



Saint François offrant son manteau à un pauvre.

communes. En revanche, certaines constructions semblent roses... Or un calcaire célèbre de la région (le «Scaglia rosso») et dont est fait le mont Subasio est bien de cette teinte. On la doit à l'oxydation du fer contenu dans la roche.

UN CALCAIRE ROSE

Cette roche s'est formée, du Crétacé jusqu'au milieu de l'Éocène (de 137 à 23 millions d'années), de l'amoncellement de foraminifères et de coccolites. Le processus ininterrompu pendant plus de 100 millions d'années offre un enregistrement unique où sont consignées les inversions du champ magnétique terrestre ainsi que la chute de la météorite qui a précipité la disparition des dinosaures. C'est avec ce calcaire rose qu'a été construite la basilique Saint-François d'Assise. Serait-ce donc cette ville que l'on voit sur *Saint François offrant son manteau à un pauvre* (voir ci-dessus à gauche)? Des historiens d'art le pensent, mais pas Ann Pizzorusso, car le reste du paysage n'est pas conforme. De fait, dans l'œuvre, la vallée qui s'étend au pied du mont Subasio est remplacée par une colline. Selon la géologue, Giotto n'a

pas cherché à reproduire précisément la réalité, mais plutôt à proposer des paysages génériques, typiques de la région.

Dans *Saint François recevant les stigmates* (ci-dessus, à droite, en bas), à l'église Santa Croce de Florence, le saint est représenté devant un bloc de calcaire qui a été soulevé, comme en atteste sa forme presque verticale. Les angles arrondis trahissent une érosion. On distingue aussi des fissures, près de l'église, et une grotte qui résultent probablement d'infiltrations pour les premières et de mouvements tectoniques pour la seconde. Selon la légende, François aurait reçu ses stigmates sur le mont Penna, un bloc gigantesque de calcaire, isolé, à 100 kilomètres au sud-est d'Assise, projeté là au moment de la création des Apennins. Dans sa fresque, Giotto aurait bien représenté ce sommet qui présente les mêmes caractéristiques.

Dernier détour géologique dans l'œuvre de Giotto, *Le Miracle de la source* (ci-dessus, à droite, en haut) montre saint François faisant jaillir de l'eau d'une montagne, en l'occurrence un calcaire stratifié et érodé, tout à fait réaliste, ressemblant à celui dit «maïolica», courant dans la



Le Miracle de la source.



Saint François reçoit les stigmates.

région. À l'arrière-plan, on aperçoit là encore des blocs qui ont été redressés. Et dans ce type de contexte tourmenté par des mouvements importants, il est bien fréquent que de l'eau surgisse... sans besoin de miracle.

Comment expliquer le parti pris de Giotto d'incorporer des éléments naturels dans ses compositions? Peut-être par le désir d'ancrer la légende de saint François dans des décors reconnus par les fidèles, et ainsi de l'inscrire dans la réalité. Toujours est-il que ce choix esthétique s'accorde bien avec le message de saint François qui encourageait à voir dans la nature l'image de Dieu, et méritant donc à ce titre respect et protection. Le premier message écologiste! ■

A. Pizzorusso, A portrait of central Italy's geology through Giotto's paintings and its possible cultural implications, *Geosci. Commun.*, vol. 3, pp.427-442, 2020.

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY et ÉDOUARD KIERLIK
professeurs de physique à Sorbonne Université, à Paris

QUAND LE COURANT PASSE, LE CŒUR BAT

Aux contractions des différentes parties du cœur correspondent des courants électriques. L'électrocardiographie permet de caractériser indirectement ces courants et de vérifier ainsi le bon fonctionnement de l'organe.

Des électrodes disposées aux poignets, aux chevilles et sur le thorax d'un patient et un écran où s'affichent non seulement le rythme cardiaque, mais aussi des signaux caractéristiques: voilà ce à quoi ressemble une électrocardiographie (ECG). Dans cet examen essentiel en cardiologie, on enregistre l'activité du cœur en mesurant sur la peau les différences de potentiel électrique engendrées par les courants électriques qui traversent cet organe lorsqu'il se contracte. En quoi ces mesures nous renseignent-elles sur ce qui se passe dans le cœur?

Le cœur est un muscle singulier: il bat spontanément et régulièrement sans recevoir d'instructions directes de la part du cerveau. Dans cet organe, une sorte d'horloge, le nœud sinusal, donne 80 fois par seconde (en moyenne) le signal de départ à une succession de contractions. Des contractions qui, comme pour tous les autres muscles, sont provoquées par le passage d'un signal électrique, le «potentiel d'action», à travers les cellules. Or cette activité électrique du cœur engendre dans tout le corps des tensions électriques qui se modifient au fil des fractions de seconde durant lesquelles les différentes parties du cœur sont successivement stimulées.

Regardons plus en détail. Lorsqu'une cellule musculaire du cœur est au repos, les différences de concentrations d'ions entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire se traduisent par une différence de potentiel électrique de part et d'autre de sa membrane. L'intérieur de la cellule au repos contenant plus d'anions (charges négatives) que de cations (charges positives), ce «potentiel de membrane» est négatif, de l'ordre de -90 millivolts (mV).

LA PROPAGATION D'UNE DÉPOLARISATION

L'arrivée du potentiel d'action déclenche l'ouverture de canaux ioniques dans la membrane, d'où des échanges d'ions entre l'intérieur et l'extérieur. Ainsi, c'est l'arrivée massive d'ions calcium (Ca^{2+}) dans la cellule qui provoque *in fine* la contraction musculaire. D'un point de vue électrique, les changements de concentrations ioniques et donc de charges électriques entraînent un changement de signe du potentiel de membrane, qui passe d'une valeur négative à une valeur positive de quelques millivolts: on dit que la cellule a été dépolarisée (voir l'encadré page ci-contre).

