

Le problème, en expertise, de la datation de la corrosion sur des coques en acier, avait déjà été évoqué le 6 août 2024 dans un article sur LinkedIn.

Les quelques pages suivantes présentent la méthode simplifiée qui permet d'évaluer l'âge d'une attaque corrosive sur une coque de bateau en acier, sur les parties immergées ou aériennes.

Datation de la corrosion des coques acier



JC FRANTZ (REEMF) - 10 Mars 2021

Rappels basiques

La corrosion, génératrice de problèmes de sécurité.

Qu'est ce que la corrosion ?

C'est la dégradation d'un matériau sous l'action du milieu ambiant par un processus autre que mécanique.

Elle désigne l'altération d'un métal par réaction chimique avec un oxydant.

Différence entre oxydation et corrosion

L'oxydation est l'attaque du dioxygène, de l'air ou de l'eau en général, sur un matériau, tandis que la corrosion est le résultat de cette attaque >> la détérioration.

Facteurs déterminant la forme et la vitesse de corrosion

Ce sont le type de métal et l'environnement, notamment les gaz et autres fluides en contact avec le métal, qui déterminent ces facteurs.

Facteurs déterminant la forme et la vitesse de corrosion

Ce sont le type de métal et l'environnement, notamment les gaz et autres fluides en contact avec le métal, qui déterminent ces facteurs.

Types de métaux

4 groupes :

- Basics : Cuivre, plomb, étain
- Ferreux : Fer, manganèse, molybdène, cobalt, tungstène, chrome
- Précieux : Or, argent, platine
- Radioactifs : Plutonium, uranium, radium, thorium.

L'oxydation du fer est la plus connue, le fer étant l'un des métaux les plus corrosifs.

Types de corrosion

Forme la plus classique.

La surface entière du métal sert à l'oxydation



Corrosion localisée par piqûres

Progresse en profondeur en provoquant des perforations.

Les aciers inox sont très sensibles à cette forme de corrosion



Corrosion localisée par crevasses

Nécessite un temps d'incubation relativement long.

Apparaît dans les contacts métal/métal ou matière plastique, sous les salissures marines



Corrosion inter granulaire

Corrosion très localisée au niveau des joints de grains alors que le reste du matériau n'est pas attaqué.



Corrosion galvanique

Contact entre métaux de type différent en environnement humide



Corrosion en « millefeuille »



Principes

La datation du phénomène de destruction d'un métal ferreux par corrosion est basée sur l'évaluation du poids de matière détruite et perdue pour un « échantillon de référence » de ce métal.

Cette méthode de datation s'applique à des tôles de bordé mais moins a des pièces massives.

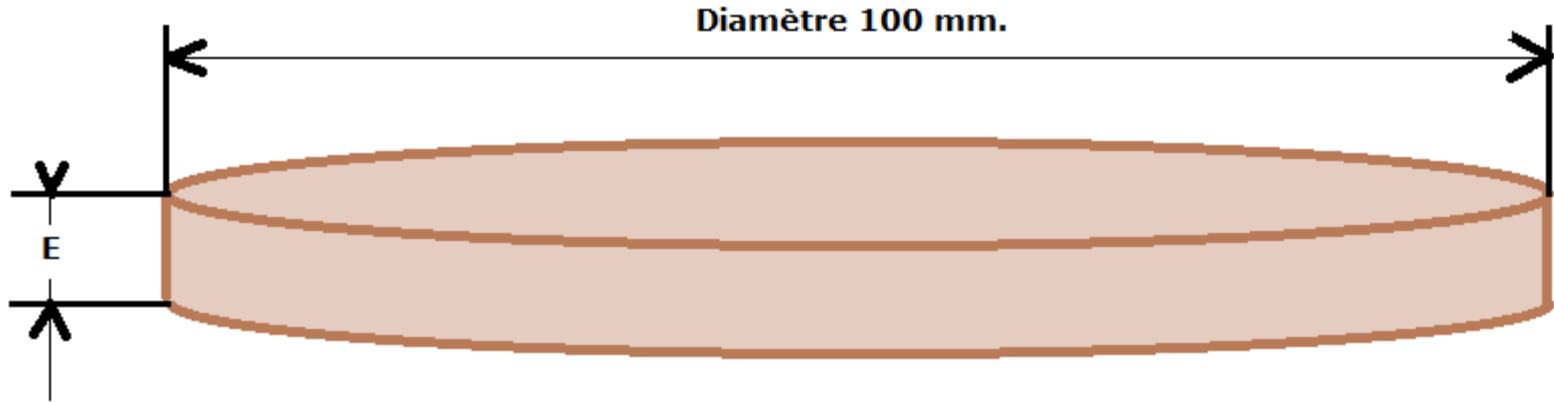
Elle est adaptée à la structure des bateaux et navires.

L'évaluation quantifiée est convertie en « temps » par les abaques de COLLEE qui donnent « l'âge » de la corrosion en années, en fonction de la perte de matière exprimée en grammes/dm² de surface de métal et ce dans les 2 configurations suivantes :

- Surfaces non immergées > Corrosion atmosphérique
- Surfaces immergées > Corrosion en immersion

Échantillon de référence

On définit un disque virtuel de métal de 100 mm. de diamètre et de l'épaisseur de la tôle de bordé saine.



E = Épaisseur nominale de la tôle neuve (très largement représentée)

