

> l'individu. C'est le cas de Magnéto, qui ressemble à un humain ordinaire. Sa mutation ne change rien à son apparence, mais elle lui confère un superpouvoir: la capacité de créer de puissants champs magnétiques pour déplacer, faire léviter ou déformer à volonté divers objets, notamment ceux en fer ou en acier.

Sa biographie fictive, particulièrement soignée, nous apprend que ce personnage sensible, né juif polonais en 1926, est un rescapé des camps de concentration nazis. Son superpouvoir s'est exprimé pour la première fois sous le stress et la terreur lorsque, enfant, les nazis l'arrachèrent à sa mère: par la seule action de son esprit, il réussit alors à tordre avec facilité le portail métallique du camp de concentration.

### UN POUVOIR SOUS CONTRÔLE

En sciences de la vie, une mutation dont les effets ne s'expriment que dans certaines situations est dite conditionnelle. Les facteurs qui déclenchent l'expression de ce type de mutation sont variés; ils peuvent être soit intrinsèques (par exemple une variation d'un autre gène, alors qualifié de modificateur), soit extrinsèques (par exemple des variations des conditions environnementales telles que la température). Si la mutation de Magnéto est conditionnelle, celui-ci a appris à contrôler son superpouvoir par la concentration, ce qui en fait rapidement un personnage très puissant. Mais, incompris et pourchassé par des humains qui le considèrent comme un danger potentiel, Magnéto répond par la violence... et utilise effectivement son superpouvoir comme une arme!

Le magnétisme est une propriété que, depuis l'Antiquité jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, on a associée aux aimants et à certains minerais riches en magnétite. La boussole en a été le symbole et l'application la plus célèbre. En 1820, le physicien danois Hans Christian

Ørsted a montré que l'aiguille d'une boussole est déviée par un courant électrique parcourant un fil à proximité. En 1831, le physicien britannique Michael Faraday en a donné l'explication en énonçant une loi qui lie électricité et magnétisme. Trente ans plus tard, le physicien écossais James Clerk Maxwell exposera une théorie cohérente de l'électromagnétisme, où l'électricité et le magnétisme sont deux facettes d'un phénomène plus fondamental, le champ électromagnétique. Dans le langage des mathématiques, le champ magnétique est une quantité vectorielle, c'est-à-dire définie par une direction, un sens et une intensité dont l'unité internationale est le tesla, choisie en l'honneur de l'ingénieur d'origine serbe Nikola Tesla (1856-1943), notamment inventeur de l'alternateur électrique.

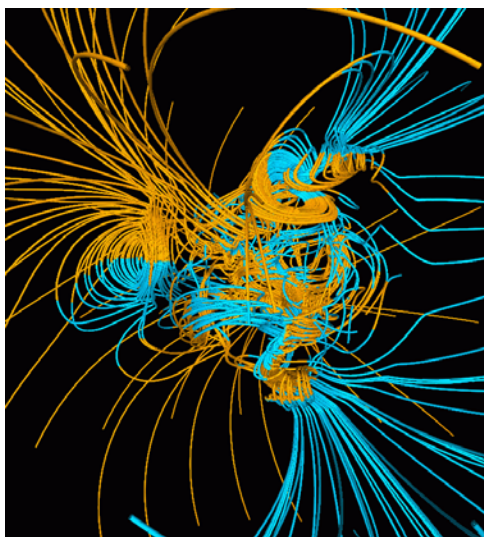
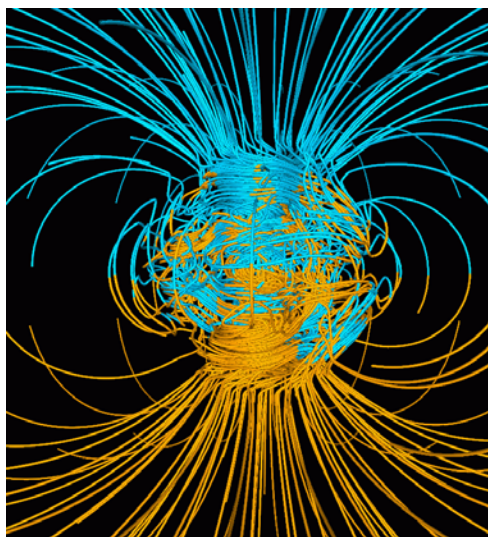
Les sources de champ magnétique sont de diverses natures: les aimants permanents (du fait d'une direction privilégiée du moment magnétique des atomes du matériau), le déplacement des charges électriques (le courant!) ou la variation temporelle d'un champ électrique (phénomène d'induction magnétique). Le spectre des intensités magnétiques est très vaste. Il va de quelques milliteslas pour le petit «magnet» qui tient la liste des courses sur la porte de votre réfrigérateur à 100 gigateslas pour certaines étoiles à neutrons – nommées pour l'occasion *magnetic stars* ou magnétars – en passant par les quelques teslas de l'électroaimant de votre enceinte haute-fidélité.

