

## ***Corrosion des métaux en ambiances marines***

**En aucun cas notre responsabilité ne pourra être mise en cause en cas de dommage ou de phénomène de corrosion sur un matériel en aluminium**

### **Phénomènes et corrosion électrolytiques**

**Cet exposé est conçu avec la haute et très estimée participation de Karel Skala, ingénieur de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suisse.**

Ayant une rubrique sur l'aluminium, Je ne pouvais passer sous silence ce phénomène méconnu et très controversé. Bête noire des possesseurs de bateaux en métal, et plus particulièrement en aluminium, la corrosion électrolytique a déjà fait couler beaucoup d'encre et quelques bateaux.

Pour bien en comprendre le processus, il est important de revenir deux siècles en arrière.

Vers l'année 1800, monsieur Volta inventa la pile électrique. Le principe de cette pile reste le même aujourd'hui, et la corrosion électrolytique des métaux découle directement de ce principe.

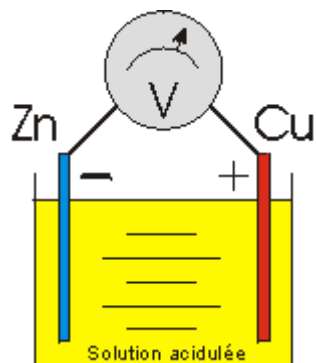
**Ce qui suit est une vulgarisation volontaire du phénomène.**

---

### **Principe de la pile électrique de monsieur Volta sous une forme pratique**

Prenons un réservoir en verre contenant une solution d'eau et d'acide sulfurique et plongeons une lame de zinc pur et une lame de cuivre; branchons ensuite entre ces deux lames un voltmètre, nous observons une polarisation des deux lames et donc une tension, environ 1 volt. La lame de cuivre étant positive par rapport à celle de zinc. La plaque de cuivre est donc le pôle positif (+) et la plaque de zinc le pôle négatif (-) de la pile que nous venons de créer.





### Polarisation des électrodes

Si le réservoir contient de l'eau pure, rien ne se passe.

Le liquide à l'intérieur du réservoir doit être conducteur et dans ce cas il est un électrolyte.

Dans la figure de gauche, le voltmètre indique une différence de potentiel entre les 2 lames, et donc une tension dès que nous remplaçons l'eau par une solution acide.

Le voltmètre ayant une résistance très grande, aucun courant ne circule entre les deux lames.

---

### Sens du courant électrique continu

Le courant électrique continu est dû à une **circulation d'électrons** entre deux pôles montrant une différence de potentiel.

Le sens du courant conventionnel, choisi arbitrairement lors des premières expériences, va du pôle positif vers le pôle négatif .

Pourtant il faut savoir que le courant **électrique réel** et par conséquent **la circulation des électrons va en sens contraire du courant conventionnel. Il va de l'anode vers la cathode.**

---

### Courant continu

Si dans notre réservoir d'eau acidulée nous relierons les deux lames par un conducteur métallique extérieur (fil de cuivre) passant par une résistance ( dans notre cas une ampoule ) en série avec un ampèremètre, nous pouvons constater facilement un courant électrique lorsque l'interrupteur est fermé. L'ampoule s'allume, l'ampèremètre dévie vers la droite.

Le courant va de l'électrode positive vers l'électrode négative et donc de la lame de cuivre vers la lame de zinc alors que les **électrons**, comme nous venons de le voir, vont dans l'autre sens.

Dès lors, nous retrouvons pour la solution d'acide sulfurique les conditions d'une **électrolyse**.

Ce qu'il est plus difficile d'observer maintenant, c'est ce qui se passe dans la solution acidulée appelée **électrolyte**.

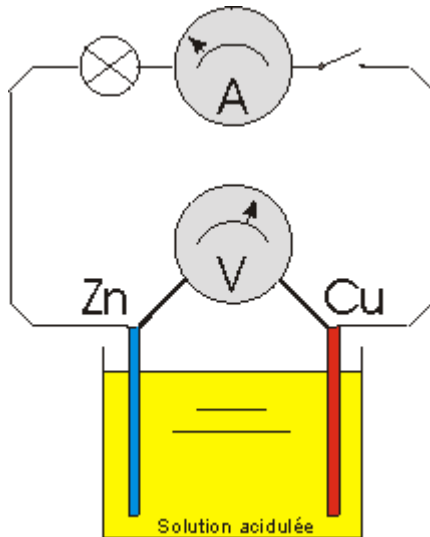
**Des charges positives, ions de zinc, (atomes chargés) se détachent de la lame de zinc et vont se déposer sur la lame de cuivre.**

La libération des ions de zinc sur **l'électrode négative** ( lame de zinc) est entretenue par le déplacement des

électrons (négatifs) au travers du **fil extérieur** (compensation des charges).