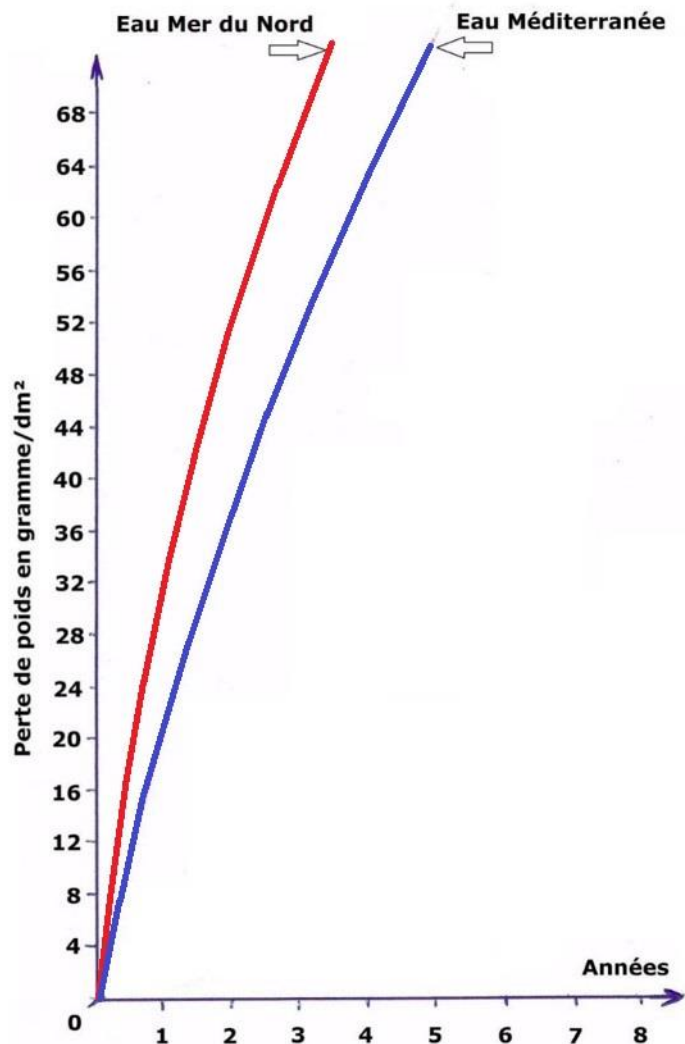
On place ce disque virtuel au centre de notre maillage de mesures et on lui affecte la valeur des mesures d'épaisseur relevées.

Une fois la perte de poids de cet échantillon déterminée en grammes par dm², il suffira de reporter cette perte sur l'abaque de COLLEE correspondante à la situation et l'âge de la corrosion sera donné en années.

Les abaques de COLLEE

Corrosion en immersion

ABAQUE 1

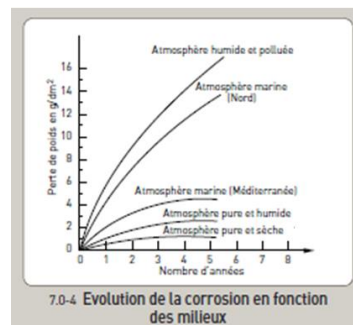
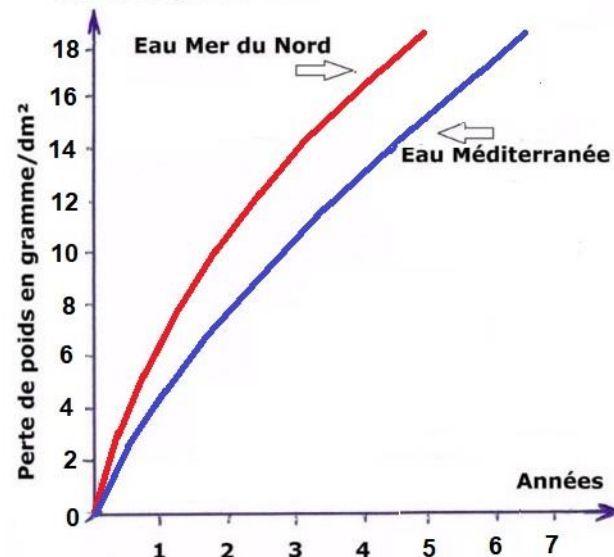


L'écart entre Mer du Nord et Méd. se justifie entre autres, par la salinité différente de l'eau :

- 38,4 à 41,2 g/L en Med.
- 34,2 à 37 g/L en Mer du Nord ainsi que par la valeur de la corrosion atmosphérique ~ 3 x supérieure en Mer du Nord.

Corrosion atmosphérique

ABAQUE 2



De la forme de la corrosion ...

On peut dire que la corrosion d'une tôle de bordé de bateau génère une perte de matière en forme de cuvette.

C'est même une forme très courante de corrosion par piqûres ou corrosion localisée. Au lieu d'une usure uniforme sur toute la surface, la corrosion se concentre en des points spécifiques, créant des dépressions ou des creux qui peuvent effectivement ressembler à des cuvettes.

Dans le premier exemple qui suit, il s'agit d'évaluer l'âge de la corrosion qui a réduit la tôle de bordé non immergée de 5 mm d'origine à 4,5 mm. en fond de cuvette.

Dans le second exemple, il s'agit d'évaluer l'âge de la corrosion qui a perforé la tôle de bordé immergée de 5 mm d'origine, L'épaisseur de cette tôle est donc passée de 5 à 0 mm.

Il ne va donc pas rester grand-chose de notre échantillon de référence virtuel de 100 mm de diamètre et de 5 mm, d'épaisseur.

Méthodologie

Principes

Les exemples suivants porteront sur la datation d'un phénomène de corrosion de bordé sans et avec perforation, ce qui est un cas extrême car perforation de bordé signifie destruction et perte de matière importante

L'évaluation de la perte de matière se fera par la mesure aux ultra sons des épaisseurs résiduelles de matière selon un processus prédéterminé.

