

TITRE IVRECHERCHES MICROBIOLOGIQUES ET SUR LES ACIDES ORGANIQUES

Le présent rapport a pour objet de mettre en évidence quelques aspects du rôle que peuvent jouer les microorganismes en matière de corrosion.

C'est un fait bien connu que de nombreuses bactéries de l'eau et du sol manifestent leur activité dans certaines conditions seulement et nombreuses sont celles qui peuvent supporter des doses de chlore qui détruisent aisément les organismes pathogènes. C'est le cas pour les organismes réducteurs de sulfate, qui peuvent supporter au moins 20 p.p.m. de chlore. Les types et les nombres de bactéries qui peuvent se maintenir en développement actif dans une situation donnée dépendent largement du milieu ambiant. De nombreuses bactéries qui ne sont pas capables de se développer dans un milieu ambiant déterminé peuvent néanmoins y subsister en état de non activité, pour se multiplier ensuite rapidement si le milieu devient plus favorable.

La corrosion bactériologique peut se produire de différentes manières :

- a) Par action directe, par exemple, production bactériologique de substances telles que le gaz carbonique, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque, les acides organiques et inorganiques.
- b) Par dépolérisation ou catalyse de réactions de corrosion par des substances résultant du métabolisme des bactéries.
- c) Par processus analogues à la corrosion anaérobie du fer sous l'action d'organismes réducteurs de sulfate; la réaction de corrosion constituant partie intégrante du cycle métabolique de la bactérie.

Des colonies de bactéries produisant les substances mentionnées en "a" peuvent se développer dans des dépôts fixés et de nature bourbeuse qui se trouvent en contact étroit avec la surface du métal; en pareil cas, l'agent de corrosion ne présente souvent la concentration nécessaire qu'au voisinage immédiat de la colonie; il peut ne pas être décelable dans l'eau ou dans le sol ambiant. Il suffit alors que les bactéries qui provoquent la corrosion ne produisent que de très faibles quantités de produits de corrosion pour que l'attaque, bien que localisée, soit néanmoins très sévère.

En outre, la colonie peut, sans produire aucune substance nettement corrosive, jouer le rôle d'un dépôt mettant en jeu un élément différentiel à oxygène avec formation d'anodes et de cathodes locales.

Il peut également se faire que l'agent de corrosion soit entièrement contaminé par les organismes; si ces derniers produisent des substances susceptibles de catalyser les réactions de corrosion, le milieu peut rester anormalement corrosif, même après la mort des bactéries, leur mise en état de non-activité ou leur enlèvement.

Le facteur le plus important qui conditionne le développement des bactéries est la possibilité d'alimentation. Les eaux et les terres accusent des teneurs très différentes en éléments nutritifs de types très divers; c'est là un facteur qui détermine la nature des bactéries susceptibles d'y vivre; il faut parfois y voir, sans aucun doute, la cause de la brutale apparition de phénomènes de corrosion.

Les expériences qui ont été faites dans les laboratoires de la British Non-Ferrous Metals Research Association confirment l'influence de la nature et de la quantité des substances nutritives sur la gravité de la corrosion, lorsque des colonies de bactéries se développent en contact étroit avec une surface métallique. Des colonies de bactéries prélevées dans l'eau de mer à une courte distance du rivage ont fourni une corrosion plus intense après addition, à l'eau de mer, de sucres existant dans l'eau de rivage.

#### LES BACTERIES ET LA THEORIE DE LA CORROSION

Il paraît opportun de donner quelques indications sur l'action bactériologique dans le cadre de la théorie générale de la corrosion.

La théorie électrochimique de la corrosion est suffisamment riche pour fournir une explication rationnelle de la plupart des accidents dus à la corrosion, y compris les cas complexes de corrosion par fatigue et par chocs.

La conception admise suivant laquelle la corrosion constitue un processus électrochimique peut être présentée d'une manière générale comme suit. Des différences de potentiel provoquent le passage de courants à travers le liquide, entre différentes parties de la surface du métal, de telle sorte qu'il se forme en fait de petits éléments primaires. Aux endroits où le courant passe du métal dans le liquide (zones anodique), le métal entre en solution; aux endroits où le courant passe du liquide dans le métal ( zones cathodiques), il se forme de l'hydrogène. Cet hydrogène reste à la surface du métal et forme éventuellement un potentiel en opposition suffisant pour neutraliser les éléments; c'est le phénomène connu sous le nom de polarisation. Dans ces conditions, il ne se produit pas de corrosion, mais la corrosion se manifeste si les éléments sont dépolarisés. C'est ce qui se produit généralement à la suite du lent enlèvement de l'hydrogène par l'oxygène; toutefois, les substances qui sont susceptibles d'aider la dépolarisation, soit en assurant l'élimination de l'hydrogène, soit en catalysant la réaction entre l'oxygène et l'hydrogène, constituent des accélérateurs de corrosion.