Grâce à son superpouvoir, Magnéto a vite compris qu'il pouvait manipuler une grande gamme de matériaux, à commencer par le fer et ses dérivés. Dans le film *X-Men 2* (Bryan Singer, 2003), pour s'échapper de sa prison de plastique haute sécurité, il extrait le fer du sang d'un gardien afin d'en faire de petites billes qu'il propulse à la vitesse de balles de fusil. Si l'hémoglobine contient effectivement des atomes de fer, l'accumulation anormale de

### SUR LE WEB

Pour voir une expérience d'extraction du fer contenu dans vos céréales préférées : [http://bit.ly/PLS483\\_SF1](http://bit.ly/PLS483_SF1)

Pour voir Magnéto extraire le fer du sang du gardien de prison et s'échapper (âmes sensibles s'abstenir) : [http://bit.ly/PLS483\\_SF2](http://bit.ly/PLS483_SF2)



Le champ magnétique terrestre est produit par un effet dynamo dû aux mouvements de convection du fer dans la partie liquide du noyau de la planète. Ces simulations ont été réalisées par Gary Glatzmaier, de l'université de Californie à Santa Cruz, et Paul Roberts, de l'université de Californie à Los Angeles, d'après leur modèle qui décrit la géodynamo. Dans la situation actuelle (à gauche), le champ magnétique est relativement régulier et comparable à un aimant géant doté de deux pôles bien définis. Lors de l'inversion du champ magnétique (à droite), la structure du champ magnétique devient chaotique.

ce métal dans les tissus se nomme «hémossidérose» (du grec *haima*, le sang et *sideras*, le fer). Cette pathologie touchant diverses espèces est soit accidentelle (comme chez certains canards qui sont la cible de chasseurs utilisant de la grenaille alternative au plomb), soit héréditaire (chez l'humain, elle est fréquente, mais pas toujours bien diagnostiquée). Elle est alors due à un dérèglement des cellules (les macrophages) censées digérer le fer de l'hémoglobine, lequel se retrouve stocké dans divers organes (pancréas, cœur, foie); cette accumulation peut provoquer de graves lésions et autres symptômes tels que fibroses ou nécroses.

Dans le film *X-Men: l'Affrontement final* (Brett Ratner, 2006), Magnéto cherche à libérer d'autres mutants prisonniers sur l'île d'Alcatraz. Pour ce faire, il arrache et transporte dans les airs le pont du Golden Gate de San Francisco, énorme structure d'environ 900 000 tonnes au total (dont 75 000 tonnes d'acier)!

A priori, tous les matériaux sont, à des degrés divers, sensibles à un champ magnétique. Cette sensibilité est caractérisée par une grandeur nommée susceptibilité magnétique, qui quantifie la faculté du matériau à s'aimanter sous l'action d'un champ magnétique externe. Les matériaux dont la susceptibilité est positive sont dits paramagnétiques (l'aimantation est dans le même sens que le champ externe); ceux dont la susceptibilité est négative sont dits diamagnétiques. Les corps paramagnétiques ayant une susceptibilité élevée sont nommés ferromagnétiques. Ce sont les plus sensibles à l'action d'un champ magnétique et certains tels le fer, le cobalt et le nickel, sont capables de conserver leur aimantation même en l'absence de champ magnétique: ils servent à fabriquer des aimants permanents.

### FAIRE VOLER DES PONTS ET LÉVITER DES GRENOUILLES

L'aimantation induite par le champ magnétique s'accompagne aussi de l'apparition d'une force mécanique du champ sur le matériau. Cette force est proportionnelle à la variation spatiale – ou gradient – du carré de l'intensité du champ magnétique. Autrement dit, ce n'est pas l'intensité du champ qui compte, mais la façon dont il varie dans l'espace. Pour manipuler le pont du Golden Gate, Magnéto doit donc créer un champ dont le gradient est élevé, et sa tâche est facilitée par le fait que la structure métallique du pont est ferromagnétique. La force résultante est dirigée vers l'endroit où le champ magnétique est le plus intense (sans doute Magnéto lui-même!), la susceptibilité d'un matériau ferromagnétique étant positive.

Si le champ magnétique agit sur un diamagnétique, la lévitation magnétique stable est

## Le champ magnétique terrestre s'est inversé près de 300 fois depuis 200 millions d'années

possible. Dans ce cas, la force magnétique est dirigée vers les zones où le champ magnétique est le moins intense, la susceptibilité d'un diamagnétique étant négative. Le carbone pyrolytique, matériau artificiel voisin du graphite, a l'une des plus grandes susceptibilités diamagnétiques connues et lévite facilement au-dessus d'aimants permanents commerciaux. Mais l'idéal est de disposer d'un matériau supraconducteur, dont la susceptibilité magnétique négative est égale à  $-1$  (de l'ordre de 100 000 fois celle du carbone pyrolytique). C'est ainsi que fonctionnent les trains à lévitation magnétique, dont seulement six lignes sont actuellement en fonction, pour une longueur cumulée de 70 kilomètres.

En 1997, les physiciens néerlandais Andre Geim et britannique Michael Berry ont utilisé la lévitation diamagnétique sur une petite grenouille vivante, sans dommage pour elle, en la plaçant dans un important gradient de champ magnétique. Ce champ agit sur le diamagnétique naturel qu'est l'eau contenue dans les tissus; il crée une force globale et homogène sur l'animal. Pour cette expérience spectaculaire, les deux chercheurs ont reçu le parodique prix Ig Nobel de physique en 2000 (Andre Geim a aussi obtenu le prix Nobel en 2010 pour l'obtention du graphène et son étude!). Magnéto peut donc tout à fait soulever des organismes vivants, voire appliquer son superpouvoir à lui-même pour léviter tranquillement dans les airs.

Capable de manipuler les champs magnétiques dans l'espace et dans le temps, Magnéto est donc incontestablement redoutable. Persécuté durant son enfance, il refuse de se plier aux règles dictées par les humains qui considèrent les mutants comme des individus malades et dangereux. S'opposant alors à son ami Charles Xavier, mutant aux puissants pouvoirs mentaux et partisan d'une cohabitation pacifique avec les humains, Magnéto menace l'humanité d'inverser la polarité du champ magnétique terrestre. Il sera finalement neutralisé par les X-men.

>