Mode opératoire

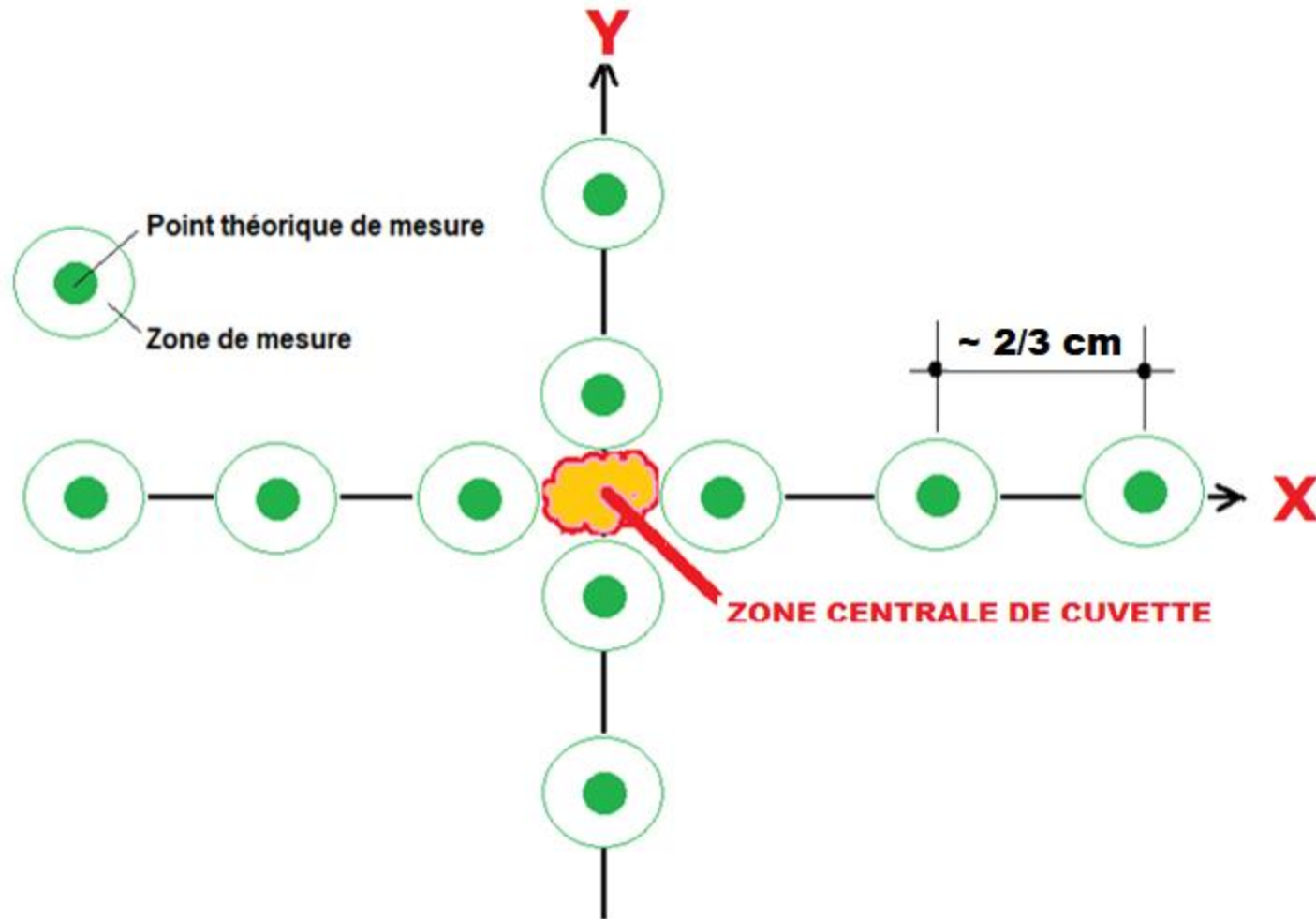
1. Le navire au sec, repérer la zone de tôle concernée, immergée ou non
2. Relever l'épaisseur originale de la tôle, soit par lecture du plan ou mieux par mesure sur une zone intacte décapée (Ex : $E = 5 \text{ mm.}$)
3. Repérer la zone de bordé à mesurer, avec perforation ou simple cuvette
4. Vérifier à l'intérieur de la coque l'absence d'éléments structurels ou autres susceptibles de « contrarier » les mesures d'épaisseur
5. Tracer à l'extérieur de la coque un maillage en croix de la façon présentée page suivante
6. Mesurer les épaisseurs de tôle en chaque point repéré

Exemple 1

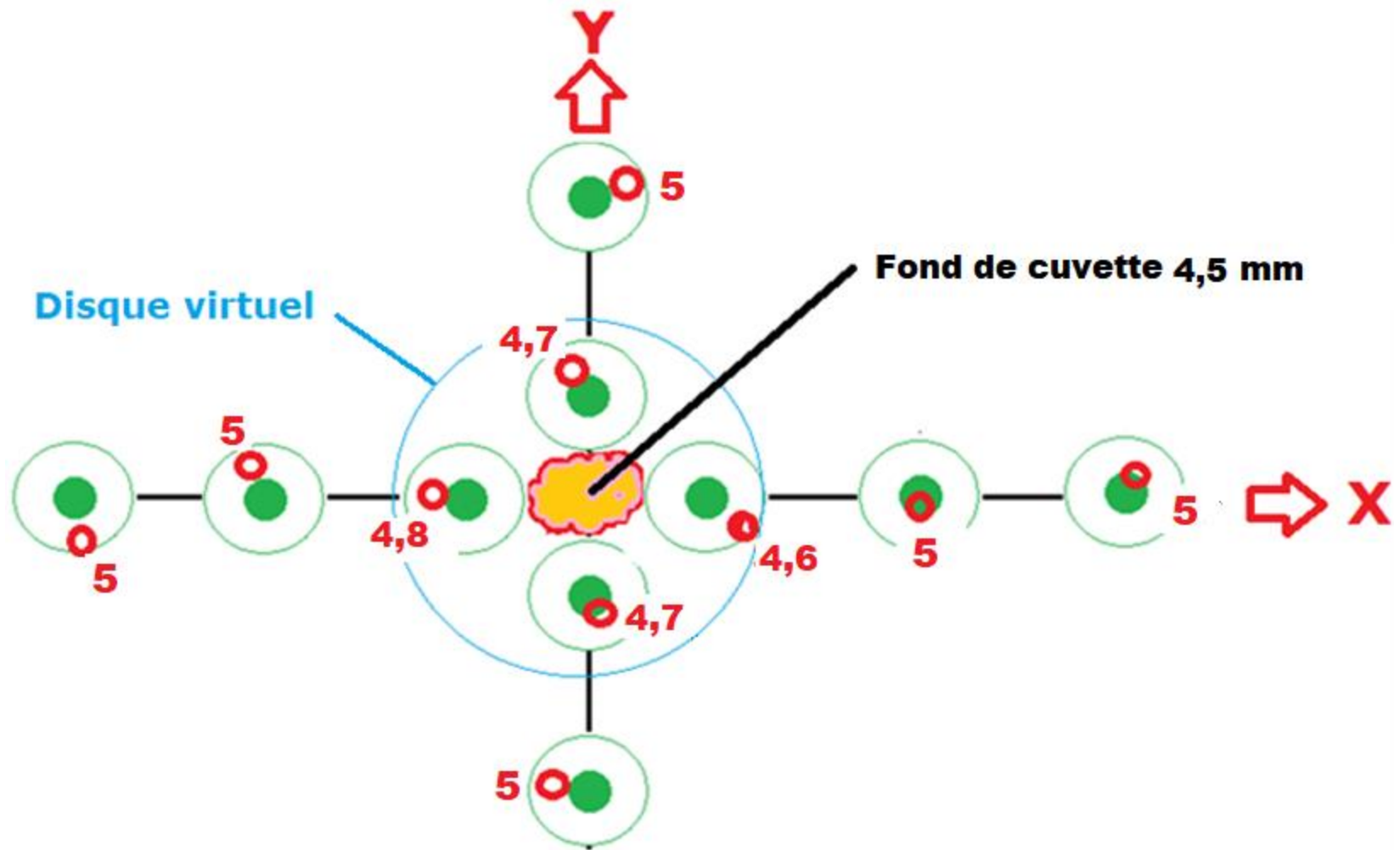
***Datation de corrosion non perforante
au dessus de la flottaison***

Epaisseur de la tôle d'origine : 5 mm.

