

LA CHIMIE DU COLA

DÉCOUVRIR
ET APPRENDRE
EN 21
EXPÉRIENCES



LE MONDE FABULEUX DE LA
SCIENCE
EN CUISINE

DR. JAMIE GALLAGHER



SCIENCE CHIMIE DU COCA

Prêt à vous amuser avec votre nourriture ?

Découvrez tout ce qu'il faut savoir sur le plastique et son recyclage, apprenez à lire le tableau périodique des éléments, faites des expériences avec des fusées au soda et bien plus encore !

Devenez un scientifique de la cuisine en étudiant la glace, en faisant germer des cristaux de sucre et en posant des questions sur les acides présents dans les aliments et les boissons de tous les jours !

Ce petit livre utilise la science appliquée pour une approche amusante et interactive de l'apprentissage pour toute la famille.

ISBN : 978-2-7598-2592-9



9 782759 825929

LA CHIMIE DU COLA

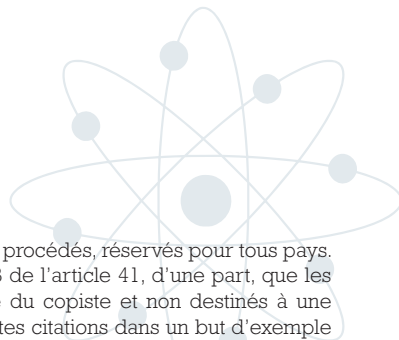


Translation from the English language edition of: *The Chemistry of Cola*
© UniPress Books Ltd 2020

Traduction et mise en page de l'édition française : Benjamin Peylet

ISBN (papier) : 978-2-7598-2592-9

ISBN (ebook) : 978-2-7598-2593-6



Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

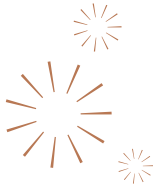
© EDP Sciences, 2021

AVERTISSEMENT DE SÉCURITÉ

Les expériences décrites dans ce livre doivent être réalisées sous la supervision d'un adulte et avec toutes les précautions nécessaires, en particulier pour ce qu'il s'agit des allergies et intolérances alimentaires. Les instructions de chacune des expériences ne doivent pas se substituer au bon sens bien informé des participants. L'auteur et l'éditeur déclinent par avance toute responsabilité quant aux incidents qui pourraient survenir lors de la réalisation de ces expériences.



LA CHIMIE DU COLA



LE MONDE FABULEUX DE LA
SCIENCE EN CUISINE

DR JAMIE GALLAGHER



edp sciences

SOMMAIRE

6 INTRODUCTION

CHAPITRE 1 : ÉTATS DE LA MATIÈRE

- 10 DÉCOUVRIR : Chimie du cola
- 12 DÉCOUVRIR : Solide, Liquide, Gaz
- 14 DÉCOUVRIR : Quand un liquide n'en est pas un
- 16 EXPÉRIMENTER : Fluide non newtonien
- 18 DÉCOUVRIR : Surprise glacée
- 20 APPRENDRE : Chimie de cuisine
- 21 APPRENDRE : Substances et états
- 22 EXPÉRIMENTER : Glace dilatée
- 24 EXPÉRIMENTER : Glace surfondue
- 26 EXPÉRIMENTER : Nuage en bocal
- 28 EXPÉRIMENTER : Glace et huile
- 30 DÉCOUVRIR : Tourbillon d'eau chaude
- 32 EXPÉRIMENTER : Sous pression
- 34 EXPÉRIMENTER : Plongeur cartésien
- 36 APPRENDRE : Tester les températures
- 37 APPRENDRE : Monter le chauffage

CHAPITRE 2 : SOLUTION

- 40 DÉCOUVRIR : Êtes-vous concentré ?
- 42 DÉCOUVRIR : Moles massives
- 44 DÉCOUVRIR : Acides
- 46 DÉCOUVRIR : Solution de base

- 48 DÉCOUVRIR : Réactions acido-basiques
- 50 EXPÉRIMENTER : Détective acide
- 52 DÉCOUVRIR : Super savon
- 54 APPRENDRE : Chasse aux moles
- 55 APPRENDRE : Question brûlante
- 56 EXPÉRIMENTER : Dents terrifiantes
- 58 DÉCOUVRIR : Maths et chimie
- 60 APPRENDRE : Bon équilibre
- 61 APPRENDRE : Au labo
- 62 EXPÉRIMENTER : Dépêchons !

