

DES EXPÉRIENCES SIMPLES POUR COMPRENDRE UNE TERRE COMPLIQUÉE



1 L'âge de la Terre

Texte : Ángel F. Nieto-Samaniego et Susana A. Alaniz-Álvarez

Illustration : Cecilia Nieto

Traducteurs : Sandra Fuentes et Thierry Calmus

Universidad Nacional Autónoma del México

Enrique Luis Graue Wiechers
Recteur

Leonardo Lomelí Vanegas
Secrétaire général

William Henry Lee Alardín
Coordonnateur de la Recherche Scientifique

Jorge Volpi Escalante
Coordonnateur de la Diffusion Culturelle

Socorro Venegas Pérez
Directeur Général des Publications et du Développement Éditorial

Lucia Capra Pedol
Directrice du Centre de Géosciences

Susana A. Alaniz Álvarez
Ángel F. Nieto Samaniego
Yadira A. H. Hernández Pérez
Coordinateurs de la Série

Thierry Calmus
Sandra Fuentes Vilchis
Traducteurs

Ing. J. Jesús Silva Corona
Conception

Ma. Teresa Orozco Esquivel
Révisseuse technique

Juan Carlos Mesino Hernández
Editeur technique

Première édition : novembre 2021

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México

Centro de Geociencias
Universidad Nacional Autónoma de México
No. 3001, Boulevard Juriquilla, Querétaro
C.P. 76230, México

ISBN (Collection intégrale) : 978-607-02-9195-1
ISBN : 978-607-30-5256-6



Imprimé et fabriqué au Mexique

Ce livre ne peut être reproduit en tout ou en partie, par aucun moyen électronique ou autre, sans autorisation écrite des éditeurs.



Index

INTRODUCTION

page 1

DES CALCULS BASÉS SUR LA BIBLE

Les lois de la génétique

Expérience 1. Probabilité d'hériter des yeux clairs.

page 6

DES CALCULS BASÉS SUR LE REGISTRE FOSSILE

Expérience 2. Espèces en voie d'extinction.

page 10

UN CALCUL BASÉ SUR LA PERTE DE CHALEUR DE LA TERRE

Expérience 3. Transmission de la chaleur.

page 14

DES CALCULS BASÉS SUR LA SALINITÉ DE L'EAU DE MER

Expérience 4. Dissolution, évaporation et condensation.

Expérience 5. Cristallisation.

page 22

DES CALCULS BASÉS SUR LE DOSSIER GÉOLOGIQUE

Expérience 6. Comment se comporte le mélange de sédiments avec de l'eau ?

page 27

DES CALCULS BASÉS SUR LA DÉSINTÉGRATION RADIOACTIVE. LA CONTRIBUTION D'ERNEST RUTHERFORD

Expérience 7. Choc d'atomes

Expérience 8. Demi-vie d'un gâteau.

page 33

L'ÂGE DE LA TERRE OBTENU PAR UN ÉLÉMENT RADIOACTIF

page 35

REMERCIEMENTS

page 35

À PROPOS DES AUTEURS

page 36

À PROPOS DES TRADUCTEURS



INTRODUCTION

Si tu te demandais quel âge a la Terre, que ferais-tu pour répondre à cette question ? Nous t'expliquerons ici comment des personnages illustres, des religieux aux scientifiques, ont essayé d'y répondre. En général, deux méthodes ont été utilisées : l'une essayant d'obtenir son âge absolu (en années) et l'autre essayant d'obtenir son âge relatif (plus jeune ou plus vieux qu'autre chose).

Sans aucun doute, la question de l'âge de la Terre est l'une des plus grandes que l'humanité s'est posée. Nous te présentons ici quelques expériences dans lesquelles tu verras comment, en essayant de répondre à cette question, d'autres ont été résolues. Nous t'expliquons également comment faire des expériences qui ont rendu célèbres de grands scientifiques.

DES CALCULS BASÉS SUR LA BIBLE

Du II^e au XVII^e siècle, plusieurs calculs de l'âge de la Terre ont été faits à partir de textes de la Bible. La plus célèbre de ces tentatives est peut-être celle qui a été faite en 1650 par l'archevêque James Ussher, qui a calculé l'âge des descendants d'Adam jusqu'à Abraham. Il a défini l'année où Abraham était né, et grâce aux âges de tous ses ascendants, il a calculé que la Terre devait avoir 5 994 ans.

Pourquoi ne pourrait-on pas obtenir l'âge de la Terre avec cette méthode ? Ce calcul considère qu'Adam est apparu sur Terre le sixième jour après sa formation. Cependant, des découvertes géologiques, paléontologiques et radiométriques ultérieures - que nous présenterons dans ce livret - ont montré que la Terre s'était formée bien avant que l'homme n'y apparaisse.

Une des premières preuves scientifiques de la longue période d'existence de notre Terre provient des archives fossiles, dans lesquelles on a observé que les êtres vivants ont beaucoup changé au fil du temps ; nous en reparlerons plus tard, mais nous commencerons par apprendre comment changent les êtres vivants.

LES LOIS DE LA GÉNÉTIQUE

Comment distinguer les caractères hérités de ceux qui ne le sont pas ? Sans aucun doute, l'une des expériences scientifiques les plus importantes a été menée entre 1865 et 1866 par Georges Mendel, un moine autrichien. Il a mené des expériences sur des petits pois pour savoir quels étaient les caractères hérités. Eh bien, c'est grâce à ces expériences apparemment simples qu'a débuté la génétique, qui est la partie de la biologie qui traite de l'hérédité et de tout ce qui s'y rapporte.

Les caractères des êtres vivants répondent à la manifestation de ce que nous appelons les gènes et à l'environnement agissant sur les individus. On sait que, pour un caractère donné, les gènes ont des variantes appelées allèles, qui peuvent être dominants ou récessifs. Les allèles dominants sont ceux qui, lorsqu'ils sont présents se manifestent toujours, alors que ceux qui sont récessifs ne se manifestent qu'en l'absence de l'allèle dominant. Par exemple, les yeux bruns ont été considérés comme une manifestation d'allèles dominants, alors que les yeux bleus proviennent des allèles récessifs. Pour simplifier, considérons ici que la couleur des yeux dépend d'un seul gène. Par conséquent, tant que chez un descendant, un ou deux des allèles pour la couleur des yeux sont dominants, le descendant aura les yeux bruns, même s'il a également l'allèle récessif. Par contre, lorsque les deux allèles pour la couleur des yeux sont récessifs, le descendant aura les yeux bleus. Voici, de manière très simplifiée, le secret de l'hérédité.