La présence de l'**électrolyte** (solution acidulée dans notre exemple) est obligatoire pour permettre la **migrations des ions métalliques** grâce à sa propriété **conductrice**.

### Observer l'animation



### Production de courant

Pour qu'un courant circule entre les deux électrodes, celles-ci doivent être reliées extérieurement à la pile. Dans notre cas par un conducteur passant par l'ampoule, l'ampèremètre et l'interrupteur.

Lorsque ce dernier est ouvert, le courant s'arrête dans le circuit extérieur ainsi que la migrations des ions de zinc dans la solution acidulée.

On peut comprendre aisément qu'il y ait une corrosion de la plaque de zinc.

Nous pouvons dire que nous savons, bien que très superficiellement, comment fonctionne une pile électrique.



### Electrolyte et échelle galvanique

Il est évident que la solution acidulé n'est pas le seul électrolyte possible.

En fait tout liquide **conducteur** peut servir d'électrolyte. En pratique nous rencontrons trois types d'électrolyte: **les acides, les bases et des solutions salines ( l'eau de mer notamment )**.

Les électrodes peuvent être des métaux très divers. Une échelle dite **galvanique** les classe suivant leur "**noblesse**" les uns par rapport aux autres. Dans le haut de cette échelle galvanique nous trouvons les métaux précieux, tel le platine ou l'or, alors que le zinc et l'aluminium sont en bas de l'échelle.

Plus les métaux constituant les deux électrodes sont espacés sur notre échelle, plus il y aura "cohésion" entre leurs atomes. C'est à dire que le métal le moins noble aura plus de facilité à

Platine  
Or  
Argent  
Inox 316  
Nickel  
Bronze  
Cuivre  
Laiton  
Plomb

abandonner ses ions au profit du métal le plus noble. Par exemple l'aluminium va se corroder au profit du cuivre, mais le zinc va se corroder au profit de l'aluminium.

**Fer**  
**Aluminium**  
**Zinc**  
**Magnésium**

---

### **En conclusion**

Pour construire une pile nous avons besoin d'un électrolyte dans un réservoir et de deux électrodes de métal différent. Pour obtenir une production de courant, il faut relier les deux électrodes par un conducteur.

---

### **Corrosion électrolytique sur un bateau en métal**

Supposons que vous possédiez un bateau en métal flottant sur l'eau salée de la mer.

1° L'eau salée est un électrolyte parfait, inépuisable.

2° la coque en métal de votre bateau constitue une électrode, de pôle indéfini pour le moment.

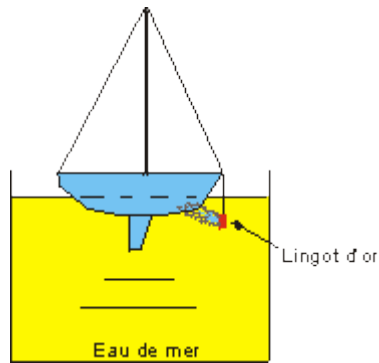
3° Imaginons que vous êtes l'heureux propriétaire d'un lingot d'or, et que pour une raison idiote (pardon) vous le laissez tremper dans l'eau, fixé à la coque du bateau par un câble en inox.

4° Si vous avez retenu le paragraphe précédent, vous admettez facilement que vous avez créé une superbe pile.

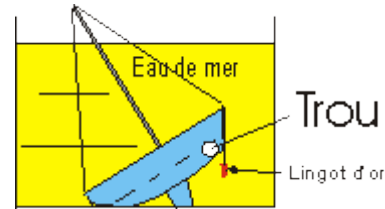
L'or étant **plus noble** que le métal de votre bateau, il est forcément le pôle positif de cette pile.

Or nous savons que le métal le **moins noble** (électrode négative et dans ce cas le bateau) est tout disposé à laisser partir ses ions vers le métal le plus noble (électrode positive).