CHAPITRE 3 : COMPOSANTS CHIMIQUES

- 66 DÉCOUVRIR : Diviser l'indivisible
- 68 DÉCOUVRIR : Tableau périodique
- 70 EXPÉRIMENTER : Fer comestible
- 72 APPRENDRE : Chasse aux éléments
- 74 DÉCOUVRIR : Connexions chimiques
- 76 APPRENDRE : Succès périodique
- 77 APPRENDRE : Échange électronique
- 78 DÉCOUVRIR : Magnifiques molécules
- 80 DÉCOUVRIR : Surfaces rapides
- 82 APPRENDRE : Dessins chimiques
- 84 APPRENDRE : Surfaces suspectes
- 86 EXPÉRIMENTER : Fontaine pétillante
- 88 EXPÉRIMENTER : Découvrir la diffusion

CHAPITRE 4 : CHIMIE EN CUISINE

- 92 **DÉCOUVRIR** : Science sucrée
- 94 **EXPÉRIMENTER** : Une ou deux cuillères ?
- 96 **DÉCOUVRIR** : Du maïs au cola
- 98 **DÉCOUVRIR** : Énergie indestructible
- 100 **DÉCOUVRIR** : Boisson énergisante
- 102 **EXPÉRIMENTER** : Arc-en-ciel de densité
- 104 **EXPÉRIMENTER** : Sucre coulant
- 106 **DÉCOUVRIR** : Plus sucré que le sucre
- 108 **DÉCOUVRIR** : Huiles essentielles
- 110 **DÉCOUVRIR** : Réveil à la caféine
- 112 **DÉCOUVRIR** : Sucre cristal
- 114 **EXPÉRIMENTER** : Culture de cristal
- 116 **DÉCOUVRIR** : Secrets du cola
- 118 **EXPÉRIMENTER** : Couleur de bonbons

CHAPITRE 5 : GROS PLAN SUR LE COLA

- 122 **EXPÉRIMENTER** : Cola sans couleur
- 124 **EXPÉRIMENTER** : Nettoyage au cola
- 126 **DÉCOUVRIR** : Fuite de gaz
- 128 **DÉCOUVRIR** : Un océan de cola
- 130 **APPRENDRE** : Préserver les apparences

CHAPITRE 6 : COLA À EMPORTER

- 134 **DÉCOUVRIR** : Plastique Fantastique ?
- 136 **DÉCOUVRIR** : Une brève histoire des polymères
- 138 **DÉCOUVRIR** : Pollution plastique
- 140 **EXPÉRIMENTER** : Réduire la pollution
- 142 **DÉCOUVRIR** : Canette
- 144 **DÉCOUVRIR** : Recyclage
- 146 **APPRENDRE** : Problèmes polymères
- 147 **APPRENDRE** : Recyclage et réutilisation
- 148 **DÉCOUVRIR** : Embouteiller
- 150 **LES RÉPONSES**
- 156 **INDEX**
- 160 **CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES**



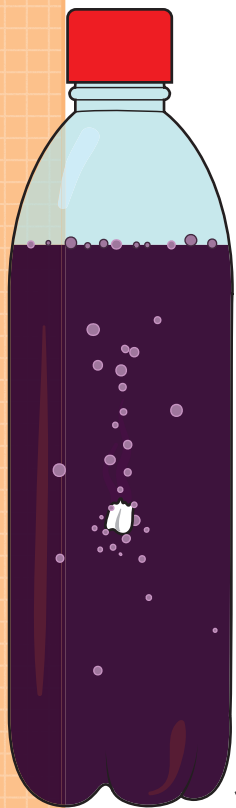
INTRODUCTION

La chimie est tout autour de nous. Ce sont les médicaments que nous avalons, l'air que nous respirons et le cola que nous buvons. La chimie est cette branche de la science qui s'intéresse à la matière, depuis les atomes (les briques élémentaires) jusqu'aux molécules, grands et complexes assemblages de milliers d'atomes liés. Les chimistes cherchent à savoir de quoi les choses sont faites, comment elles se forment, pourquoi elles se comportent comme elles le font.