Si un enfant a les yeux bruns, c'est une question de probabilité qui dépend des allèles des parents. Ceci est montré dans le tableau suivant, dans le cas où les parents ont des allèles à la fois dominants et récessifs.

		Maman	
		Elle a hérité un allèle de chaque parent	
		O (bruns)	X (bleus)
Papa Il a hérité un allèle de chaque parent	O (bruns)	OO	OX
	X (bleus)	XO	XX

Dans le tableau, seules trois cases contiennent O. C'est-à-dire qu'il existe une case sans O. Par conséquent, sur quatre enfants, il est probable que l'un d'entre eux ait les yeux bleus.



Expérience 1

Probabilité d'hériter des yeux clairs

Matériel

- 1 cahier
- 1 crayon
- 8 billes brunes
- (ou d'une autre couleur foncée)
- 8 billes bleues (ou d'une autre couleur claire)
- 2 petits bols



Indications

Examinons l'exemple présenté ci-dessus. Dans un cahier dessine un tableau avec 20 cases. Considérons les billes brunes comme l'allèle dominant (**yeux bruns**) et les billes bleues comme l'allèle récessif (**yeux bleus**). Dans chaque bol, mets 4 billes brunes et 4 billes bleues. Maintenant, sans regarder, prends une bille de l'un des récipients : si elle est brune, mets un **O** et si elle est bleue, mets un **x** dans la première case du tableau ; puis remets les billes dans le bol. Prends une autre bille du second récipient et, selon la bille qui sort, écris un **x** ou un **O** dans la même case. Répète la même procédure pour chacune des 20 cases. Maintenant, compte combien de cases contiennent **OO**, combien de **xx** et combien de **Ox**.

Observe

La proportion de cases avec au moins un **O** représente la probabilité que les enfants aient les yeux bruns. Par exemple, si tu as obtenu 16 cases contenant un **O**, cela signifie que sur 20 enfants, il y en aura probablement 16 avec les **yeux bruns**. Comme il est difficile pour quelqu'un d'avoir 20 enfants, nous dirons plutôt que, sur 10 enfants, 8 auront probablement les **yeux bruns**, ou que sur 5



enfants, 4 auront probablement les **yeux bruns**. Tu te rends compte ? C'est la même chose.

Explique

Les caractères d'une population reflètent la manière dont les individus se sont mélangés, c'est-à-dire la manière dont leurs gènes se sont mélangés. Les caractères d'une population reflètent la manière dont les individus se sont mélangés, c'est-à-dire la manière dont leurs gènes se sont mélangés. Un exemple en est la taille des individus.

Applique-le à ta vie quotidienne

Les êtres vivants sont très divers et nous savons qu'ils héritent de leurs parents d'une grande partie de leur aspect physique, de leur comportement et de la façon dont leurs corps fonctionnent. Nous savons tous qu'il existe différentes races de chiens, de chats et de toutes sortes d'animaux et de plantes. Par exemple, au marché, tu verras qu'il existe une grande variété de haricots, de pommes de terre ou d'oranges. Tu peux également voir à quel point les chiens sont différents. Nous savons que si deux chiens de la même race sont croisés, il est fort probable que les chiots ressembleront à leurs parents, mais ce n'est pas toujours le cas.

Parfois, un chien naît d'une autre couleur ou avec des caractères différents. Bien que cela puisse paraître étrange, maintenant que tu as fait l'expérience, tu sais pourquoi cela se passe comme ça.



DES CALCULS BASÉS SUR LE REGISTRE FOSSILE



Un fossile est une preuve matérielle de la vie passée. Les fossiles ne peuvent pas dire l'âge, mais on peut dire lesquels d'entre eux sont les plus âgés, en fonction de leur quantité et de leur emplacement relatif. L'observation de la distribution des fossiles dans les roches, nous fait mesurer la très longue durée nécessaire à l'évolution et la disparition complète d'un groupe d'êtres vivants. Cela a amené Charles Lyell à penser que, depuis que l'être humain a pu observer les organismes actuels, ceux-ci n'ont pratiquement pas changé et que, par conséquent, pour que des groupes disparaissent complètement de l'enregistrement géologique, il aura fallu énormément de temps.

Expérience 2

Espèces en voie d'extinction

Matériel



-Un bol avec 10 billes vert foncé, 10 billes bleu foncé, 10 billes jaune foncé et 10 billes noires.

-Un bol avec des billes transparentes de type « œil de chat » : 10 sans couleur, 10 bleu clair, 10 jaune clair et 10 vert clair.

Tu peux également utiliser des perles en plastique.

-Papier, crayon, feutre.

Indications

Marque le bol aux billes noires avec un A et le bol aux billes claires avec un B. Sans regarder, prends au hasard une bille du bol B et mets-la dans le bol A ; mélange les billes du bol A, puis retires-en une bille. Répète cette opération 5 fois pour voir combien de billes noires restent dans le bol A. Écris ce numéro sur un tableau. Répète l'opération 5 fois de plus et note à nouveau le nombre de billes noires et le nombre de billes claires restant dans le bol A. Répète l'opération jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de billes dans le bol B.



Observe

Tu peux voir que, lors de cette opération, les billes sombres disparaissent et les billes claires prennent leur place. Tu verras également que certaines billes sombres vont disparaître en premier et que d'autres resteront.