L'allure effective et la répartition de la corrosion sont grandement influencées par la formation et la dislocation de pellicules ou écailles et il arrive fréquemment, en fait, qu'une eau qui présente des caractéristiques nettement corrosives possède en même temps une forte aptitude à former des pellicules protectrices, aptitude qui compense ses caractéristiques corrosives.

Ces deux aspects peuvent être influencés par l'action bactérienne. Du fait de leur métabolisme normal, de nombreuses bactéries donnent naissance à des systèmes oxydants et réducteurs réversibles et à des composés organiques susceptibles de se comporter comme véhicules d'oxygène. Dans le premier cas, l'hydrogène cathodique est éliminé de la surface du métal par la réduction par le système oxydo-réducteur, qui est ultérieurement oxydé à nouveau et se trouve alors prêt à reprendre de l'hydrogène. De son côté le véhicule d'oxygène accélère la corrosion en empêchant l'étouffement de la réaction cathodique oxygène hydrogène par manque d'oxygène.

Les bactéries qui forment des colonies en contact avec les surfaces métalliques exercent une influence sur les formations pelliculaires et toute substance qui s'interpose dans la formation d'une couche protectrice peut provoquer une attaque localisée aux endroits de discontinuité; il peut en résulter des piqûres et l'attaque est particulièrement sévère lorsque les colonies bactériennes produisent également des substances corrosives telles que des acides ou des composés alcalins.

De plus, le développement des dépôts micro-biologiques dans les tubes de condenseurs peut provoquer des irrégularités à la surface du métal; il se forme alors des éléments d'aération différentielle et la corrosion se produit suivant la théorie électro-chimique. La croissance d'une colonie de bactéries sur une surface métallique peut également modifier l'électrolyte dans la zone considérée, avec constitution d'éléments de concentration. Les modifications possibles du potentiel d'oxydo-réduction, du pH, des concentrations en oxygène, en gaz carbonique et en ammoniacque sont d'une infinie variété et toutes peuvent jouer un rôle important dans le processus de la corrosion.

#### QUELQUES TYPES DE BACTERIES EXERCANT UNE INFLUENCE NOTOIRE SUR LA CORROSION.

Bien que nous manquions actuellement encore de preuves complètes, il serait sans aucun doute exact de dire que toute bactérie susceptible de former une colonie à proximité immédiate d'une surface métallique peut exercer une influence sur la corrosion qui se manifeste en cet endroit. Il est également exact que de nombreuses bactéries peuvent produire, soit par suite de leur propre métabolisme, soit par destruction de matière organique, des substances susceptibles de se comporter dans des conditions appropriées, comme accélérateurs de la corrosion ou comme catalyseurs de réactions de corrosion. Il existe toutefois quelques cas dans lesquels l'action de corrosion des bactéries elles-mêmes est nettement définie et admise.

##### a) - Bactéries réduisant les sulfates.

En 1923, Von Wolzogen Kühn attirait l'attention sur l'influence exercée par les bactéries réduisant les sulfates sur la corrosion des pipe-lines en métaux ferreux, question qui a fait ultérieurement l'objet d'importantes études de Baars, Bunker, Hadley, Rogers, Starkey et de nombreux auteurs. Autant qu'on le sache il n'existe qu'un groupe spécifique d'organismes qui peuvent réduire les sulfates en sulfites. Ces bactéries sont nettement spécialisées physiologiquement et nettement distinctes morphologiquement; elles sont constituées par des cellules extrêmement mobiles recourbées ou enroulées en hélice. Dans certaines conditions, elles peuvent former des spores; l'espèce la plus commune est le Sporovibrio desulphuricans... Elles sont généralement considérées comme strictement anaérobies. Bien que ceci puisse être exact dans le cas d'une croissance rapide et très active, elles amorcent leur développement dans la boue, au fond de béciers à demi-remplis et ouverts à l'air.

Une fois le développement amorcé, la production d'hydrogène sulfuré leur assure rapidement un milieu ambiant exempt d'oxygène. Pour ces bactéries anaérobies, le sulfate joue le même rôle que l'oxygène libre dans le métabolisme des aérobies. Les substances organiques qui fournissent l'énergie nécessaire à leur développement sont oxydées par le sulfate, qui est lui-même corrélativement réduit en sulfite.

