

# Étude de la corrosion dans l'agar-agar

Estudi de la corrosió dins l'agar-agar  
Study of corrosion in agar jelly

Philippe Delsate / INDSÉ, Bastogne, Belgique



## résumé

Cet article explique le développement d'un travail de laboratoire pour étudier la corrosion en utilisant un milieu d'agar-agar et la préparation d'une pile très simple que utilise une éprouvette, des électrodes et un milieu aussi d'agar-agar. On présente le mode opératoire des deux expériences et on donne quelques trucs et astuces pour réussir les séances de laboratoire et le travail avec les élèves. On donne aussi des exemples d'application au quotidien.

## paroles clé

Corrosion, laboratoire, clous de fer, pile, application au quotidien.

## resum

Aquest article explica el desenvolupament d'un treball de laboratori per estudiar la corrosió utilitzant un medi d'agar-agar i la preparació d'una pila molt senzilla que utilitza un tub d'assaig, elèctrodes i un medi d'agar-agar, també. Es presenta el procediment de laboratori de les dues experiències i es donen alguns consells i orientacions per tal de desenvolupar amb èxit les sessions pràctiques al laboratori i el treball amb els alumnes. Es donen també alguns exemples d'aplicació a la vida quotidiana.

## paraules clau

Corrosió, laboratori, claus de ferro, pila, aplicacions de la vida quotidiana.

## abstract

This article explains the development of a working laboratory used to study corrosion in an agar medium and a preparation of a simple battery that uses a test tube, electrodes and also a medium of agar. It presents the techniques of laboratory experiments and gives some tips and guidelines for developing successful science lab and work with students. There are also some examples of it's application in everyday life.

## keywords

Corrosion, laboratory, iron nails, battery, applications in daily life.

## Introduction

La corrosion est une réalité qu'il convient d'aborder dans un cours de chimie consacré aux réactions d'oxydo-réduction. Il y a des nombreuses applications, comme la protection anodique ou anode sacrificielle qui arrive au cas de la protection des canalisations ou des casques des bateaux.

On expliquera d'abord comment tout préparer au laboratoire, avec tous les détails des étapes de l'expérience. Après on expliquera quelques exemples d'application au quotidien et finalement comment ça marche avec les élèves. On complète l'article avec la description de procédé pour la préparation d'une pile avec des électrodes de cuivre et de zinc, qui aide aussi à la compréhension du phénomène.

## Étude expérimentale de la corrosion

La corrosion du fer sera étudiée par la mise en évidence des ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{OH}^-$ . Pour éviter une migration trop rapide de ces ions, les réactions seront réalisées en milieu solide (agar-agar ou gélatine). Le milieu solide permet d'analyser les résultats expérimentaux le lendemain (ou dans d'autres classes).

L'eau utilisée dans les diverses solutions est toujours de l'eau déminéralisée.

Si les élèves ne doivent pas préparer eux-mêmes les réactifs, une période de laboratoire devrait suffire.

## Matériel

4 éprouvettes pour les tests d'identification; 1 bécher de 250 mL.  
3 boîtes de Pétri (les couvercles peuvent également être utilisés).  
5 clous en fer, 2 pinces crocodiles.  
1 pile de 4,5 V et deux fils.

### Réactifs

$\text{NaOH } 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ , phénolphtaléine,  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ , agar-agar,  $\text{NaCl}$ , eau déminéralisée.

## Tests d'identification

- Dans une éprouvette, dissolvez un peu de  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  avec quelques mL d'eau.
- Dans une 2<sup>e</sup> éprouvette, dissolvez un peu d'un sel de Fe(II) avec quelques mL d'eau. Ajoutez-y quelques gouttes de la solution de  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  et notez vos observations.
- Dans une 3<sup>e</sup> éprouvette, dissolvez un peu d'un sel de Zn avec quelques mL d'eau. Ajoutez-y quelques gouttes de la solution de  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  et notez vos observations.
- Dans une 4<sup>e</sup> éprouvette, versez un peu de  $\text{NaOH } 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  et 2 gouttes de phénolphtaléine. Notez la couleur prise par l'indicateur.

## Préparation

### Préparation du milieu expérimental

Portez à ébullition 125 mL d'eau dans le bécher de 250 mL; dissolvez-y petit à petit 2,0 g d'agar-agar; laissez bouillir jusqu'à ce que la solution soit claire. Ajoutez 0,1 g de phénolphtaléine, 0,1 g de  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  et 4 g de  $\text{NaCl}$ .