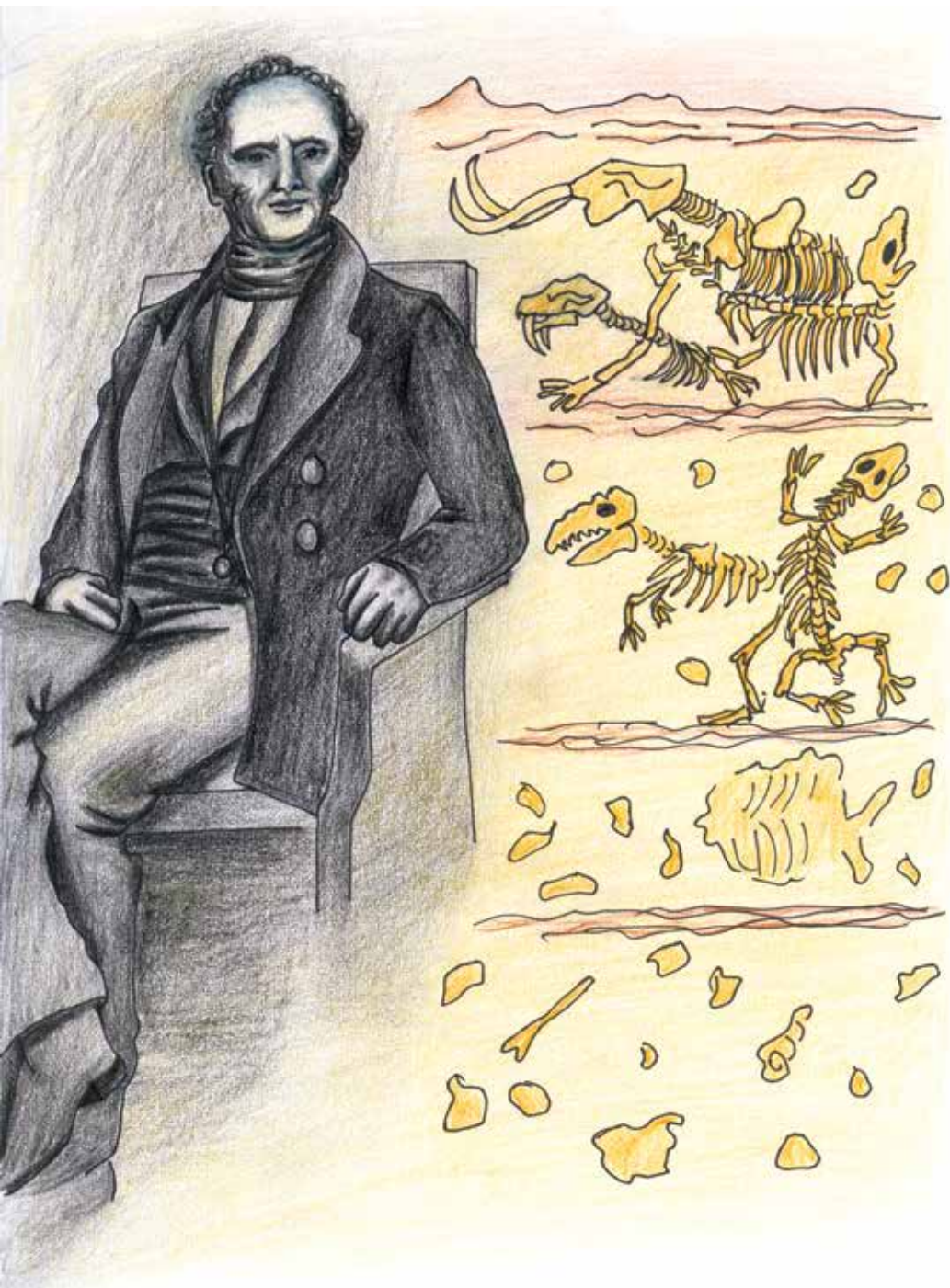
Explique

Dans cette expérience nous voyons que la quantité de billes sombres diminue à mesure que l'opération se déroule. Par conséquent, nous pouvons également dire qu'elles disparaîtront à un moment donné si nous continuons à répéter cette même opération. Si nous notons l'instant à chaque fois que nous écrivons le nombre de billes dans notre tableau, nous verrons qu'il existe une relation entre la durée écoulée et le nombre de billes sombres qui restent. Il est important de noter que la durée nécessaire à la disparition complète des billes sombres devient très grande à mesure que nous augmentons le nombre initial de billes.

Trouve-le dans la nature

Lors de l'ascension de couches rocheuses superposées, Charles Lyell a remarqué que les populations de fossiles observées dans les couches inférieures disparaissaient progressivement et qu'elles étaient remplacées par d'autres fossiles. Il a interprété qu'il fallait plusieurs millions d'années pour qu'une population complète de fossiles disparaisse. De cette manière, en classant les fossiles par groupes ou par populations, il a établi le tableau du temps géologique qui est la base fondamentale de l'échelle chronostratigraphique en géologie.





UN CALCUL BASÉ SUR LA PERTE DE CHALEUR DE LA TERRE

L'idée que la Terre a commencé comme une masse incandescente est très ancienne. À l'apogée des sciences physiques du XVIII^e siècle, plusieurs personnages ont décidé de calculer le temps que la Terre a pris pour refroidir jusqu'à son état actuel. L'un d'entre eux, peut-être le plus célèbre, était Georges Louis Leclerc, mieux connu sous le nom de Comte de Buffon qui, en 1779, effectua ce calcul et proposa un âge de la Terre de 75 000 ans. En 1862, William Thomson (connu sous le nom de Lord Kelvin) effectua un calcul similaire, mais plus détaillé ; il a calculé cet âge entre 20 et 100 millions d'années.

Pourquoi ne pourrait-on pas obtenir l'âge de la Terre avec cette méthode ? Dans ces calculs, Buffon et Lord Kelvin n'ont pas tenu compte de plusieurs choses par exemple : 1) la Terre contient des minéraux radioactifs qui fournissent de la chaleur ; 2) cette chaleur sur Terre est également transmise par convection (voir le livret 3 de cette série) ; 3) la croûte terrestre est une « couche » qui s'est épaissie avec le temps et ralentit les pertes de chaleur ; 4) de plus, ils ont pris en compte des températures beaucoup plus basses que celles qui existent dans les couches profondes de la Terre.



Expérience 3

Transmission de la chaleur

Tu as sans doute remarqué qu'il semble que les matériaux ont une température différente, puisque, si on les touche, certains paraissent plus froids que d'autres. Mais, sont-ils vraiment à une température différente ?

Matériel

- Matériaux divers tels que moquette, bois, métal, boue, céramique, carton ...
- Un thermomètre pouvant mesurer des températures comprises entre 0 et plus de 40 °C.

Indications

Touche les différents types de matériaux. Ensuite, avec le thermomètre, mesure la

température de chacun d'entre eux.

Observe

Même s'ils sont à la même température, tu sens que certains paraissent plus froids que d'autres.

Explique

Les matériaux auront tendance à avoir la même température s'ils passent beaucoup de temps dans le même environnement. Tu as sûrement observé cela lorsque tu laisses de la soupe chaude dans une assiette et qu'elle



refroidit. Tu remarqueras également qu'un soda froid se réchauffe s'il est hors du réfrigérateur. Si la soupe ou le soda oubliés se trouvaient au même endroit, après un moment, ils attendraient la même température.