Si vous laissez les choses dans l'état et que vous ne retirez pas le lingot de l'eau pour le mettre dans un coffre à la banque, il y a de très fortes chances pour que vous retrouviez votre bateau posé sur le fond.



 agrandir



---

Mais alors vous allez me dire: << Et si au lieu de pendre un lingot d'or on pend un lingot de zinc? >>

Alors là je vous félicite, vous avez compris la leçon précédente, et votre histoire de pendre un lingot, pourvu qu'il soit d'un métal moins noble que celui de votre bateau, est une vraiment bonne chose:

La coque de votre bateau est en acier, mais une pièce du gouvernail est en bronze.

Houlala! encore une pile! Oui, mais cette fois, si vous placez judicieusement votre lingot de zinc avec son câble, c'est lui, métal moins noble que le fer, qui subira l'influence de ce méchant bronze, en se sacrifiant pour conserver le fer de la coque intact.

Le lingot de zinc devient une **anode et la pièce en bronze une cathode.**

C'est pourquoi tous les navires en acier ont des anodes de zinc soudées ou boulonnées sur leurs œuvres vives (partie immergée du bateau)

haut de page 

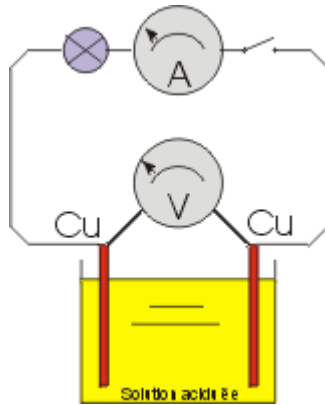
---

### Courant imposé

Les choses seraient si simples si nous vivions au temps où il n'y avait pas d'électricité à bord des bateaux. Comme nous l'avons vu plus haut, il suffit de placer judicieusement quelques anodes de zinc sur la coque de notre bateau pour la préserver d'éventuels courants rongeurs de métal. Mais à notre époque moderne, les bateaux possèdent un moteur équipé d'un démarreur, actionné grâce au générateur de courant que sont les batteries.

Bien que d'autres appareils électriques complètent l'équipement standard d'un bateau moderne, nous allons voir

que notre phénomène de corrosion électrolytique se complique un peu:

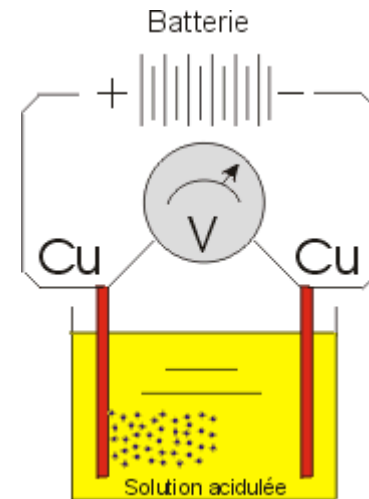


### Electrodes de même nature

Si nous reprenons notre graphique montrant une pile active, et que nous remplaçons l'électrode de zinc par une en cuivre, les deux plaques étant **de même métal**, nous pouvons constater aucun phénomène électrique. Aucune tension ni courant quand on ferme l'interrupteur. Il n'y a **aucun échange** entre les deux électrodes et donc aucun effet de pile sur ce nouveau dessin

### Courant imposé

Si nous polarisons les deux électrodes de cuivre avec un générateur de courant, et dans notre cas une batterie, nous retrouvons une situation d'électrolyse. L'électrode branchée au + de la batterie est donc positive et devient par conséquent l'anode, tandis que celle branchée au moins est la cathode. A nouveau, les ions de cuivre chargés positivement de l'anode se détachent au profit de la cathode qui les reçoit. Il y a corrosion de l'anode.



Si nous remplaçons les deux électrodes en cuivre par d'autres en zinc ou par un autre métal, le phénomène restera

le même si on impose un courant entre les deux électrodes.