L'action de ces organismes dans la corrosion anaérobie du fer est bien connue et fait l'objet d'une abondante littérature. Von Wolzogen Kühr a montré que ces bactéries provoquent la corrosion du fer dans des conditions anaérobies dans lesquelles on pourrait prévoir que le fer resterait passif. Ce processus bactériologique de corrosion rentre toutefois dans le cadre de la théorie électro-chimique de la corrosion, les bactéries rendant plus active l'élimination d'hydrogène cathodique. Dans les conditions aérobies, l'hydrogène cathodique est oxydé par l'oxygène de l'air au cours du processus de la rouille. Dans les conditions anaérobies, cet hydrogène s'accumule et il ne se produit pas de corrosion en l'absence d'un dépolarisant. Les organismes réducteurs de sulfate exercent alors cette fonction de dépolarisation en éliminant l'hydrogène et en l'oxydant aux dépens du sulfate qui se trouve ainsi réduit en sulfite.

Au cours des recherches faites sur la corrosion des métaux enterrés et en particulier du plomb, on a constaté que la vitesse de corrosion des tuyauteries en plomb est accélérée aux endroits où le sol contient des organismes actifs réduisant les sulfates. Ce type de corrosion ne se limite d'ailleurs pas aux tuyaux enterrés, mais se produit aussi dans l'eau salée et dans l'eau douce.

Dans le cas des alliages non-ferreux, la corrosion ne se produit pas nécessairement au cours de l'activité des organismes qui réduisent les sulfates car le fait qu'il s'est produit de l'hydrogène sulfuré suffit pour donner naissance à un milieu ambiant exerçant une action corrosive violente, tout particulièrement dans l'eau de mer. On ne comprend pas encore entièrement cette propriété de l'hydrogène sulfuré formé par réaction bactériologique, de rendre une eau de mer anormalement corrosive. On a constaté qu'une eau de mer qui contient des bactéries réduisant les sulfates et ayant provoqué la formation d'hydrogène sulfuré pendant une période de stagnation peut rester extrêmement corrosive, malgré un changement de conditions impliquant une aération considérable et bien que l'hydrogène sulfuré ne puisse plus être décelé chimiquement dans l'eau de mer aérée. On pense que ce phénomène est dû à l'activité de bactéries aérobies qui transforment l'hydrogène sulfuré en composé sulfureux organiques ou en soufre élémentaire.

Starkey signale une autre modalité suivant laquelle les organismes qui réduisent les sulfates peuvent provoquer la corrosion. Dans le cas où ces organismes produisent l'hydrogène sulfuré dans des tubes d'eau et lorsque les tubes ne sont que partiellement remplis de sorte qu'il existe un matelas d'air au-dessus du niveau de l'eau, une certaine partie de l'hydrogène sulfuré se dissout dans la pellicule d'humidité qui tapisse les parois supérieures des tubes. Cet hydrogène sulfuré subit là une oxydation, assurée principalement par des bactéries aérobies spécialisées, avec formation corrélative d'acide sulfurique (voir chapitre suivant) qui à son tour attaque les tubes.

b) - Bactéries provoquant l'oxydation du soufre.

Les bactéries de ce groupe peuvent oxyder le soufre et ses composés. Elles sont morphologiquement très mélangées et pour la plupart sans intérêt en matières de recherches sur la corrosion, bien que certaines d'entre elles puissent intéresser les hydrauliciens par suite de leur aptitude à la formation de boues. L'un de ces organismes mérite toutefois de retenir l'attention du point de vue de la corrosion. C'est le *Thiobacillus thio-oxidans*, bactérie aérobie qui peut oxyder le soufre et certains composés sulfureux incomplètement oxydés, en donnant de l'acide sulfurique. Il présente ceci de remarquable que son pH optimum de développement est situé entre 3 et 4. L'auteur a obtenu à partir d'eaux résiduelles, des cultures se développent activement à pH = 1. Il a été indiqué que ces bactéries interviennent dans la corrosion des tuyauteries en fonte; dans un cas, le compound d'étanchéité soufre-silice a été attaqué par ces organismes, avec constitution d'un milieu ambiant localement corrosif dû à la formation d'acide sulfurique. Une acidité locale anormalement élevée, en cas de rupture de tube de condenseur, peut indiquer la présence de ces organismes.