Tracé du maillage



Mesure des épaisseurs aux ultra sons



Ce qui nous donne une topographie + ou – correcte de la zone corrodée intérieure

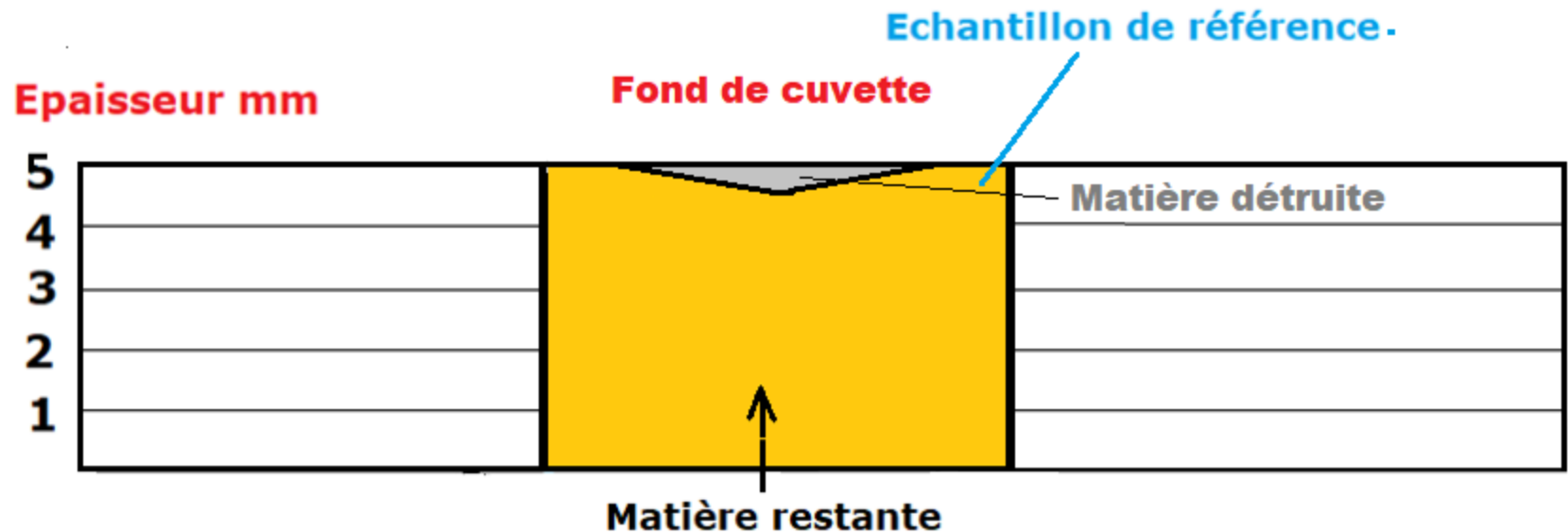
Mesure aux ultra sons, dans la réalité...



Les valeurs portées ci-dessus ne sont pas les valeurs utilisées dans l'exemple qui suit

Positionnement et analyse dimensionnelle de l'échantillon de référence

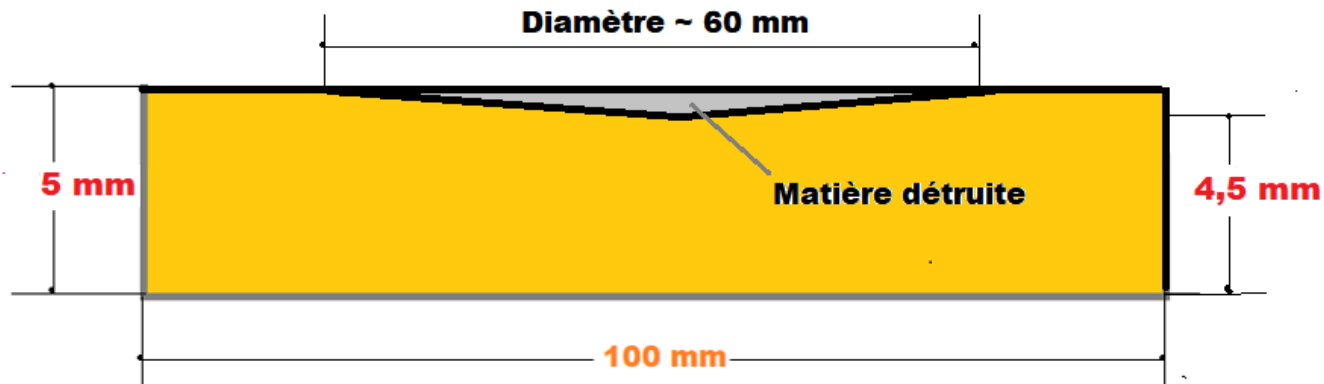
Profil de la 'cuvette' selon l'axe X seul



Le fond de la cuvette de corrosion est au centre de l'échantillon dont l'épaisseur résiduelle à cet endroit est de ~4,5 mm.

() Echelle dimensionnelle non respectée*

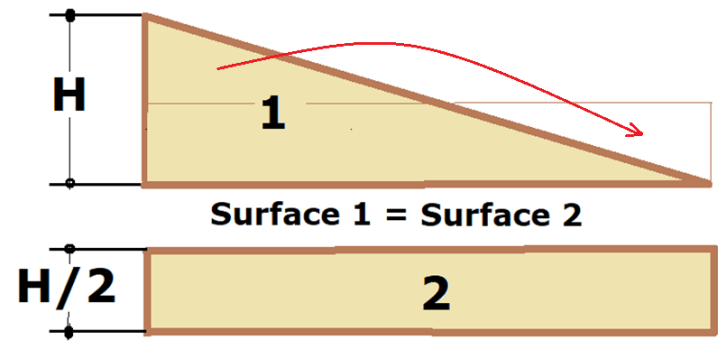
Ce qui donne un échantillon de cette forme ...



