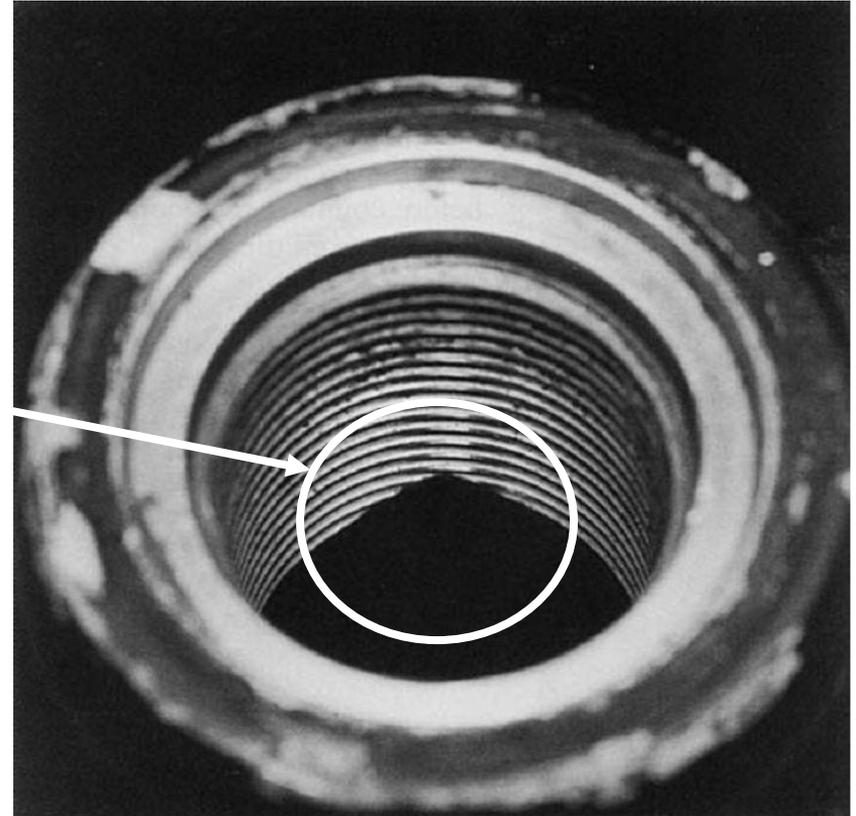
DÉFAUT	DESCRIPTION	REFUS	ACCEPTABLE
Corrosion en ligne ou piqûres en chaîne	<p>Corrosion formant une ligne ou une bande étroite longitudinale ou circonférentielle, ou cratères ou piqûres isolés presque reliés entre eux.</p> <p>NB : en cas de doute, ou impossibilité de mesure, présenter la bouteille en requalification.</p>	<p><b>oui si</b></p> <p><b>Profondeur de corrosion <math>\geq 1/10</math> de l'épaisseur d'origine</b></p> <p><b><i>et</i></b></p> <p><b>longueur totale &gt; diamètre extérieur de la bouteille</b></p> <p><b><i>ou</i></b></p> <p><b>épaisseur mesurée &lt; épaisseur de référence</b></p>	<p><b>oui si</b></p> <p><b>Profondeur de corrosion &lt; 1/10 de l'épaisseur d'origine</b></p> <p><b><i>et</i></b></p> <p><b>longueur totale &lt; diamètre extérieur de la bouteille</b></p> <p><b><i>et</i></b></p> <p><b>épaisseur mesurée &gt; épaisseur de référence</b></p>

# Éléments non représentatif d'un refus : les replis

Plis et Replis  $\neq$  fissures



*Repli :*



*Pli :*