c) - Bactéries produisant du gaz carbonique ou de l'ammoniaque

De nombreuses bactéries habitant les sols et les eaux naturelles, tant salées que douces, produisent des substances telles que le gaz carbonique ou l'ammoniaque. Grant, Bate et Myers ont montré que les Bactéries du groupe *Proteus* peuvent accélérer la corrosion. De nombreux hydrauliciens, tant en Angleterre qu'aux Etats-Unis, ont souvent pensé que la corrosion pouvait être accélérée par la présence dans l'eau d'agents produisant de l'ammoniaque. La preuve bactériologique est évidemment difficile à faire, car la plupart des services d'essai ne sont généralement en mesure que de procéder à la détermination chimique de l'ammoniaque présente. Le gaz carbonique est également un produit de fermentation à action corrosive.

d) Bactéries produisant de l'acide nitrique.

Les bactéries nitrifiantes produisent de l'acide nitrique à partir de l'ammoniaque. De telles bactéries existent pratiquement dans tous les sols, même ceux soumis au milieu marin. Cet acide au même titre que l'acide sulfurique intervient dans la corrosion des matériaux.

e) Bactéries produisant des acides organiques.

Nombre de bactéries du sol soumises ou non au milieu marin sont susceptibles, à partir de diverses substances organiques, de produire des acides organiques (acides butyrique, acétique, propionique, lactique etc....)

On sait actuellement que ces acides peuvent avoir des effets corrosifs très puissants sur les matériaux.

Les terres de Cayenne très imbibées d'eau, créant de ce fait des conditions anaérobies dans le sol, seront un milieu éminemment favorable pour la production de ces acides organiques.

L'activité microbienne est d'autant plus intense que le milieu est chaud et humide, le climat de Guyane sera donc particulièrement favorable à la corrosion biologique.

Corrosion des pierres calcaires

Toute pierre calcaire sera sujette également à l'attaque des acides produits par les microorganismes, spécialement par l'acide nitrique produit par les bactéries nitrifiantes.

Les nitrites et nitrates de calcium formés solubles sont entraînés par l'eau, la pierre se transforme ainsi en une sorte de poudre constituée surtout par des grains siliceux ou par des gros cristaux de calcite résistant mieux aux acides que la masse calcaire.

L'altération sera moins prononcée dans une pierre riche que dans une pierre pauvre en calcaire. Dans ce second cas le calcaire forme une sorte de ciment qui maintient entre eux les éléments non calcaires présents dans la pierre. Une faible production d'acide attaquera ce ciment et libérera ces éléments qui tomberont en poudre.

La lutte contre la détérioration des matériaux calcaires doit empêcher l'établissement de conditions favorables aux processus biologiques.

ECHANTILLONS	PH	NATURE	NITRIFICATION (acides minéraux)	FIXATION ANAEROBIE (Clostridium) Acides organiques
STADE	6,5	Vase	+++	++
PETIT MONACO	7,8	Vase	++	+
SECRETARIAT GENERAL	7,6	Vase	+++	+++
ROUGET DE L'ISLE	4,7	Vase	+	++
ARAGO	7,4	Vase	++	++
ROUGET DE L'ISLE	6,5	eau	+++	+
STADE	7,5	eau	+++	+

+ ..... faible  
++ ..... moyenne  
+++ ..... forte

### C o n c l u s i o n s

Nous n'avons déterminé que l'activité de deux groupes de microorganismes :

- des anaérobies (Clostridium P.) à production d'acides organiques
- des aérobies (bactéries nitrifiantes à production d'acide minéral.

Nous constatons que ces deux types de microorganismes sont très actifs dans plusieurs échantillons de vase; les échantillons liquides sont particulièrement riches en bactéries nitrifiantes.

En conclusion, un climat chaud et humide, tel qu'il existe en Guyane, crée dans le sol et dans les eaux un milieu très favorable à l'activité bactérienne, c'est-à-dire un milieu favorable à la corrosion. Vous étudiez les moyens de lutte contre cette corrosion rapide sous climat tropical, il ne faut donc pas seulement voir le problème sous l'angle chimique seul mais sous l'angle chimio-biologique.

J. KAUFMANN



CONVENTION P. ET T.  
Département de la Guyane

**ÉTUDE DE L'AGRESSIVITÉ  
DES SOLS ET DES EAUX  
DE LA VILLE DE CAYENNE**

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER**

**INSITUT FRANÇAIS D'AMÉRIQUE TROPICALE**