La matière détruite, en application du principe ci-dessous, se résume à un disque de métal de 60 mm de diamètre et de 2,5 mm d'épaisseur.

Surface 1 = Surface 2

En appliquant le principe de similitude suivant :



Le poids de matière perdue est donc égal au volume perdu x par la densité

Données :

Densité de l'acier : $\sim 8000 \text{ g/dm}^3$

Volume du disque virtuel original :

$50 \times 50 \times 3,14 \times 5 = 39250 \text{ mm}^3$ soit $0,0392 \text{ dm}^3$

Pois du disque virtuel initial :

$8000 \times 0,0392 = 313 \text{ grammes}$

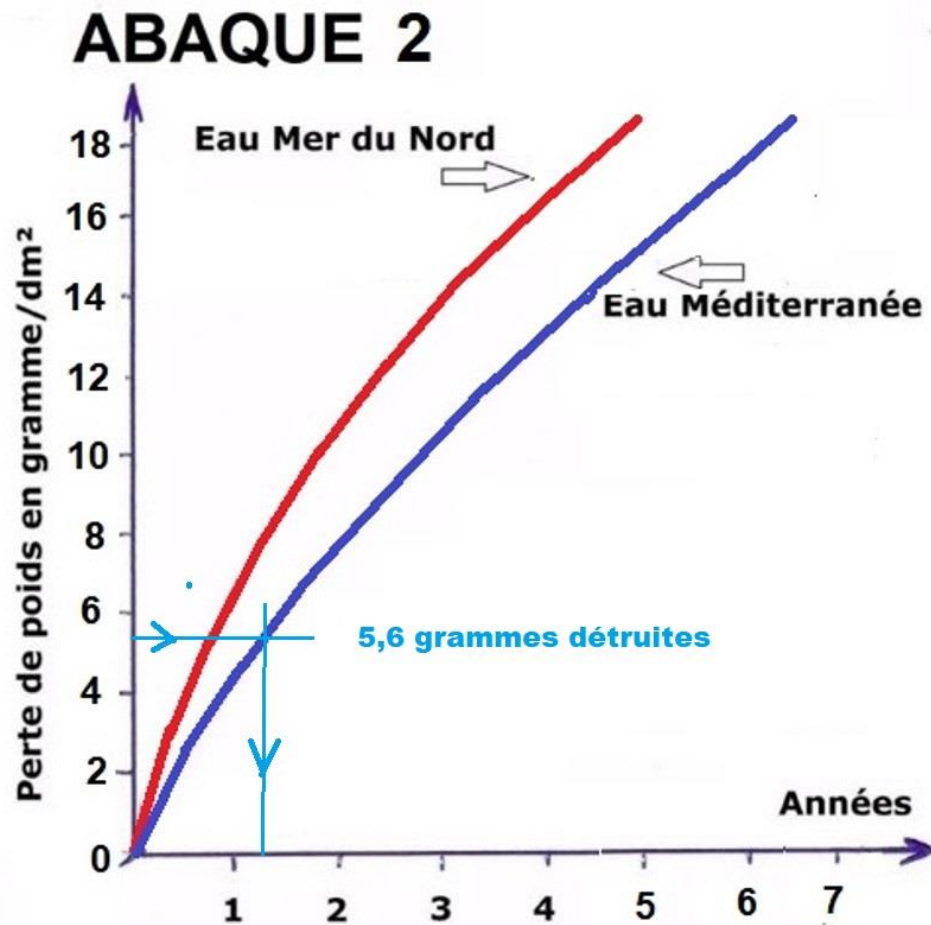
Volume de matière perdue :

$30 \times 30 \times 3,14 \times 0,25 = 706 \text{ mm}^3$ soit $0,0007 \text{ dm}^3$

Poids de la matière perdue :

$8000 \times 0,0007 = \sim 5,6 \text{ grammes}$

Il suffit maintenant de reporter cette valeur trouvée de 5,6 grammes de matière perdue pour en déduire l'année du début de la phase de corrosion en Med. par exemple



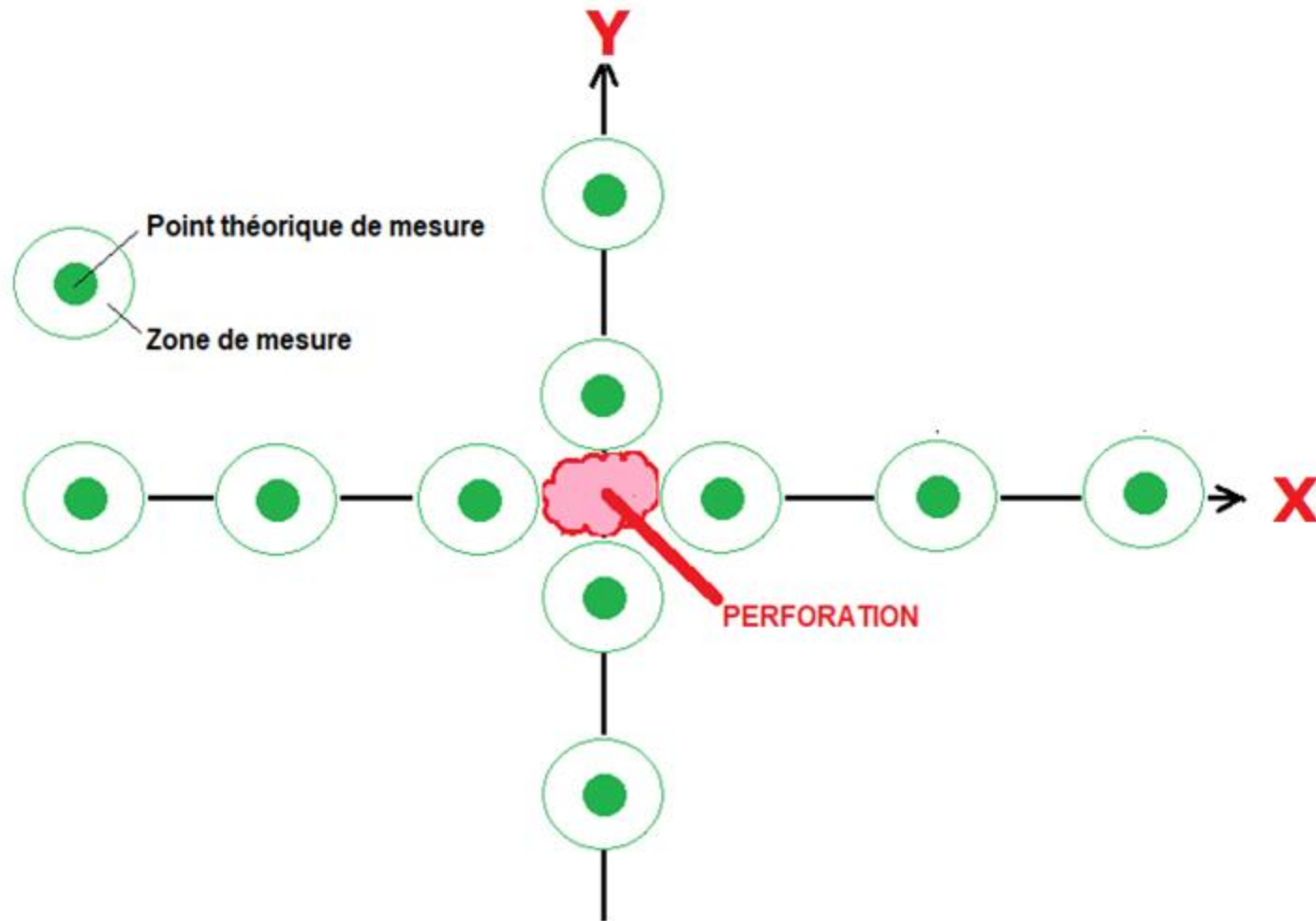
Cette corrosion sur une partie de bordé non immergé, à débuté il y a un peu plus d'une année.