Considère que la température d'un corps humain est proche de $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; lors d'une journée agréable la température ambiante sera d'environ $26\text{ }^{\circ}\text{C}$

et les objets auront tous à peu près cette température, c'est-à-dire qu'ils seront plus froids que ton corps. Le fait que certains objets soient apparemment plus froids que d'autres dépendra de leur propriété à conduire la chaleur, appelée conductivité thermique. La moquette est un mauvais conducteur de chaleur, ta peau ne peut donc pas lui transmettre rapidement ta chaleur et tu ne la sentiras pas si froide. Au contraire, les métaux sont meilleurs conducteurs de chaleur et ta chaleur leur est transmise très rapidement, de sorte qu'ils ont l'air plus froid que les autres matériaux.



Applique-le à ta vie quotidienne

Lorsque tu sers le repas par une journée très froide, il se refroidira très rapidement car le plat sera froid. Si tu veux que tes aliments restent chauds plus longtemps, assure-toi que le plat soit chaud avant de servir.



Pour soulager une blessure, il est très courant d'y apposer des objets très froids (bloc de glace) ou très chauds (récipient contenant de l'eau chaude). Si tu places les objets directement sur la peau, le changement de température peut être trop rapide et te faire mal ; pour que cela ne se produise pas, tu dois glisser un chiffon entre ta peau et l'objet. Comme la conductivité thermique du tissu est assez basse, le changement de température se fera lentement, sans te faire mal.

Tableau. Conductivité thermique de certains matériaux par rapport à l'air :

Air	1
Bois	6
Eau	24
Verre	30-40
Granite	130
Acier inoxydable	600
Cuivre	16 000

Trouve-le dans la nature

Dans les mines souterraines, il fait très chaud, car la température des roches augmente avec la profondeur. Si l'on pouvait aller plus profondément, on atteindrait des zones de la Terre qui sont à des centaines de degrés Celsius. Cette chaleur est utilisée pour produire de l'énergie électrique en exploitant l'eau chaude dans les « champs géothermiques » qui constituent un moyen très peu polluant d'obtenir de l'énergie.

Quand un corps change de température, il lui arrive beaucoup de choses. L'une des plus importantes est qu'il change de volume et donc de densité. Rappelle-toi que les différences de densité font bouger les fluides (voir les livrets 3 et 4 de cette série). En réalité, dans de



nombreux mouvements qui se produisent sur Terre, intervient la transmission de chaleur d'un corps à un autre. Par exemple dans les cas du mouvement de l'air (vents), du mouvement de l'eau dans les océans (courants marins) ou de celui des continents (tectonique des plaques).

DES CALCULS BASÉS SUR LA SALINITÉ DE L'EAU DE MER



L'eau de mer est salée, nous le savons tous, mais pourquoi est-elle salée ? Elle est salée car les fleuves qui se jettent dans la mer contiennent des sels qui proviennent des roches par dissolution au contact de l'eau. À son tour, l'eau des rivières et des fleuves provient principalement des océans par évaporation. L'eau qui s'évapore des océans se condense dans l'atmosphère pour former des nuages et tombe sous forme de pluie sur les continents, puis ruisselle et voyage dans les rivières et les fleuves jusqu'à son retour à la mer, où elle s'évaporerait à nouveau... et le cycle se répète. C'est ainsi que l'eau des fleuves apporte continuellement du sel qui se concentre dans les océans, les rendant progressivement plus salés.

De nombreux scientifiques ont essayé de voir depuis quand les océans étaient devenus salés. Parmi eux, John Joly a fait des calculs en 1899 en supposant que, lorsque la Terre venait de se former, les océans étaient composés

d'eau douce. En calculant la quantité de sel transportée chaque année par les fleuves du monde entier jusqu'aux océans et en mesurant leur salinité actuelle, il en a conclu que la Terre avait environ 89 millions d'années.

Pourquoi l'âge de la Terre n'a-t-il pas été correctement obtenu avec cette méthode ? Ce que Joly calculait en réalité c'était l'âge des océans en considérant que la Terre et les océans avaient toujours eu le même aspect. Son calcul a échoué, entre autres choses, parce qu'on sait maintenant que la surface des continents a beaucoup changé au cours de l'histoire de la Terre. La quantité de sel que les fleuves transportaient autrefois était donc très différente de celle qu'ils transportent actuellement.

Expérience

4

Dissolution, évaporation et condensation

Matériel

- Une petite pierre (ou tout autre objet lourd)
- Deux récipients, un moyen et un petit
- Un verre transparent
- Un morceau de plastique
- Ruban adhésif
- De l'eau
- Du sel



Indications

Ajoute des petites cuillerées de sel dans un verre d'eau jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus, c'est-à-dire, jusqu'à ce que tu vois que le sel tombe au fond du verre, même en agitant le verre. On dit qu'il y a saturation).



Maintenant vide l'eau salée dans le grand récipient ; à l'intérieur (au centre), place le petit récipient. Couvre les deux avec du plastique et fixe le plastique au récipient avec du ruban adhésif.

Place ensuite la pierre au centre de telle sorte que le plastique prenne une forme conique et que la pointe du cône soit au-dessus du petit récipient. Mets le tout au soleil et laisse-le pendant un moment.



Pour que cette expérience fonctionne, il est nécessaire que l'inclinaison du plastique soit grande : plus elle est inclinée, mieux cela va fonctionner.

Une variante consiste à mettre des récipients en métal à feu lent sur le réchaud.



Observe

Dans l'expérience, tu verras qu'après un certain temps, le petit récipient contiendra de l'eau. Tu pourras goûter cette eau et tu verras qu'elle n'est pas salée !

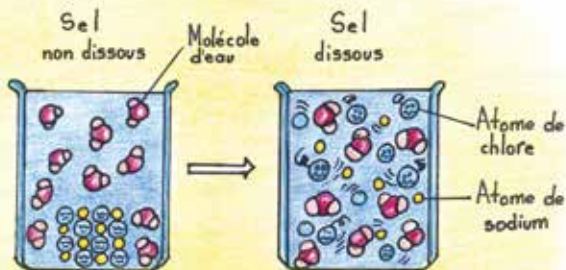
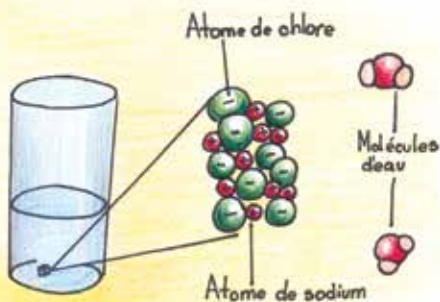
Explique

Ce que tu as fait au début de l'expérience s'appelle dissolution, celle qui consiste à mélanger deux substances, mais au niveau de très petites particules, au niveau moléculaire ou atomique. Le sel est composé d'un atome de chlore et d'un atome de sodium, qui en s'associant en très grandes quantités forment les cristaux que tu connais. Lorsque nous ajoutons les petits cristaux de sel à l'eau,

l'eau arrache les atomes de chlore des cristaux de sel, en dispersant les atomes qui forment le sel entre

les molécules d'eau, jusqu'à ce que le cristal de sel disparaisse. C'est pourquoi, une fois le sel dissous, tu ne peux plus récupérer le sel et le séparer de l'eau. La seule façon de le faire est d'évaporer l'eau pour que le sel cristallise à nouveau.