La chimie est parfois désignée comme la science centrale car elle relie bien des autres domaines scientifiques et parfois s'y superpose. La physique nous donne le mouvement des planètes, la chimie leur constitution et leur habitabilité. La biologie décrit le phénomène de la sélection naturelle, la chimie nous fait comprendre les liaisons de l'ADN.

Grâce à ce livre, vous verrez le monde qui nous entoure d'un jour nouveau. Vous découvrirez, par ses exemples simples, des aspects essentiels de la chimie. Votre cuisine deviendra votre laboratoire lors des expériences qui jalonnent les différents chapitres. Toutes sont décrites pas à pas et font appel à des ingrédients faciles à trouver.

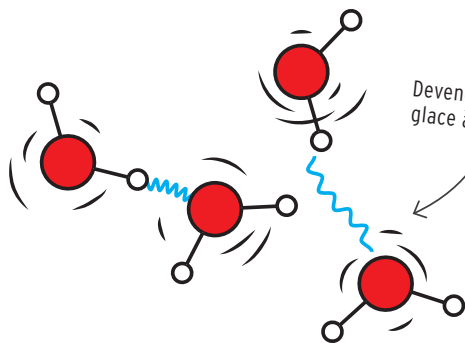
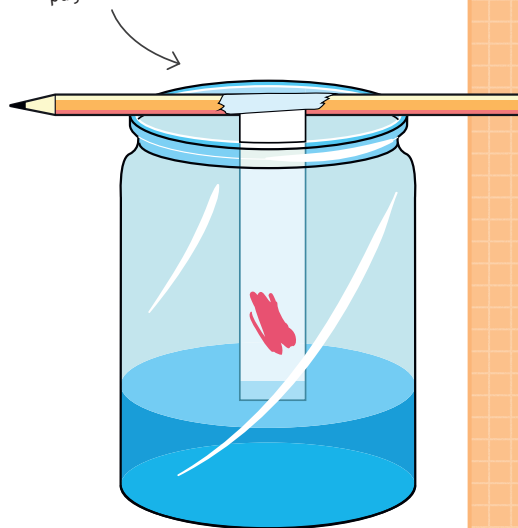
Pourquoi les boissons sucrées sont-elles mauvaises pour vos dents ? Voir page 56 !



Glace et feu, eau et huile, fruits et arômes – en lisant ces pages, vous explorerez un grand nombre de sujets, de ce que nous mangeons à ce que nous jetons. Vous découvrirez ce que sont les acides et comment les tester chez vous. Vous rétrécirez pour parcourir le monde des atomes et des molécules. Vous cultiverez des cristaux, ferez fondre du plastique, créerez des nuages et écraserez des bouteilles. Tout ça pour la gloire de la chimie.

Le savoir scientifique de ce livre vous aidera à comprendre la chimie, que ce soit celle des laboratoires ou des réactions à grande échelle dans l'environnement. Et vous trouverez en chemin bien des opportunités de tester vos nouvelles connaissances chimiques avec des quiz et des questions.

Lancez-vous dans la chromatographie aux pages 118-119 !



Devenez expert en glace à la page 18.

UNE CANETTE de cola contient six éléments chimiques différents et plus de 10 000 000 000 000 000 000 000 d'atomes et molécules. Vous en saurez plus sur les éléments en lisant les pages 68-69.



CHAPITRE 1

ÉTATS DE

LA MATIÈRE

DÉCOUVRIR...