**Attention!** En début d'ébullition, la solution peut mousser: il faut alors impérativement l'enlever de la plaque chauffante. Éteignez-la. La chaleur résiduelle servira à maintenir la solution d'agar-agar chaude pendant la préparation.



Les élèves préparent la dissolution d'agar-agar.



Les élèves préparent les clous.

**Préparation des clous**

- Pliez un clou en fer en son milieu à l'aide d'une pince.
- Donnez un trait de scie dans un clou en fer.
- Décapez une rognure de zin ; séchez-la et enroulez-la autour du milieu d'un clou en fer. Pour éviter de se blesser, il vaut mieux utiliser la pince.

**Préparation des boîtes**

Préparez les boîtes 1, 2 et 3 comme indiqué dans le tableau ci-joint. Pour la 3<sup>ème</sup> boîte:

- Cassez une mine de crayon de manière à obtenir deux petits morceaux de la hauteur d'une boîte de pétri. Maintenez ces deux morceaux verticalement de part et d'autre de la boîte avec deux pinces crocodile. Le graphite servira d'électrode inerte. Les pinces crocodile ne doivent pas pénétrer profondément dans la boîte.
- Versez la solution d'agar-agar dans chaque boîte de Pétri jusqu'à 1/2 cm. d'hauteur. Attendez quelques minutes. Dans la 3<sup>ème</sup> boîte, les pinces crocodile ne doivent, si possible, pas entrer en contact avec l'agar-agar. Un peu avant la solidification, placez dans les boîtes les divers clous sans qu'ils entrent en contact les uns avec les autres.

**Observations**

Les élèves observent ce qui a passé et écrivent ses observations dans la table.

**Préparation des boîtes****boîte 1:**

- 1 clou en fer.
- 1 clou en fer décapé et protégé par une rognure de Zn (protection anodique).

**boîte 2:**

- 1 clou en fer plié en son milieu.
- 1 clou en fer entamé par un trait de scie.

**boîte 3:**

- 1 clou en fer; raccordez 2 fils au générateur de courant continu et plantez l'autre extrémité de ces fils dans le gel, assez loin du clou.



Les élèves préparent les boîtes.



Les élèves observent les résultats des boîtes.

Patientez quelques minutes et notez vos observations sur le tableau ci-dessous. Vous pouvez également tenter de prévoir les réactions dans les différentes boîte.

Nature du clou	Observations
Fer	
Fer entouré d'une rognure de zinc	
Fer plié	
Fer scié	
Fer soumis à un champ électrique	

### Applications au quotidien

Les applications se basent au principe de la protection anodique ou anode sacrificielle.

#### Protection des canalisations

Une canalisation souterraine en fer est reliée par un fil de cuivre à un bloc de Mg (ou de Zn) situé en surface à l'abri des intempéries. Lorsqu'un atome de fer de la canalisation est oxydé, l'ion ferreux formé prend 2 électrons au magnésium et régénère le fer. Ainsi, la canalisation ne s'abîme pas, il suffit de remplacer régulièrement le bloc de Mg (ou de Zn).

#### Protection des bateaux

La protection des bateaux est basée sur le même principe. Un bloc de Mg est rivé à la coque et disparaît peu à peu.

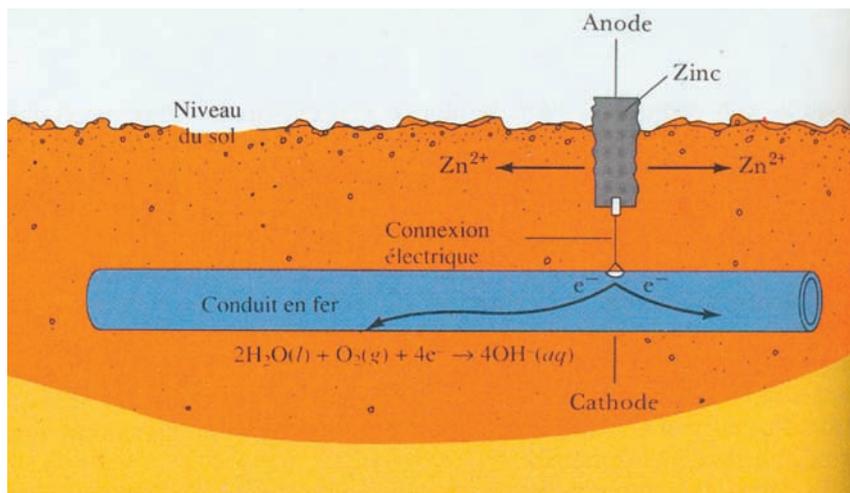
#### Visualisation du phénomène : l'exemple du taille-crayon.