Ce que nous avons fait dans l'expérience des deux récipients et du plastique, c'est convertir l'eau liquide en vapeur (l'évaporer) puis de la



reconvertir en liquide (la condenser) ; l'eau qui s'évapore du grand récipient se condense au contact du plastique et se déverse dans le petit récipient.

Applique-le à ta vie quotidienne

Dissoudre est l'une des choses que nous faisons le plus souvent à la maison ; par exemple, nous mettons du sucre dans un jus de fruits, du sel dans les aliments et préparons

des vinaigrettes pour assaisonner les salades ; De même, lorsque nous mélangeons du savon ou du chlore et de l'eau pour nettoyer. De nombreux aliments

et médicaments sont également ingérés sous

forme dissoute. Bien que cela te semble étrange, il existe également des solutions solides,

par exemple du verre coloré et de nombreux objets métalliques comme l'acier, les bijoux en or et les pièces de monnaie. Comme tu peux le constater, beaucoup de choses sont solubles l'une avec l'autre, mais certaines ont besoin de le faire à haute température comme les métaux.

Trouve-le dans la nature

Dans la nature, il existe également d'innombrables exemples de solutions. Il suffit de penser à l'eau de mer, à l'air, au sang, à la sueur et à la sève des plantes. Nous t'invitons à réfléchir à d'autres cas de dissolution et tu verras que tu les trouveras partout.



Expérience

Cristallisation

5

Matériel

- Un verre transparent
- Un bâton ou un crayon
- Du fil
- Alun ou sel



Indications

Dissous l'alun (ou le sel) dans un récipient d'eau tiède jusqu'à ce que tu ne puisses plus le dissoudre.

Attache une extrémité du fil au centre du bâton et à l'autre extrémité attache un morceau de cristal d'alun.

Ensuite, le cristal doit être suspendu au bâton, de manière à être immergé dans la solution. Le bâton appuyé sur les bords du récipient permettra de retenir le cristal à l'intérieur de la solution. Tu peux fixer le bâton au récipient avec du ruban adhésif. Tu dois ensuite mettre le récipient dans un endroit sec et à l'abri de la poussière.

Observe

Tu peux voir que le cristal grandit de jour en jour. Si tu as de la chance, le cristal deviendra assez gros et tu pourras voir sa forme et ses faces facilement.



Explique

Tu te souviens qu'au début de l'expérience tu as dissous de l'alun jusqu'à saturation, ce qui signifie que tu as atteint la quantité maximale d'alun pouvant être dissoute dans l'eau. Le stockage du récipient pendant un certain temps a permis à l'eau de s'évaporer progressivement et donc d'augmenter la concentration d'alun dissous, ce qui a fait dépasser sa limite de saturation dans la solution, et provoquer une précipitation de l'alun autour du cristal. Le cristal que tu as suspendu au fil a attiré les molécules d'alun qui sont en excès dans l'eau et ainsi, le cristal a grandi.



Applique-le à ta vie

Dans notre vie quotidienne, nous observons de nombreux cas de cristallisation (précipitation) de substances très différentes. Observe, par exemple, l'apparition de taches blanches ou jaunes sur de nombreux raccords de tuyaux, ainsi que sur les robinets et les douches. De la même manière, de telles taches apparaissent sur certains murs et planchers pendant la saison des pluies (principalement dans les angles). Lorsque l'eau bout, une ligne blanche apparaît dans la casserole, très près du niveau d'origine

de l'eau. Ce sont tous des exemples de sels qui sont dissous dans l'eau et qui précipitent par évaporation. Ces précipités affectent de nombreux objets, ou recouvrent les tuyaux et autres conduits de nos appareils. C'est pourquoi on vend de l'eau spéciale sans sel, par exemple pour les fers à vapeur.

Trouve-le dans la nature

La mer et les océans sont l'exemple par excellence où des sels sont dissous, nous savons tous que l'eau de mer est salée. Le sel que nous consommons est obtenu en grande partie par évaporation de l'eau de mer. Parfois, la nature fait elle-même ce processus de précipitation de sel de la mer ou des lagunes, ce qui entraîne la formation de vastes dépôts d'évaporites. Lorsque le sel précipite de cette manière, il le fait sous forme de cristaux cubiques de chlorure de sodium ; ce sel est un minéral appelé halite ou sel gemme.

Il existe également des roches formées par précipitation, telles que le calcaire et le travertin, qui sont utilisés comme des roches ornementales dans de nombreuses constructions, principalement dans les bâtiments publics : tu les as sûrement déjà vues. Par exemple, le célèbre Colisée à Rome a beaucoup de travertin.

Il existe un ensemble de roches qui se sont formées par la précipitation de sels lors de l'évaporation naturelle de mers, de lacs ou lagunes : elles sont appelées évaporites. Comme tu peux le voir, leur nom nous dit quelle est son origine.

D'autre part, tu as peut-être vu chez certains bijoutiers de beaux bijoux, en agate ou onyx, qui appartiennent à un ensemble de minéraux appelé calcédoine, qui sont également formés par précipitation, en l'occurrence de la silice.



DES CALCULS BASÉS SUR LE DOSSIER GÉOLOGIQUE

Érosion et dépôt de sédiments

Au XVe siècle, Léonard de Vinci, voyant la couche de sédiments qui se trouvait sur les bords du fleuve Pô, pensa que ces sédiments se déposaient le long de ses rives chaque année. Observant l'épaisseur des couches et faisant des essais sur la vitesse avec laquelle les sédiments s'accumulaient, il calcula le temps qu'il aurait fallu pour que se forment les dépôts de sable et de limon qu'il observait. Il a ainsi proposé que, si une couche de sédiments se formait en 20 000 ans, la Terre formée avant eux devait être bien plus ancienne.