APPRENDRE...

EXPÉRIMENTER...

DÉCOUVRIR : CHIMIE DU COLA

La chimie du cola n'aboutit pas qu'à son goût. Le cola se reconnaît aussi tout de suite à sa couleur caractéristique, et ça n'a rien d'un hasard. Experts culinaires et chimistes travaillent depuis longtemps avec des spécialistes en marketing pour élaborer des produits aussi beaux qu'ils sont bons. Cette section s'intéresse à cette couleur bien connue.

Imaginons que vous décidiez de fabriquer votre propre cola à l'aide des ingrédients listés sur la bouteille. Vous mélangez de l'eau gazeuse, du sucre, de l'acide phosphorique et de la caféine. Eh bien, vous obtiendrez un liquide clair, incolore et pétillant. Les arômes artificiels ne modifieront pas beaucoup cette apparence : ce n'est qu'après l'ajout du E150d que cela ressemblera à du cola. Mais pourquoi le fabricant se fatigue-t-il à ajouter de la couleur ? Pour le savoir, il faut s'intéresser à l'histoire du cola.

CRÉATION DE LA COULEUR

Depuis sa création en 1886, les fabricants se sont efforcés de préserver le goût et l'apparence caractéristiques du cola, malgré les changements de recette. La recette originale est entrée dans la légende : on raconte qu'elle n'était connue que de quatre personnes avant la mort de son créateur, le D^r Pemberton, en 1888. Elle a été reconstituée au fil des années et on sait à présent que ce mélange de saveurs vient de diverses essences (agrumes, cannelle,

muscade et autres), et que l'amère noix de cola était employée pour ajouter de la caféine. Pour masquer son amertume, Pemberton avait ajouté du sucre, en partie dilué, en partie transformé en caramel. C'est ce dernier qui a donné la couleur bien connue.



Bien qu'il n'y ait plus de caramel dans le cola, les fabricants ont conservé l'apparence qu'il donnait à la boisson en ajoutant des colorants. En particulier du E150d, un agent colorant soluble qui va du jaune au brun foncé. On en trouve dans de nombreux aliments et boissons dans les mêmes tons, du café à la nourriture pour chat. L'ajout de couleur contribue bien peu à l'aspect gustatif du cola, mais cela permet de lui donner l'apparence que le consommateur attend.

ALLEZ VOIR pages 122-123 pour découvrir ce qui arrive quand on mélange du lait au cola !

Noix de cola
séchées

Les chimistes savent modifier la couleur des aliments et même leur donner un aspect doré ou argenté à l'aide des additifs E, de 100 à 199. On s'inquiète souvent de leur ajout, mais trouver ces codes numériques sur une étiquette n'a rien d'alarmant. Ils sont là avant tout par facilité d'usage et obligation légale et désignent des composés chimiques ; là où « colorant alimentaire brun » est un peu vague, E150d est spécifique. Et ces codes ne servent pas qu'aux colorants : E300 désigne par exemple la vitamine C.

TROMPER L'ŒIL

Ajouter de la couleur aux boissons pour les rendre plus appétissantes n'est pas la seule astuce des chimistes. Lors de votre prochaine visite au supermarché, observez de près les bouteilles d'eau. De quelles couleurs sont-elles ? On pourrait penser qu'elles sont toutes transparentes, comme les bouteilles de cola, mais certaines des plus chères sont en réalité légèrement bleutées. On a ajouté un pigment bleu au plastique car les clients ont tendance à penser que les bouteilles un peu bleues sont plus propres et plus fraîches que les transparentes.



DÉCOUVRIR : SOLIDE, LIQUIDE, GAZ

Chacun construit sa compréhension du monde différemment, mais les chimistes partent souvent des états de la matière : solides, liquides et gaz. Dans le cas d'une bouteille de cola, nous avons une bouteille solide qui contient un liquide, et un liquide qui contient un gaz.