La dépolarisation se déroule en 1 milliseconde environ, tandis que le potentiel d'action se propage à une vitesse de

quelques mètres par seconde. En revanche, le retour à la normale (au repos) a lieu après un laps de temps bien plus long, supérieur à 100 millisecondes. Compte tenu de la taille du cœur, cela signifie que, pour les grandes structures (oreillettes et ventricules), on peut parler de la propagation d'un front de dépolarisation qui sépare une zone en aval, où les cellules sont à l'état de repos (-90 mV), d'une zone en amont, où elles sont dépolarisées ($+10$ mV).

Dans ces deux zones où le potentiel a une valeur homogène, il n'y a pas d'activité électrique. Dans le front, en revanche,

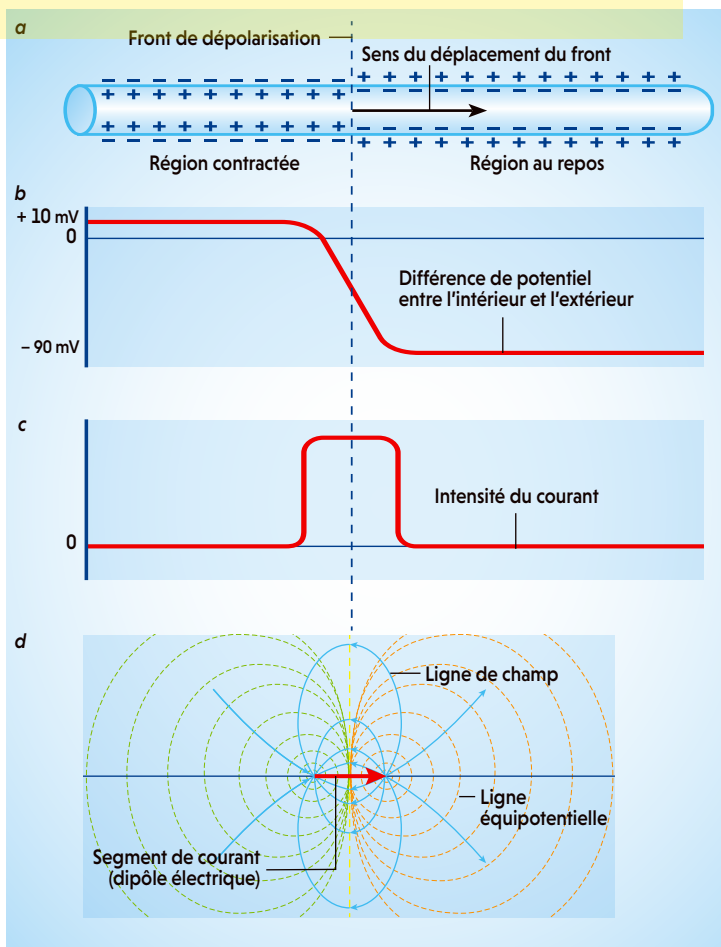


Dans un examen d'ECG, on mesure à l'aide d'électrodes posées à différents endroits sur la peau les différences de potentiel électrique créées par l'activité cardiaque.



LA DÉPOLARISATION D'UNE FIBRE MUSCULAIRE

L'intérieur d'une cellule musculaire au repos contient des ions négatifs tandis que l'extérieur est riche en ions positifs. La différence de potentiel entre l'intérieur et l'extérieur est donc négative (environ -90 mV). À l'arrivée d'un signal, le « potentiel d'action », la fibre se « dépolairise » grâce à des échanges d'ions à travers sa membrane (a, b). La polarité s'inverse et la différence de potentiel devient positive (environ $+10$ mV). La région dépolairisée est alors en contraction. La région (millimétrique) de transition est le siège d'un courant d'intensité constante (c) ; ce « segment » de courant crée autour de lui un champ électrique analogue à celui d'un dipôle électrique (d).



le potentiel des tissus varie de 100 mV sur une très courte distance, moins de 5 millimètres typiquement. Il en résulte dans cette zone un champ électrique et, comme le milieu cellulaire est conducteur, un courant proportionnel à ce champ apparaît.

Pour simplifier, imaginons une fibre musculaire qui baigne dans le milieu extracellulaire. On a alors un courant en son sein uniquement sur une petite portion de sa longueur. Notons que ce « segment » de courant ne viole pas la loi de conservation de la charge électrique, qui reste valide grâce aux échanges de charges à travers la membrane cellulaire. Le

milieu extracellulaire étant lui-même conducteur, le segment de courant, qui avance le long de la fibre, induit à l'extérieur de celle-ci un champ électrique, donc des courants.

UN CHAMP ÉLECTRIQUE ANALOGUE À CELUI D'UN DIPÔLE ÉLECTRIQUE

Plus précisément, le segment de courant crée un champ non uniforme qui, à des distances très supérieures à la taille du segment, est analogue à celui d'un dipôle électrique, c'est-à-dire un couple de deux charges ponctuelles opposées et

séparées d'une certaine distance (voir l'encadré page 90). Même loin de la fibre, le potentiel électrique n'est pas uniforme. On peut donc déterminer l'activité électrique de la fibre en mesurant, à distance, les différences de potentiel qu'elle crée.

Cependant, un cœur n'est pas formé d'une seule fibre, mais d'une multitude de fibres. Et le cheminement du potentiel d'action dans l'organe est complexe, tout >

Les auteurs ont notamment publié : **En avant la physique !**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).