L'eau des rivières et des fleuves a toujours tendance à se diriger vers la mer, et creuse ainsi son propre chemin. Sur son trajet, elle érode peu à peu les roches qu'elle rencontre. Plus la pente est grande, plus son pouvoir érosif est important. Quand elle érode, elle peut arracher des morceaux et dissoudre les roches qui se trouvent au bord des rivières. Les roches désagrégées forment des sédiments en suspension, tandis que les roches dissoutes permettent à l'eau de la rivière d'augmenter sa salinité. De Vinci a observé que, lorsque les eaux des rivières ralentissent ou arrêtent de s'écouler, les sédiments se déposent. L'érosion et les dépôts de sédiments ont été utilisés dans de nombreux calculs pour tenter de connaître l'âge de la Terre. Par exemple, en 1889 James Croll a utilisé la vitesse d'érosion pour calculer qu'il fallait 20 000 ans pour éroder un relief de 1 mètre, proposant un âge de 72 millions d'années pour la Terre. D'autre part, de nombreux scientifiques ont évalué la quantité de sédiments représentés par les roches sédimentaires et métamorphiques de la Terre et calculé le temps nécessaire à leur accumulation. L'un d'entre eux, Arthur Holmes, a calculé en 1913 que l'âge de la Terre devrait être compris entre 250 et 350 millions d'années.

Pourquoi ne pourrait-on pas obtenir l'âge de la Terre avec cette méthode ?

L'érosion est un processus très variable dans le temps et dans l'espace. En outre, il n'existe pas de registre des roches qui englobe l'ensemble de l'histoire de la Terre.



Expérience 6

Comment se comporte le mélange de sédiments avec de l'eau ?



Matériel

- 1 grand récipient
- 1/2 tasse de fécule de maïs
- 1/4 tasse d'eau

Indications

Tout d'abord, mets un doigt dans l'eau et remue-le : tu verras qu'il se déplace facilement, mais il y a une certaine résistance au mouvement ; tu le remarqueras davantage si tu compares le mouvement lorsque tu agites ton doigt dans l'air. Maintenant, mélange la fécule de maïs et l'eau en t'aidant d'une cuillère, jusqu'à ce que cela ressemble à une pâte.



Observe

Si tu laisses le mélange reposer pendant un moment, la fécule de maïs se dépose au fond du récipient, laissant une couche d'eau par-dessus. Si, avant que l'eau et la fécule de maïs se séparent, tu frappes fortement la surface,





tu verras que cela ressemble à un solide, mais si tu y mets un doigt doucement et que tu le fais bouger lentement, cela ressemble à un liquide. Si tu mets un doigt et que tu essayes de le retirer très rapidement, tu sentiras que ton doigt est coincé.

Explique

Les fines particules de roches ou de fécule de maïs de l'expérience, ne se combinent pas chimiquement, elles restent simplement en suspension, « nageant » dans l'eau. Dans cette expérience, tu auras vu que les matières en suspension se sont déposées au fond après un certain temps. Ce processus s'appelle sédimentation et le matériel qui reste au fond s'appelle le sédiment.

Lorsque l'eau est seule, sans particules en suspension, elle se comporte comme un liquide. Bien qu'elle se déplace facilement, elle présente une certaine résistance au mouvement, appelée viscosité. Cette résistance reste la même, que l'eau se déplace rapidement ou lentement. Lorsque l'eau contient des particules, un changement très important se produit, car la résistance au mouvement dépend de la vitesse à laquelle on essaye de faire bouger le mélange. Quand on veut le faire rapidement, sa résistance devient si grande qu'elle semble solide, mais si on le fait lentement, la résistance est très faible et le mélange se comporte comme un liquide.

Applique-le à ta vie quotidienne

Beaucoup de choses que nous utilisons ou mangeons ont des particules en suspension, telles que la peinture, des médicaments, des sauces ou du jus de fruits. C'est pourquoi nous devons parfois les



agiter avant de les consommer ou de les utiliser, car les particules qu'elles contiennent se déposent lorsqu'elles ne bougent pas pendant un certain temps.

Trouve-le dans la nature

Il est très courant qu'il y ait de la boue sur les rives des lacs, des rivières, des étangs, etc. La boue est un mélange de limon et d'eau, elle se comportera donc de la même manière que ton mélange de fécule de maïs et d'eau. Tu peux marcher rapidement dans la boue et sentir qu'elle résiste bien à ton poids, mais dès que tu t'arrêtes tu



commenceras à t'enfoncer. Tu dois faire attention car tu peux laisser une chaussure coincée dans la boue et il sera difficile de la récupérer.

DES CALCULS BASÉS SUR LA DESINTÉGRATION RADIOACTIVE



La contribution d'Ernest Rutherford

Ernest Rutherford fut l'un des physiciens les plus importants du début du XXe siècle. Sa contribution la plus célèbre a été le modèle de l'atome qui porte son nom. Il a proposé que l'atome était formé par un très petit centre qu'il a appelé le noyau, où il y a des particules très serrées les unes aux autres. Il a également suggéré que les électrons tournaient autour de lui et qu'il y avait une grande quantité d'espace vide entre le noyau et les électrons. Rutherford a conçu ce modèle sur la base des résultats d'une expérience menée sous sa direction par son jeune collègue Hans Geiger et l'étudiant Ernest Marsden en 1909.

À l'époque, on croyait que l'atome ressemblait à un « pain aux raisins » formant une masse sans espaces vides. L'expérience consistait à lancer des particules appelées « alpha » sur une plaque d'or. La chose intéressante a été de constater que certaines particules rebondissaient comme si elles touchaient quelque chose de très dur et massif (le noyau de l'atome), alors que la plupart des particules traversaient la plaque ou déviaient un peu.



Expérience

7

Choc d'atomes

Matériel

- Une petite boîte en carton
- 3 balles de caoutchouc dur d'environ 3,5 cm de diamètre
- 10 boules de polystyrène expansé d'environ 0,5 cm de diamètre (les diamètres ne doivent pas nécessairement être exacts : prends-les comme guide pour choisir les tailles)



Indications

Retire deux côtés de la boîte. Place les 3 balles en caoutchouc et couvre-les avec la boîte afin que tu ne puisses pas les voir. Par l'un des côtés que tu as retirés de la boîte, lance les boules de polystyrène une à une.

Observe

Lorsque tu lances les balles de polystyrène, certaines d'entre elles rebondissent. Cela se produit parce que sous la boîte se trouvent des objets solides très massifs, qui sont les balles de caoutchouc.



Explique

Dans notre expérience tu ne peux pas voir (d'en haut) ce qu'il y a sous la boîte. Rutherford et ses collègues ne pouvaient pas non



plus voir ce qu'il y avait à

l'intérieur de la plaque d'or au niveau atomique.