Pour faire du cola, on dissout un gaz, le dioxyde de carbone (CO_2), dans du liquide qu'on maintient ensuite sous pression pour empêcher le gaz de s'échapper, jusqu'à l'ouverture de la bouteille accompagnée de son sifflement distinctif. Quand la bouteille s'ouvre, le CO_2 s'échappe en formant des bulles qui montent dans le liquide et éclatent dans l'air. C'est aussi pour ça que le cola fait roter : la faible pression dans votre estomac permet au CO_2 de s'échapper du liquide.

Comprendre les états de la matière et le comportement des substances au niveau moléculaire aide beaucoup chimistes et physiciens à donner du sens au monde qui les entoure.

SOLIDES

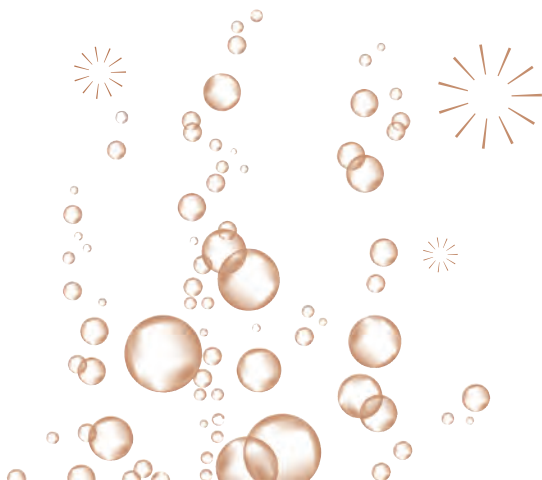
Dans les solides, les particules (voir pages 66–67 et 78–79) touchent leurs voisines, si bien qu'elles sont piégées, d'où le volume et la forme fixes des solides. Cependant, les particules, même piégées, peuvent vibrer un peu.

LIQUIDES

Dans un liquide, les particules ont plus de liberté de mouvement ; elles se croisent et circulent au hasard. On peut voir le résultat de ce mouvement des particules microscopiques : les liquides adoptent la forme de ce qui les contient et peuvent être versés.

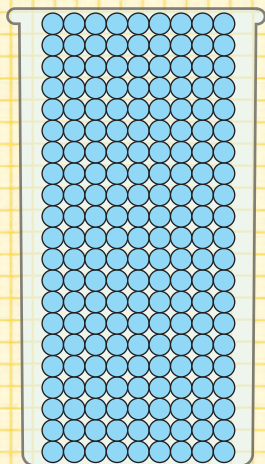
GAZ

Dans un gaz, les particules sont loin les unes des autres. Elles ne restent pas accrochées à leurs voisines comme dans les solides ni ne coulent les unes sur les autres comme dans les liquides. Elles circulent et se cognent au hasard, entre elles ou contre une paroi. Les gaz ont un volume élevé et une densité faible comparés aux liquides et aux solides de même température, ils sont donc très légers. Voilà pourquoi les bulles de gaz remontent du fond du verre.



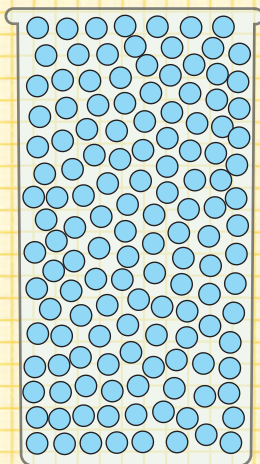
LES TROIS ÉTATS

Les particules ont
des positions fixées
mais peuvent vibrer.



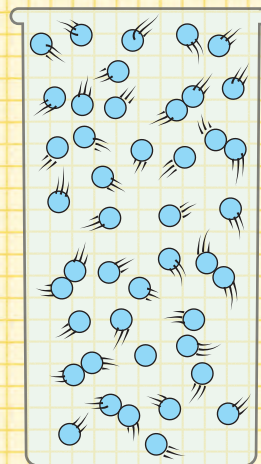
SOLIDE

Les particules
peuvent se déplacer.