Plongez un taille-crayon métallique dans de l'eau légèrement salée. Très rapidement, on voit apparaître dans le fond du récipient un dépôt blanc (hydroxydes de Mg et de Al); le taille-crayon est fortement attaqué mais la lame reste presque intacte! On peut voir un taille-crayon intact, le même taille-crayon après une nuit dans l'eau salée et une lame seule après une nuit dans l'eau salée. La lame était entièrement recouverte de rouille mais celle-ci se dissout lorsqu'on sort la lame de l'eau (figure 1).

#### Une pile sèche dans l'agar-agar

##### Matériel

- 1 bécher de 100 mL, 2 éprouvettes.
- 1 électrode de cuivre (fil partiellement dénudé).
- 1 électrode de zinc (lamelle).
- Réactifs: agar-agar,  $\text{CuSO}_4$  0,1 mol/L,  $\text{ZnSO}_4$  0,1 mol/L.



Source: Donald A. Mc Quarrie et Peter A. Rock, Chimie générale, Bruxelles, De Boeck Université, 1992, page 768.



Figure 1. Le taille-crayon avant et après l'eau salée, et la lame seule.

#### Préparation du milieu

Portez à ébullition 25 mL d'eau dans le bécher de 100 mL; dissolvez-y petit à petit 0,4 g d'agar-agar; laissez bouillir jusqu'à ce que la solution soit claire.

Attention! En début d'ébullition, la solution peut mousser: il faut alors impérativement l'enlever de la plaque chauffante. Éteignez-la. La chaleur résiduelle servira à maintenir la solution d'agar-agar chaude pendant la préparation.

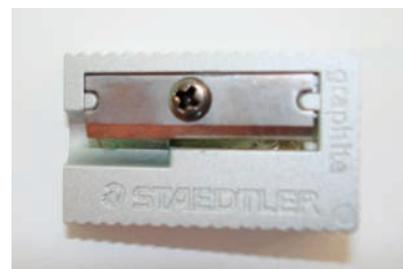


Figure 2. Un autre taille-crayon avant et après l'eau salée.

Et voici de nouveaux taille-crayons avant et après une nuit dans l'eau salée: ils résistent mieux (figure 2).



L'électrode de cuivre.

### Préparation de la pile

- À l'aide d'une pipette, prélevez 1 mL de la solution de  $\text{CuSO}_4$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  et versez-le dans une éprouvette. Ajoutez-y 11 mL de la solution d'agar-agar et plongez-y l'électrode de cuivre (cette électrode peut servir à homogénéiser le mélange). Veillez à ce que la partie dénudée ne sorte pas de la solution (l'isolant devrait plonger d'au moins un cm dans la solution). Laissez solidifier.
- À l'aide d'une pipette, prélevez 1 mL de la solution de  $\text{ZnSO}_4$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  et versez-le dans une deuxième éprouvette. Ajoutez-y 11 mL de la solution d'agar-agar. Agitez pour mélanger. Versez le contenu sur la solution de  $\text{ZnSO}_4$  solidifiée et plongez-y l'électrode de zinc. Laissez solidifier.
- Raccorder les deux fils à un volt-mètre pour mesurer la tension fournie (de l'ordre de 1 V). Raccordez ensuite la pile à une petite résistance pour observer l'évolution des électrodes au cours du temps.

### Travail avec les élèves

#### Répartition du temps

Le mode opératoire que nous avons utilisé poursuit deux objectifs: faire une étude originale de la corrosion et fabriquer une pile sèche de type Daniell. Des professeurs expérimentés sont capables, quoique parfois avec difficulté, de gérer correctement leur temps de travail et parviennent à mener les deux manipulations simultanément. Il faut éviter de cumuler ces deux manipulations avec des élèves, même en fin d'études secondaires (dix-sept ans environ).

Il est donc préférable de choisir, quelques élèves réalisent une pile et d'autres élèves font l'étude de la corrosion.

Il est parfois nécessaire de gagner du temps, par exemple si l'on ne dispose que d'une heure pour faire la manipulation. On

peut alors préparer le milieu à l'avance et le stocker dans une éprouvette. Il suffit de chauffer ces éprouvettes au bain-marie quelques minutes avant de commencer. Pour aller encore plus vite, on peut placer ces éprouvettes deux minutes dans une casserole à pression. La quantité de milieu contenue dans une éprouvette convient parfaitement à une boîte de Pétri. Il faut donc autant d'éprouvettes que de boîtes. Le milieu se conserve ainsi très longtemps, à condition de bien boucher l'éprouvette.