Ils croyaient que toutes les parties constituant les atomes étaient mélangées et formaient une masse sans espaces vides et que, par conséquent, les particules qu'ils lançaient traverseraient la plaque, en se déviant légèrement, car ce sont des particules qui se déplacent très rapidement et sont assez massives. Comme nous l'avons vu, ça ne s'est pas passé comme ça, car certaines d'entre elles ont rebondi. Dans notre expérience, nous observons que lors du lancement des balles de polystyrène, certaines d'entre elles rebondissent ; cela se produit parce que dans la boîte il y a des balles de caoutchouc grosses et lourdes. Pour revenir à l'expérience de Rutherford, celui-ci en a déduit, sans avoir à vérifier ce qu'il y avait à l'intérieur de la plaque d'or, la présence d'une partie très massive de l'atome (le noyau), et a ainsi changé l'idée qu'on avait précédemment de la forme des atomes.

Trouve-le dans la nature

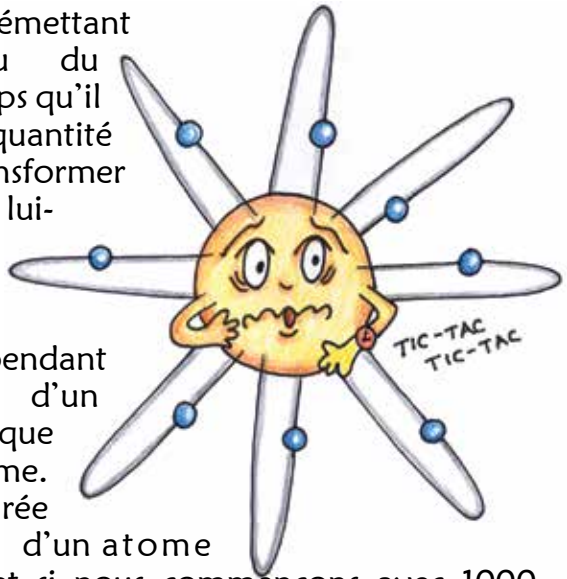
Dans certains atomes, le noyau se désintègre spontanément, c'est-à-dire sans cause apparente et, lorsqu'il se désintègre, il émet des radiations. Les atomes ayant cette propriété sont appelés radioactifs. Bien qu'il existe de nombreux éléments naturels radioactifs, ils sont en très faible quantité. Certains d'entre eux sont un peu plus abondants, par exemple l'uranium, utilisé pour produire de l'électricité. Étant donné que la radioactivité

produit beaucoup de chaleur, elle sert à chauffer de l'eau et, une fois la vapeur obtenue, celle-ci est utilisée pour faire tourner des machines appelées turbines qui produisent de l'électricité.

Demi-vie et vie moyenne des atomes radioactifs

Dans les atomes radioactifs, le noyau se désintègre et l'atome se transforme en un autre type d'atome, en émettant des particules ou du rayonnement. Le temps qu'il faut à une certaine quantité d'atomes pour se transformer dépend de l'atome lui-même. Ce temps est mesuré de deux manières : la demi-vie, qui est le temps pendant lequel la moitié d'un nombre quelconque d'atomes se transforme. Par exemple, si la durée de vie moyenne d'un atome est de 10 secondes et si nous commençons avec 1000 grammes (1 kilogramme), 10 secondes plus tard nous n'aurons plus que 500 grammes (un demi-kilogramme) de l'atome d'origine, 20 secondes plus tard nous aurons 250 grammes (la moitié d'un demi-kilogramme), au bout de 30 secondes il restera 125 grammes (la moitié de la moitié d'un demi kilogramme) et ainsi de suite.

La deuxième manière est la durée de vie moyenne, qui est la durée moyenne d'existence d'un atome radioactif avant sa désintégration.



Expérience 8

Demi-vie d'un gâteau

Pour comprendre le processus de radioactivité, on propose l'exercice suivant : choisir une quantité quelconque d'enfants et un gâteau. Le gâteau est pesé et coupé en deux. Laisse les enfants manger la moitié du gâteau et mesure le

temps qu'il leur a fallu pour le faire. L'autre moitié du gâteau est coupée en deux et un quart du gâteau est réparti entre les enfants. Pour consommer ce quart du gâteau, on donne aux enfants un temps égal à celui qui s'est écoulé lorsqu'ils ont mangé la première moitié du gâteau. L'exercice est répété avec un huitième du gâteau, mais les enfants doivent toujours utiliser le même temps, même si à chaque fois la part du gâteau consommée est plus petite. On arrive aux considérations suivantes :

A. Que chaque gramme du gâteau est le noyau d'un atome radioactif.

B. Que le rythme auquel les enfants mangent représente l'activité radioactive.

Nous allons maintenant calculer la demi-vie, l'activité radioactive, la constante de désintégration et la durée de vie moyenne comme suit :

Demi-vie

Le temps qu'il a fallu pour manger la première moitié du gâteau correspond à la demi-vie. Note que le même temps a toujours été utilisé pour consommer la moitié du gâteau restant, quelle que soit la taille de la portion en question.

Activité radioactive

On mesure la moitié du poids total du gâteau (en grammes) et la valeur obtenue est divisée par le temps passé à manger la moitié du gâteau (en secondes). Il en résulte l'activité radioactive lors de la première distribution du gâteau. Ensuite, la valeur du quart du poids total du gâteau est divisée par le temps passé pour manger les trois quarts du gâteau (en secondes). Le résultat est l'activité radioactive pour les deux premières distributions de gâteau et, ainsi de suite. Comme on peut le constater, l'activité radioactive est très importante au début et très faible à la fin.

Constante de désintégration

La constante de désintégration peut être évaluée en divisant la moyenne des activités radioactives par la moyenne du poids des portions de gâteaux. Plus nous faisons de parts au gâteau mieux c'est. Dans le cas des éléments radioactifs, on considère qu'un gramme d'uranium contient plus de deux millions cinq cents mille milliards de milliards d'atomes (soit 25 suivi de 23 zéros). Ainsi, pour calculer la constante de désintégration on emploie des outils mathématiques plus complexes qui permettent de considérer un nombre infini de partitions.

Durée de vie moyenne

C'est le temps moyen pendant lequel le noyau d'un atome radioactif reste stable, avant la désintégration. Il est calculé en divisant 1 par la constante de désintégration.

Il faut noter que la durée de vie moyenne est différente de la demi-vie.



L'ÂGE DE LA TERRE OBTENU PAR UN ÉLÉMENT RADIOACTIF

La manière la plus moderne de connaître l'âge de la Terre consiste à utiliser les éléments radioactifs naturels contenus dans les roches. Arthur Holmes a été le premier scientifique à utiliser cette méthode pour donner un âge en millions d'années (Ma) aux roches qui constituent la Terre.