LIQUIDE

Les particules se déplacent
librement au hasard



GAZ

CHANGEMENT DE PHASE

Une substance peut passer du solide au liquide et du liquide au gaz quand on la chauffe. Cela ne veut pas dire que les gaz sont toujours plus chauds que les liquides, car différentes substances changent de phase à différentes températures. À 20 °C, le dioxyde de carbone est un gaz, mais l'eau (H_2O) est un liquide. La taille, la forme et la charge électrique des particules d'une substance sont ce qui détermine son état à une température donnée.

SUBLIMES MATÉRIAUX

Certaines substances peuvent se transformer directement du solide au gaz, un phénomène qu'on appelle la sublimation. L'eau peut se sublimer ; vous avez peut-être remarqué que les glaçons rétrécissent lentement (très lentement) dans votre congélateur. C'est parce que certaines particules d'eau se sont échappées sous forme gazeuse.



DÉCOUVRIR : QUAND UN LIQUIDE N'EN EST PAS UN

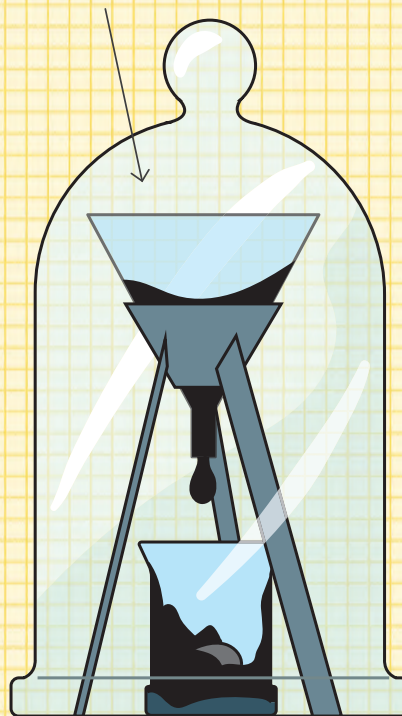
La section précédente a évoqué les solides, les liquides et les gaz, mais ce n'est que le début de l'histoire ! Certaines substances se comportent très bizarrement. Il n'est parfois pas suffisant de les regarder ou de les toucher pour les classer parmi les solides, les liquides ou les gaz.

Les bouteilles en plastique ressemblent à des solides, mais le matériau qui les forme est plus complexe. Les plastiques sont composés de particules très grandes, de longues chaînes qui coulent les unes sur les autres comme dans un liquide, mais qui s'emmêlent en raison même de leur longueur, tel le fil de vos écouteurs roulé en boule dans votre poche. Dans une bouteille, elles sont si tournicotées qu'elles en adoptent une forme solide, pourtant certaines sont encore capables de bouger et de couler.

Un autre exemple de liquide qui se déguise en solide est l'asphalte, celui qu'on emploie pour nos routes. En 1927, le professeur Thomas Parnell a versé de l'asphalte dans un entonnoir puis il a attendu. L'asphalte « solide » a coulé petit à petit, chaque goutte prenant un temps immense. Cette expérience dure depuis plus de 90 ans et seules neuf gouttes de ce liquide très épais sont tombées !

LE TEST DE L'ASPHALTE

Au fond de l'entonnoir qui contient de l'asphalte, une goutte se forme lentement.

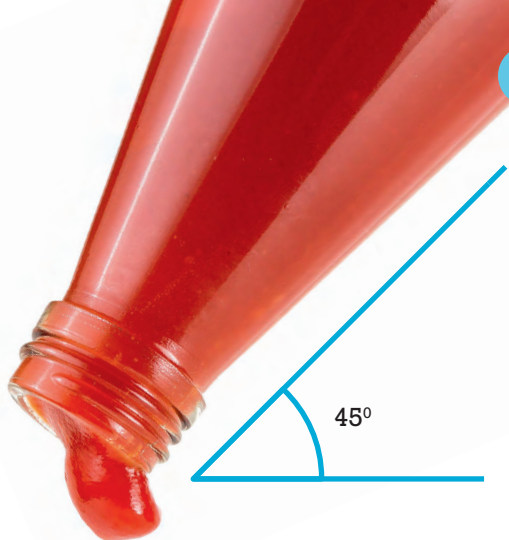


FLUIDES NON NEWTONIENS

Certains liquides changent de comportement selon le traitement qu'on leur fait subir. Ce sont les fluides non newtoniens. Leur caractère solide ou liquide dépend de la force qu'on leur applique. Certains liquides réagissent comme des solides si vous les agitez trop, tandis que d'autres couleront plus facilement.

