

On pensait que les couches passives, en raison de leur extrême minceur, devaient être amorphes, sans ordre atomique à grande distance. Toutefois les études les plus récentes ont montré que les films peuvent être cristallisés. Ainsi les observations au microscope à effet tunnel, où l'on balaye la surface des échantillons avec une pointe très petite, qui échange des électrons avec l'échantillon par l'effet tunnel, ont apporté des informations essentielles sur la croissance des couches d'oxydes sur des substrats monocristallins.

CRISTAUX PROTECTEURS

La figure, par exemple, est celle de la structure atomique de la couche passive formée sur une électrode de nickel monocristallin. La périodicité observée indique que cette couche était le plan cristallographique le plus compact de l'oxyde de nickel. Dans de telles images, on observe des défauts structuraux : marches monoatomiques, crans, lacunes, et joints... La croissance de l'oxyde s'effectue selon une direction inclinée de huit degrés par rapport au plan cristallographique, ce qui conduit à un système de terrasses et de marches, et à l'existence de fluctuations de l'épaisseur du film. Ce type de croissance minimise les contraintes entre les réseaux de l'oxyde et du métal.

Ce cas n'est pas général. Pour le chrome, par exemple, la couche passive n'est pas constituée de grands cristaux, comme dans le nickel ; les très nombreux «nanocristaux» formés sont reliés par de l'hydroxyde de chrome, qui forme un liant, minimisant les défauts interfaciaux qui pourraient affaiblir la couche protectrice. Cette structure nanocristalline est sans doute la clef des propriétés exceptionnelles du chrome, connu pour son excellente résistance à la corrosion et utilisé, à ce titre, comme additif dans de nombreux alliages.

Comment l'industrie métallurgique utilisera-t-elle ces analyses ? Un succès a été obtenu dans le cas des aciers inoxydables ferritiques : la couche passive qui se forme quand ces alliages sont plongés dans un milieu qui contient des ions chlorures (l'eau de mer, par exemple) est de qualité bien inférieure à celle qui apparaît quand les mêmes alliages sont d'abord placés en milieu oxydant contrôlé, c'est-à-dire au contact de l'air ou de l'eau. On peut aussi faire vieillir les aciers ou alliages inoxydables dans ces milieux, ce qui augmente la concentration en ions chrome dans les couches passives, avant de les employer en milieu chloruré.

Philippe MARCUS
CNRS, École nationale supérieure
de chimie de Paris

La caulerpe

Cette algue aurait des effets bénéfiques, en assainissant les fonds de la Méditerranée.

Aurait-on trop vite dénigré *Caulerpa taxifolia* ? Depuis quelques années cette algue unicellulaire géante colonise le littoral Nord-Ouest de la Méditerranée et de l'Adriatique, où elle prolifère par endroits, au détriment d'autres espèces végétales. D'après les résultats d'une étude publiée dans la revue *Nature* par les chercheurs de l'Observatoire océanologique européen, cette algue serait un agent antipollution.

À la différence des autres algues, la caulerpe a des rhizoïdes, l'équivalent des racines des plantes supérieures. Ces rhizoïdes soutirent des substances nutritives aux fonds marins et l'algue prospère indépendamment des nutriments dissous dans l'eau de mer.

La surface des rhizoïdes est couverte de bactéries, et d'autres prolifèrent dans son volume interne. Certaines ressemblent aux bactéries symbiotiques qui assurent la fixation de l'azote dans les légumineuses (la luzerne, le haricot, par exemple). Jean Jaubert et ses collègues de l'Institut océanographique de Monaco ont observé que les pseudo-racines de la caulerpe absorbent du phosphore minéral et des composés organiques, notamment de l'azote et du carbone, et des acides aminés dissous. Ces substances, abondantes dans les zones où prolifère l'algue, proviennent des rejets industriels ou domestiques ; elles s'accumulent dans

les sédiments et dans certaines roches poreuses. Cette faculté d'assimiler des substances nutritives inutilisées par les autres algues expliquerait l'abondance de la caulerpe et la disparition d'une grande partie de la flore, devenue inadaptée. *Caulerpa taxifolia* comblerait les vides laissés par d'autres végétaux éliminés ou fragilisés par la pollution, tels les herbiers de posidonies.

Pourquoi cette algue prolifère-t-elle aujourd'hui ? Les algues du genre *Caulerpa* prospèrent dans les eaux chaudes habitées par des coraux et pauvres en nutriments ; leurs rhizoïdes et leur structure unicellulaire les avantagent par rapport aux autres algues car ils facilitent les échanges nutritifs. Plusieurs espèces de caulerpes, dont *Caulerpa taxifolia*, vivent dans la mer Rouge et ont sans doute migré vers la Méditerranée occidentale par le détroit de Suez. Le réchauffement climatique accélérerait leur expansion.

Ce n'est pas la première incursion des caulerpes dans le bassin méditerranéen : avant la crise climatique de la fin du Miocène, il y a sept millions d'années, elles faisaient partie de la flore commune et y prospéraient.

Comme de nombreuses plantes aquatiques, les caulerpes produisent des toxines, notamment la caulerpé-nyne, à laquelle la faune ne semble pas sensible. Le nombre et les espèces de poissons vivant dans les prairies de caulerpes n'ont guère varié : Ils ne les «broutent» pas, mais se nourrissent des produits de leur dégradation.

Ainsi, grâce à leur aptitude à se développer sur des substrats imprégnés de matières organiques en décomposition, qui ne conviennent pas aux autres végétaux, les caulerpes assainiraient les fonds méditerranéens.

Marie-Thérèse LANDOUSY



Poulpe vivant au milieu de caulerpes.