Nous connaissons actuellement la durée de vie moyenne de nombreux éléments radioactifs dans les roches. Il suffit donc aux scientifiques de chercher ces éléments et de les analyser pour déterminer le moment où les roches qui les contiennent se sont formées. Pendant plusieurs décennies, ils ont cherché l'âge des roches les plus anciennes, mais ils se sont rendu compte que les roches présentes au début de la formation de la Terre avaient disparu, car notre planète n'était pas immobile, et ces roches primordiales avaient été détruites. Alors ils ont eu



l'idée de chercher un morceau de matériau semblable à celui qui s'est assemblé pour former la Terre. Ce matériau, ce sont les météorites, de telle sorte qu'on en a recueilli le plus grand nombre possible et on a déterminé leurs âges.

Une des plus anciennes météorites est tombée à Allende, dans le Chihuahua, au Mexique. Elle a donné un âge d'environ 4 milliards d'années (4 567 000 000). On continue à travailler pour obtenir l'âge de la naissance de notre planète avec plus de précision, considérant qu'elle s'est constituée des dizaines de millions d'années après la formation de ces météorites. Grâce à la radioactivité on peut connaître l'âge des montagnes, des océans, des cavernes, des volcans, entre autres choses et, enfin, nous avons actuellement une idée assez claire de l'âge véritable de la Terre. Aujourd'hui, nous savons que c'est à peu près 4 540 millions d'années.



REMERCIEMENTS

La partie technique du texte a été passée en revue par Mes. Ma. Teresa Orozco Esquivel, Jaime Urrutia Fucugauchi, Carlos M. González León, José Pablo Liedo Fernández, Francisco J. Vega Vera, Luigi Solari, Juan Carlos García Barragán et Mario Andrés Cuéllar Cárdenas. Aurora M. Asprón Ramírez, Adriana Guzmán, Emilia Cruz Alaniz et Joaquín E. Alaniz Álvarez ont eu la gentillesse de revoir le manuscrit et de faire de précieuses recommandations.

À PROPOS DES AUTEURS :

Ángel Francisco Nieto-Samaniego

Il a obtenu son doctorat à l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM) avec une spécialisation en tectonique. Il est chercheur titulaire « C » et professeur au Centre de Géosciences de l'UNAM. Il a été président de la Société Géologique du Mexique et éditeur du volume commémoratif du centenaire de cette société et membre du comité de rédaction de plusieurs magazines nationaux et étrangers. Il a le niveau III du Système National des Chercheurs. Il est membre de l'Académie Mexicaine des Sciences et fait partie de comités de rédaction de revues scientifiques nationales et étrangères. Il a publié 95 articles sur la théorie de la formation des failles et la déformation cénozoïque du Mexique 17 ouvrages de diffusion.

Susana A. Alaniz Álvarez

Elle a fait des études de géologie et a obtenu son doctorat en Sciences de la Terre à l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM). Elle est chercheuse titulaire « C » et professeure de master en sciences de la Terre au Centre de Géosciences du campus de Juriquilla de l'UNAM. Elle est l'auteure de 76 articles scientifiques sur la déformation de la croûte supérieure et a publié plusieurs livres de divulgation. Elle est membre de l'Académie Mexicaine des Sciences, elle appartient au Système National des Chercheurs, niveau III et est membre numéraire de l'Académie d'Ingénierie. En 2004, elle a reçu le prix Juana Ramírez de Asbaje de l'UNAM.

María Cecilia Nieto Samaniego

Elle est diplômée en arts plastiques de l'Université Juárez de l'État de Durango (UJED). Elle a participé à environ 30 expositions collectives de peinture et de sculpture en céramique. Elle a suivi des cours de peinture et de dessin avec les artistes Roberto Parodi et Enrique Estrada. Elle travaille actuellement dans son atelier privé et enseigne de temps en temps la peinture aux enfants.

A PROPOS DES TRADUCTEURS

Thierry Calmus

Il a obtenu son Doctorat en Géologie Structurale à l'Université Paris VI en 1983. Il est chercheur titulaire « C » à l'Institut de Géologie de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM), membre de l'Académie des Sciences Mexicaine ainsi que du Système National des Chercheurs (SNI). Il a reçu le prix du Professeur de l'Année en 2017 attribué par l'Union Géophysique Mexicaine. Il a publié 60 articles scientifiques, dont un grand nombre sur la géologie et la tectonique du nord-ouest du Mexique. Il a été co-éditeur en chef de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas de 2012 à 2016 ainsi que chef de la Station Régionale du Nord-Ouest de l'Institut de Géologie de 2002 à 2011 et depuis 2018.

Sandra Fuentes Vilchis

Elle a obtenu sa licence en Lettres Françaises en 1986 et sa maîtrise en Littérature Comparée en 1993 à l'Université Nationale Autonome du Mexique, ainsi que son Diplôme en Traduction à l'Ambassade de France en 1989. Elle est professeure titulaire à l'École Nationale Préparatoire et a été Responsable du Département de Français dans cette Institution. Elle participe à la Commission d'évaluation des professeurs de l'ENP. Elle a participé à plusieurs programmes PAPIME et INFOCAB de l'UNAM.

Ce livret a été fabriqué grâce a des fonds de la
Coordination de la Recherche Scientifique de la UNAM
et du projet UNAM-DGAPA

PAPIME Pe106919





La série « Des expériences simples pour comprendre une planète compliquée » est basée sur la liste des plus belles expériences de l'histoire, publiée par le magazine *Physics World* en septembre 2002. Elles ont été choisies pour leur simplicité, leur élégance et pour le changement qu'elles ont provoqué dans la pensée scientifique de leur époque. Chaque numéro de cette série est consacré à l'une de ces expériences. Notre objectif est de te faire comprendre, par l'expérimentation, des phénomènes qui se produisent à la fois dans notre vie quotidienne et sur notre planète.

Ce numéro est consacré à l'expérience qui a permis à Rutherford de découvrir le noyau de l'atome.

Livres de cette série :

1. Pression atmosphérique et chute des corps
2. Lumière et couleurs
3. Eureka ! Les continents et les océans flottent
4. Le temps suspendu à un fil
5. La Terre et ses vagues
6. La mesure de la Terre
- 7. L'âge de la terre**

La série complète peut être téléchargée sur le site :

<https://tellus.geociencias.unam.mx/index.php/lenguas-ciencia/>

<https://sites.google.com/site/recursos4miradas/8>