Le ketchup est un fluide non newtonien ; on le rend plus liquide en lui appliquant une force. Vous vous en êtes peut-être aperçu en tentant de verser du ketchup sur vos frites et en obtenant rien, avant de l'agiter un grand coup et d'en mettre partout. Quand il est dans la bouteille, le ketchup est plutôt épais, mais si vous le secouez, il devient plus fluide et se met à couler.

Des ingénieurs de l'université de Melbourne ont étudié la meilleure façon de verser le ketchup. Selon eux, il faut tenir la bouteille à 45° , la tapoter doucement, puis de plus en plus fort jusqu'à ce que ça coule. Bien des fabricants contournent ce problème du ketchup salissant en proposant des bouteilles en plastique souple, qu'on peut presser.



Secouez avec
précaution !

DÉCOUVREZ-en plus sur le
plastique aux pages 134-135.

FABRIQUEZ votre propre
fluide non newtonien ! Tournez
la page pour en savoir plus.



EXPÉRIMENTER : FLUIDE NON NEWTONIEN

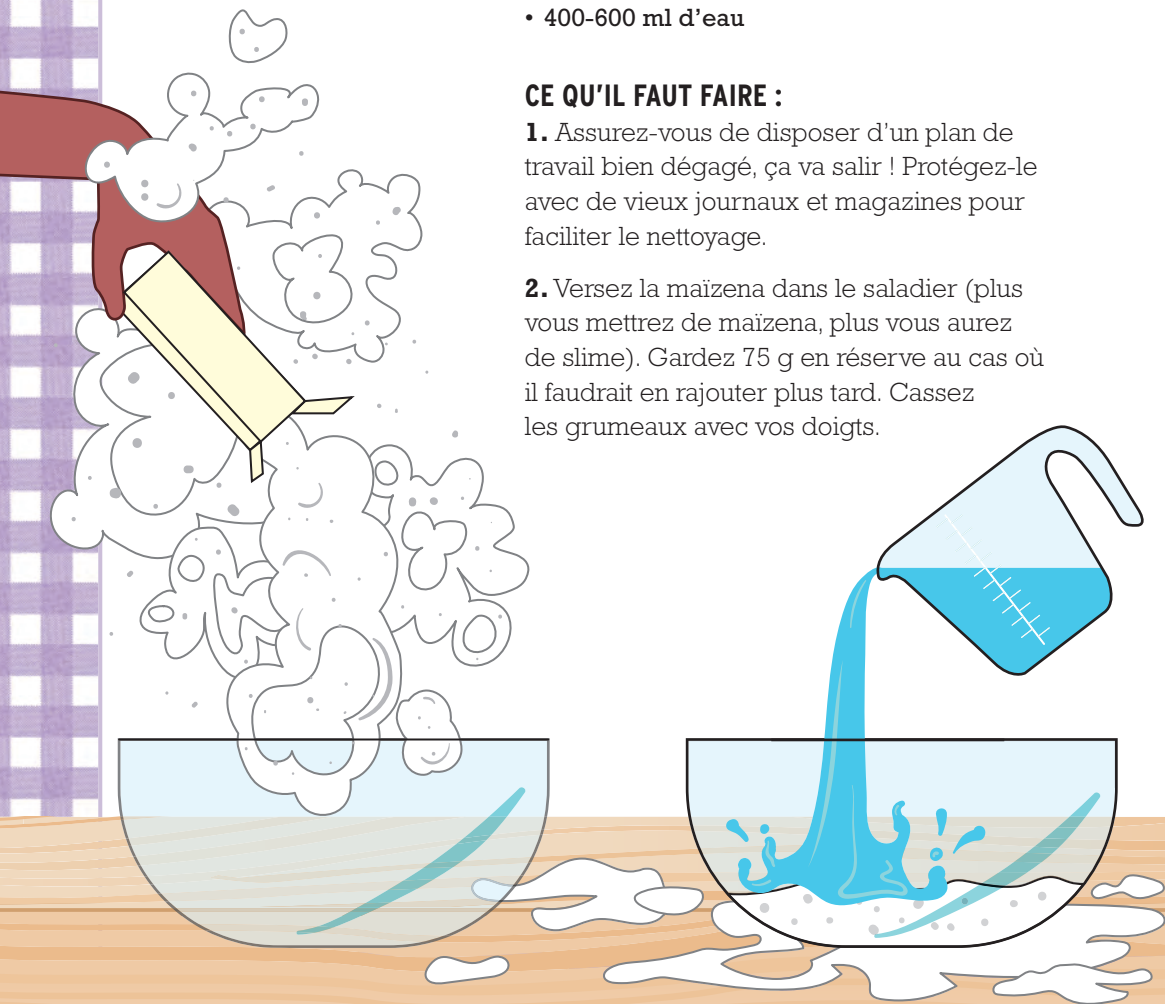
Les pages précédentes vous ont présenté des liquides qui adoptent un comportement différent selon les situations. Il est temps de tester cela en vrai. Dans cette expérience salissante, vous fabriquerez un fluide non newtonien (du slime !) et observerez son comportement.