Exemple 2

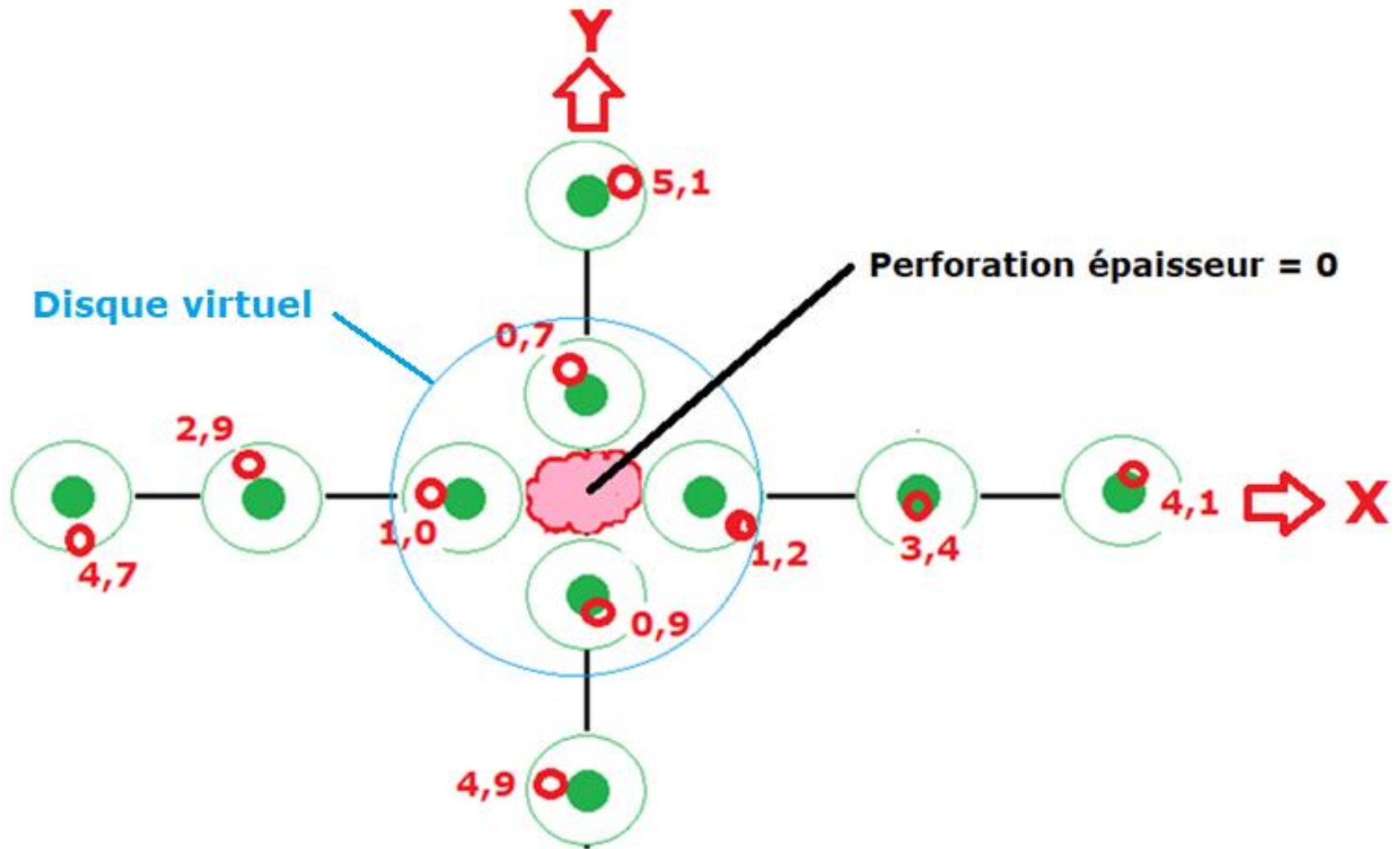
*Datation de corrosion perforante
au dessous de la flottaison*

Epaisseur de la tôle d'origine : 5 mm.