#### Difficultés éprouvées par les élèves

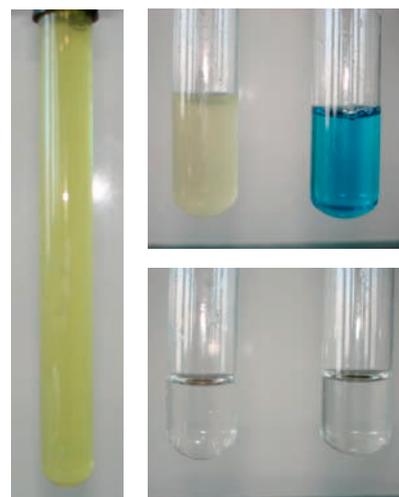
Sans danger, la manipulation ne présente pas de difficulté importante. Le seul petit problème qui se pose c'est le moment choisi pour introduire le(s) clou(s) dans l'agar-agar. Il faut que le milieu soit un peu refroidi mais pas encore solide. Si on introduit le clou trop tôt, le phénomène de corrosion s'accélère et les ions migrent très (trop) vite et envahissent le milieu. Si on introduit le clou trop tard (le milieu est déjà en voie de solidification), il n'y a plus un bon contact entre le clou et le milieu et les observations sont plus délicates à faire.

#### Observation et interprétation des résultats

On peut fermer les boîtes de Pétri pour l'observation; cela évite de détruire malencontreusement le milieu. Il est préférable de faire les observations à travers le fond de la boîte et non à travers le couvercle (le milieu adhère au fond, ce qui rend l'observation encore plus facile).

#### • Les tests d'identification

La première observation faite par les élèves concerne les tests d'identification. Signalons l'importance de ces tests en chimie. Les élèves constatent donc que les ions  $\text{Fe}^{2+}$  donnent avec le  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  une teinte bleue et

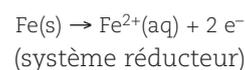


Test d'identification avec le  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ .

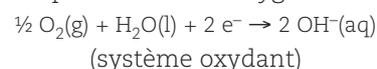
qu'avec ce même réactif, les ions  $\text{Zn}^{2+}$  donnent une teinte blanche comme le montrent les photos ci-contre (avant et après l'ajout de  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ). L'addition de deux gouttes de phénolphthaléine dans un milieu légèrement basique donne au milieu une teinte mauve (si les élèves ont déjà vu la théorie des acides et des bases et s'ils ont réalisé quelques titrages, ce test n'est pas nécessaire sinon comme rappel).

#### • Corrosion simple

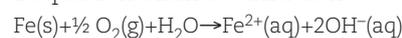
En observant le clou simple (ni plié, ni abîmé, ni protégé), les élèves comprennent aisément que la corrosion attaque préférentiellement les parties qui ont subi une contrainte (ici, essentiellement la pointe et la tête). Les ions négatifs recouvrant le reste du clou. Il faut amener les élèves à écrire les systèmes mis en jeu. S'il est évident que le fer perd deux électrons pour donner l'ion ferreux:



il est moins évident de comprendre que les ions négatifs sont engendrés par l'eau et le dioxygène:



L'équation bilan s'écrira donc:



C'est intéressant de faire remarquer aux élèves (ou de les



La corrosion simple.

amener à déduire) qu'il faut l'action combinée de l'eau et du dioxygène pour que la corrosion naturelle ait lieu; une poutre de fer rouille peu dans une eau croupie ou en milieu très sec.

#### • Corrosion d'un clou abîmé ou plié

Comme on pouvait s'y attendre, la pliure engendre une contrainte qui va favoriser la corrosion. Il en est de même pour le clou entamé par un trait de scie. On voit très bien que des ions ferreux sont produits sur la partie entamée par la scie. Si un objet métallique a subi une contrainte, c'est là que la corrosion va attaquer (important pour les carrosseries de voiture!).

#### • Corrosion d'un clou protégé par Zn

On voit très bien l'absence d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  (absence de couleur bleue) mais la présence d'ions  $\text{Zn}^{2+}$  (couleur blanchâtre au niveau du zinc). Le zinc est un meilleur réducteur que le fer ; c'est donc lui qui cède les électrons. Les  $\text{OH}^-$  envahissent le reste du clou (même la pointe) qui ne rouille pas.