---

### Courant imposé sur des électrodes de différente nature

Supposons maintenant que dans notre récipient contenant une solution acidulée, nous placions une électrode en **cuivre** et l'autre en **or**. Si nous laissons tel quel, nous avons vu plus haut que le métal le moins noble, ici le cuivre, va se corroder, s'est à dire laisser ses ions s'échapper vers l'électrode la plus noble, par conséquent celle en or. **Mais alors que se passe t-il si nous imposons un courant entre ces deux électrodes?** Reprenons notre schéma ci-dessus intitulé **courant imposé**. Polarisons les deux électrodes grâce à un générateur de courant, celle en cuivre positivement par rapport à celle en or. Dans ce cas nous allons accélérer la corrosion de l'électrode en cuivre qui va finir par disparaître. **Par contre, si nous renversons les polarités et que l'électrode en or soit alors positive, nous allons pouvoir constater que des ions d'or chargés positivement vont se détacher et migrer vers l'électrode de cuivre. Nous venons précisément de réinventer le procédé qui permet la dorure d'un autre métal.** Il en sera évidemment de même avec le chrome, l'argent ou tout autre métal. Nous pouvons dire désormais que dans un électrolyte, si nous polarisons deux électrodes métalliques de nature différente, **c'est la plus positive que va se corroder au profit de l'autre.**

### Courant imposé sur un bateau métallique

Imaginons alors un bateau en aluminium moderne, équipé d'un générateur de courant tel que la ou les batteries. Nous avons un électrolyte qui est l'eau de mer. Le point le plus négatif de l'ensemble est le **moins (-)** de la batterie, le plus positif le **plus (+)** de la batterie. Par conséquent, en se souvenant de ce que nous avons appris précédemment, il est logique de penser que la coque en aluminium doit rester négative par rapport à l'ensemble. **Le moyen le plus sûr est de brancher le moins de la batterie à la coque par un solide câble et de bonnes connexions;** celle-ci ne pourra jamais être positive et nous allons par ce moyen limiter considérablement les risques de corrosion électrolytique. **Je ne vous conseille en aucun cas de faire le contraire, c'est à dire de connecter le plus (+) à la coque, ce serait une folie.** Un autre moyen serait d'isoler parfaitement la coque de toute source de courant. Nous créons ainsi une masse flottante.

haut de page 

### Masse flottante

Isoler la coque de notre navire serait effectivement une solution envisageable pour éviter tout problème, et

d'ailleurs cette solution est préconisée par de nombreux constructeurs sérieux, mais pas toujours très bien informés sur les problèmes de corrosion électrolytique. **Pour commencer sur le sujet, je préviens tout de suite que nous ne sommes pas d'accord sur tous les points.** Il est en effet difficilement envisageable que l'isolement de la coque sera toujours parfait. L'installation est plus compliquée puisqu'il faut isoler le **moins (-)** de la batterie avec la masse métallique du moteur. des relais seront ajoutés pour le démarreur . L'alternateur et les sondes seront bipolaires. Certains moteurs, sur demande, viennent tout équipés dans ce sens. Il faudra que le propriétaire ou le "mécanicien" soit capable de contrôler d'**éventuelles fuites**. Le moteur est relié à la coque par son arbre d'hélice, ses câbles de commande, son tuyau d'échappement etc. Imaginons une fuite de quelques milliampères du pôle positif vers la coque au travers d'une sonde et les problèmes commencent. Si au départ, l'installation ne présente aucune fuite, qu'en sera t-il au fil des années, le matériel vieillissant, sans compter les accessoires supplémentaires qui ne seront pas installés dans le règles. De plus, il n'est pas facile de faire des mesures de fuites, nous parlons de milliampères, voire de microampères. Il faudra débrancher tous les composants électriques et ceci n'est pas une mince affaire, et en plus il faudra les rebrancher comme il faut.

### **Quelle solution ?**

Alors qu'allons nous faire? Eh bien nous ferons comme si. Construisons une installation isolée de la masse et ajoutons ensuite une **liaison entre coque et moins (-) batterie**.

De plus, si le bateau est équipé d'un émetteur récepteur radioamateur, l'installation d'un tel équipement nécessite une mise à la masse parfaite. En admettant que le **moins (-)** batterie est relié à la coque solidement, si une éventuelle fuite du **plus (+)** vers la coque survient, que ce passera t-il? Eh bien les batteries vont se décharger doucement si la fuite est continue, mais la coque en métal restera saine et protégée.

### **Mise à la masse**

La connexion du **moins (-)** de la batterie ne doit pas être faite n'importe comment. Il faudra prévoir un câble conséquent, 35 voire 50mm<sup>2</sup>, et un coupe-batterie qui permettra, un fois ouvert, de mesurer si la coque est soumise à une tension positive et si un courant circule.