Tracé du maillage



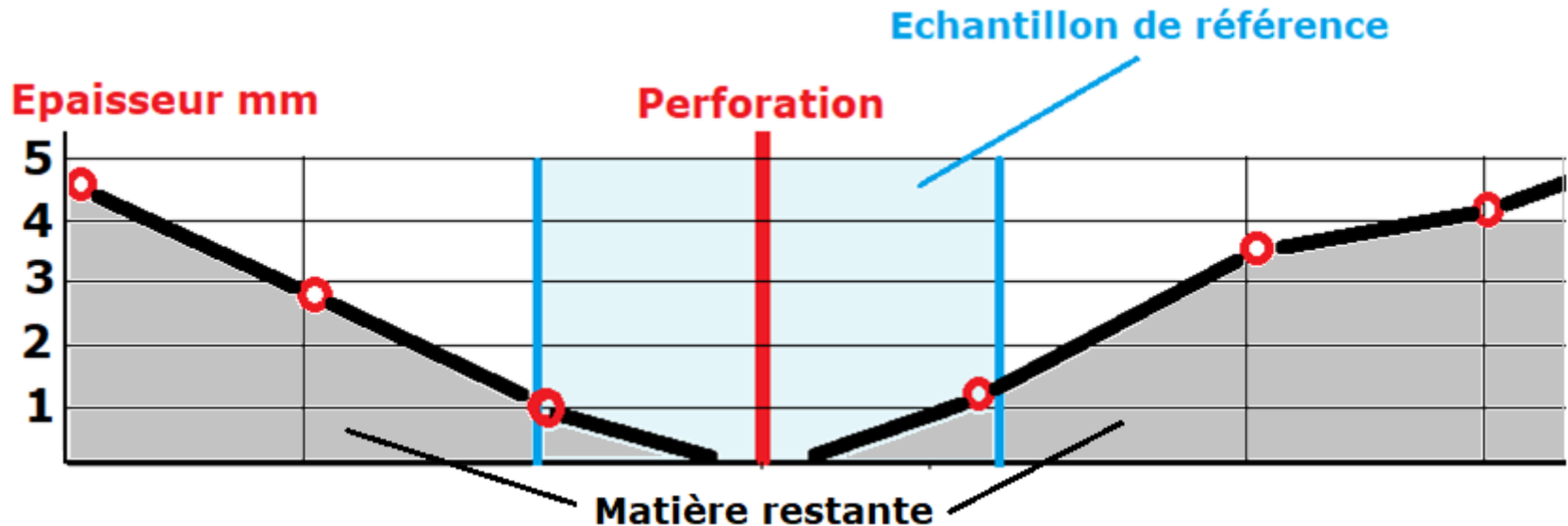
Mesure des épaisseurs aux ultra sons



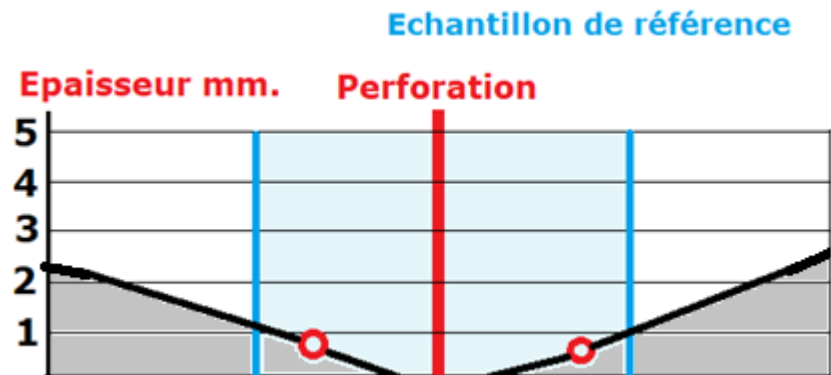
Ce qui nous donne une topographie + ou – correcte de la zone corrodée intérieure

Positionnement et analyse dimensionnelle de l'échantillon de référence

Profil de la 'cuvette' selon l'axe X



Selon l'axe Y

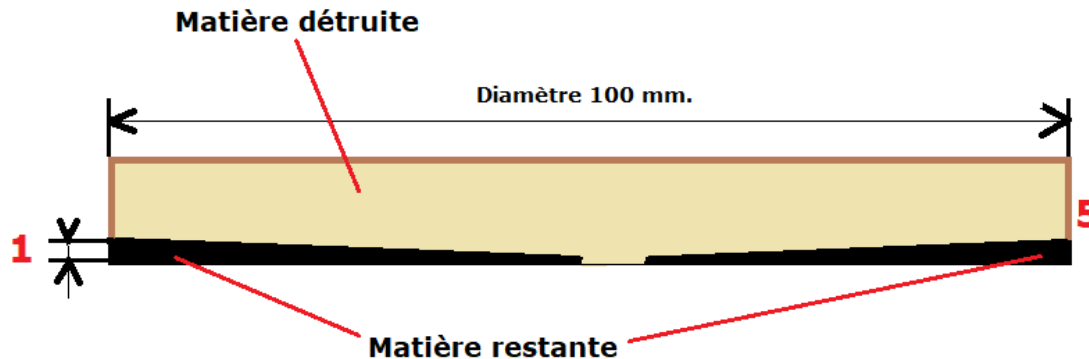


Épaisseur moyenne au niveau de l'échantillon de référence environ 1 mm

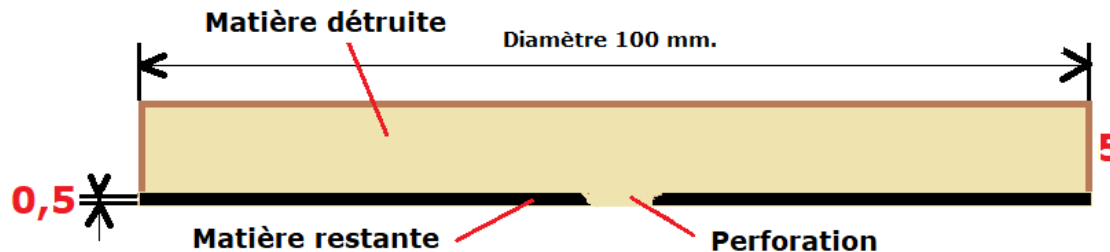
APPLICATION DE LA MÉTHODE

Les épaisseurs mesurées en périphérie de notre disque virtuel, sont d'environ 1 mm.

La coupe diamétrale de notre disque virtuel va donc donner ceci :



Par mesure de simplification, nous réduisons l'échantillon de référence en forme d'entonnoir approximatif à une rondelle équivalente plane de diamètre 100 mm. et d'épaisseur $1 \text{ mm.} / 2 = 0,5 \text{ mm.}$



Sachant que la densité de l'acier est de $\sim 8000 \text{ g/dm}^3$, que la surface du disque virtuel est de $0,78 \text{ dm}^2$ et son épaisseur 5 mm, soit $0,05 \text{ dm}$:

Le volume du disque virtuel entier est de :

$$0,78 \times 0,05 = 0,039 \text{ dm}^3$$

Son poids est donc de : $0,039 \times 8000 = 312 \text{ g}$.