La protection des coques métalliques des navires ou des canalisations

enterrées profondément sont des applications de cette expérience.

#### • La pile dans l'agar-agar

C'est une pile sèche. Malheureusement, cette pile ne fournit pas un courant assez important pour faire briller une petite ampoule. On peut cependant mesurer la tension qu'elle fournit (entre 1,0 et 1,1 V). Si on



Corrosion d'un clou abîmé ou plié.

la raccorde à une faible résistance, on peut voir évoluer les électrodes.

#### Avantage de la méthode du travail de la corrosion

Dès que le milieu est solidifié (quelques minutes) on peut déjà observer la présence (ou l'absence) des ions  $\text{Fe}^{2+}$ . On ne peut bien voir la couleur engendrée par les  $\text{OH}^-$  ou les  $\text{Zn}^{2+}$  qu'après quelques heures.

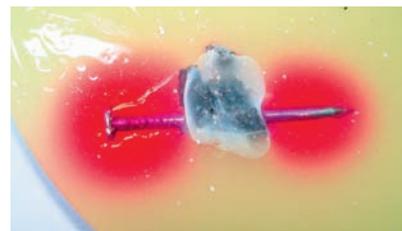
Si l'observation et/ou l'interprétation ne peuvent se faire qu'après plusieurs jours, on peut facilement stopper la migration des ions en conservant les boîtes de Pétri au réfrigérateur. On peut aussi en profiter pour étudier le phénomène de corrosion avec des élèves qui n'ont pas de pratique de laboratoire dans leur horaire. En faisant circuler des boîtes fermées, il n'y a aucun danger qu'un élève détériore le milieu expérimental. Les élèves peuvent donc comparer leurs résultats avec ceux d'autres groupes. Bien sûr, toutes les boîtes ne donneront pas les mêmes résultats (parfois la tête de la pointe n'est pas corrodée et les  $\text{OH}^-$  l'envahissent; parfois le zinc ne «colle» pas au fer, le milieu s'insinue entre les deux métaux et le fer n'est pas protégé) mais c'est aussi cela l'expérimentation.

#### Références

BÉRANGER, Gérard; TALBOT, Jean.

«Corrosion». dans: *Encyclopaedia Universalis. La nouvelle édition*. S. l.: Encyclopaedia Universalis, 2009.

GRÉGOIRE, D. *Chimie au collège*. IUFM de la Réunion [en ligne]. Saint-Denis: Instituts Universitaires de Formation des Maîtres, 27 febrer 2007. <<http://www.reunion.iufm.fr/Dep/physiques/phys-chimie/index.htm>>



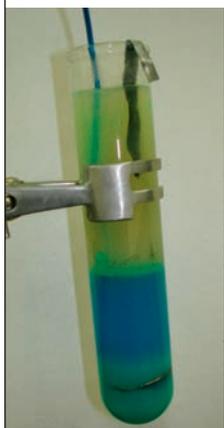
Corrosion d'un clou protégé par Zn.

Le livre multimédia de la corrosion [en ligne]. Version 2.0. Lyon: INSA Lyon. Laboratoire de Physicochimie Industrielle, s. d. <<http://www.corrosion.com>> «Les piles – La corrosion» [en ligne]. <<http://www.phgeorges.free.fr/docs/sc-tbep/corrosion.doc>> McQUARRIE, Donald A.; McQUARRIE, Carole; ROCK, Peter A. *Chimie générale*. Bruxelles: De Boeck Université, 1991, p. 766-768.



Philippe Delsate

est licencié en Sciences Chimiques des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix à Namur en Belgique (juin 1974). Agrégé de l'Enseignement Secondaire Supérieur en Sciences Chimiques (septembre 1974). Professeur de sciences à Bastogne, depuis septembre 1974, au Petit Séminaire qui depuis est devenu l'Institut Notre-Dame Séminaire (INDSé). Auteur de divers logiciels, quelques articles sur la mise au point de quelques expériences de chimie, de recueils de questions concernant la matière de chimie de 5<sup>ème</sup> et de 6<sup>ème</sup> secondaire, de recommandations pour une meilleure de la sécurité dans les laboratoires de Sciences, et d'un manuel de sciences pour les 4èmes. Formateur depuis 20 ans pour la formation continue des enseignants. Mais surtout, passionné d'enseignement de sciences et d'expérimentation. A.e. [philippe.delsate@skynet.be](mailto:philippe.delsate@skynet.be)



Pile dans l'agar-agar.