Le volume du disque virtuel résiduel (ce qui reste réellement de matière) est de $0,78 \times 0,005 = 0,0039 \text{ dm}^3$

Son poids est donc de : $0,0039 \times 8000 = \sim 31 \text{ g}$.

Le poids perdu est donc de 281 grammes ($312 - 31$)

Le report de cette valeur sort complètement des données de l'abaque 1.

On peut en déduire que la corrosion de la coque a plus de 10 ans et que c'est la peinture et l'antifouling qui constituent l'essentiel de l'épaisseur de la coque à cet endroit et certainement à d'autres.

Méthode 'destructive'

Méthode plus rapide et plus simple mais qui nécessite le découpage de la tôle de bordé (avant remplacement d'un panneau par exemple*)

(*) Il est conseillé de demander l'avis du propriétaire du navire avant de sortir la disqueuse du coffre de la voiture

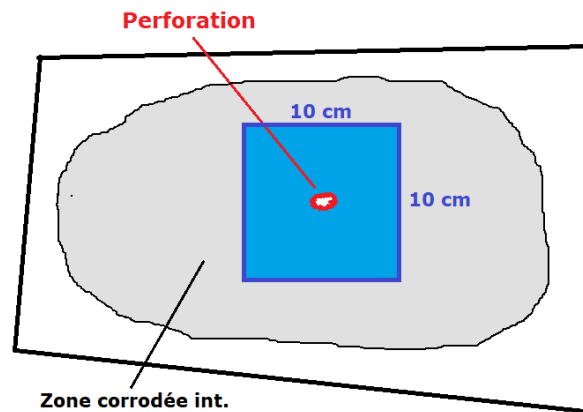
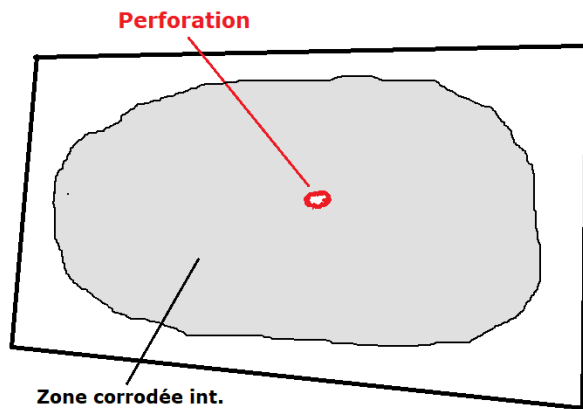
Méthode :

On découpe un élément de bordé + ou – carré ou rectangulaire largement supérieur à 10 cm autour de la perforation.

Après découpe, on s'arrange pour que la face intérieure soit dépourvue de fragments de lisses, de restes de cordons de soudure, etc...

On découpe ensuite un carré de 10 x 10 cm pour avoir directement notre échantillon de 1 dm² en centrant bien la perforation.

Il ne reste plus qu'à peser le carré de 10 x 10 pour déterminer la perte de poids.



CONCLUSION

Ces quelques diapos servent simplement à démontrer qu'il existe toujours quelque part une solution et une réponse à un problème rencontré en expertise.

Dater une corrosion, cela n'arrive pas tous les jours, heureusement, mais quand cela permet de régler des problèmes de responsabilité en expertise judiciaire, par exemple, il est bon de se rappeler que des gens ont travaillé il y longtemps sur le problème et que leurs écrits et conclusions existent quelque part.

Quelques infos sont reconnues quant au taux moyen de corrosion des tôles acier > Page suivante...

Taux moyen de corrosion des tôles en acier des coques de bateau

La perte d'épaisseur d'une tôle en acier au carbone dans l'eau de mer varie en fonction de nombreux facteurs : qualité de l'acier, environnement, protections appliquées (peinture, anodes), entretien, vitesse du navire, etc. Mais on retient les valeurs suivantes à titre indicatif :

<i>Environnement marin</i>	<i>Taux moyen de perte d'épaisseur sans protection (mm/an)</i>
Ligne de flottaison (zone alternée air/eau)	0,2 à 0,5 mm/an
Immersion totale (eau de mer, partie immergée)	0,1 à 0,3 mm/an
Atmosphère marine (partie au-dessus de la ligne de flottaison)	0,05 à 0,1 mm/an
Eau de ballast (cales)	0,3 à 0,5 mm/an voire plus si stagnante

Exemple :

Une tôle de 10 mm d'épaisseur pourrait perdre 2 à 4 mm en 10 ans si mal protégée en zone immergée.

En zones particulièrement agressives (alternance air/eau, piégeage d'humidité, corrosion sous dépôts), les pertes peuvent dépasser 0,5 mm/an localement.

Sources

La corrosion des coques en acier selon René COLLEE

René COLLEE a mis en avant plusieurs points clés :

1. Les mécanismes de corrosion : Il insiste sur les phénomènes électrochimiques qui se produisent au contact de l'eau de mer (milieu fortement conducteur), où des micro-piles locales se forment entre les zones anodiques et cathodiques de l'acier.

2. Les facteurs aggravants : Il souligne l'influence de l'oxygène dissous, de la salinité, des températures, des dépôts biologiques (biofouling), des courants électriques vagabonds et des contraintes mécaniques.

3. Les zones à risque : René COLLEE identifie les zones les plus sensibles de la coque : la ligne de flottaison (alternance air/eau), les fonds de cale, les zones de soudures et les zones protégées mal ventilées.

4. Les méthodes de protection :

Protection cathodique : par anodes sacrificielles (zinc, aluminium) ou courant imposé.

Revêtements protecteurs : peintures anticorrosion, revêtements époxy ou bitumineux.

Conception et entretien : il insiste sur l'importance d'une conception évitant les pièges à eau et d'un entretien régulier pour prévenir l'apparition de foyers de corrosion.

Références

René COLLEE a notamment publié dans des ouvrages et revues spécialisées comme *Le Chantiers de l'Atlantique*, *Bulletin de la Société des ingénieurs maritimes*, et il est cité dans de nombreux manuels d'architecture navale et de corrosion marine.