IL VOUS FAUDRA :

- Un grand saladier
- 300-500 g de maïzena
- 400-600 ml d'eau

CE QU'IL FAUT FAIRE :

1. Assurez-vous de disposer d'un plan de travail bien dégagé, ça va salir ! Protégez-le avec de vieux journaux et magazines pour faciliter le nettoyage.
2. Versez la maïzena dans le saladier (plus vous mettez de maïzena, plus vous aurez de slime). Gardez 75 g en réserve au cas où il faudrait en rajouter plus tard. Cassez les grumeaux avec vos doigts.



3. Ajoutez de l'eau petit à petit. Il vous faudra environ 75 ml d'eau pour 100 g de maïzena. Ajoutez ainsi 200 ml d'eau et mélangez à la main. Continuez à ajouter de l'eau doucement et à mélanger jusqu'à obtenir une consistance épaisse mais fluide.

4. Si la pâte est trop liquide, ajoutez un peu de la maïzena en réserve.

IL EST TEMPS DE TESTER

Frappez la pâte à coups de poing, des coups secs et courts, en retirant vite votre main. Il vous semblera que vous frappez un solide, et vous ne ferez aucune éclaboussure ! Ensuite, placez votre main sur la pâte et plongez-la lentement dedans.

Quand une force est appliquée rapidement sur le mélange de maïzena, il se comporte comme un solide, mais

sans cette force il demeure liquide. Vous pouvez même en prendre un peu au creux de votre main et le rouler rapidement en boule. Dès que vous arrêterez de rouler, la boule redeviendra liquide.

QUE SE PASSE-T-IL ?

La pâte produite est une suspension épaisse de grosses particules d'amidon de maïs. Quand le liquide bouge lentement, les particules glissent les unes sur les autres, mais quand on le frappe brutalement, elles n'ont pas le temps de glisser.

Imaginez que vous vouliez traverser une foule dense pour vous rendre aux toilettes : si vous courez le plus vite possible, vous vous cognerez à tout le monde et n'irez pas bien loin. Si vous prenez votre temps, les gens s'écarteront et vous pourrez passer.

SOUVENEZ-VOUS : une fois l'expérience finie, jetez la pâte au compost ou à la poubelle. La maïzena bouche les canalisations.



DÉCOUVRIR : SURPRISE GLACÉE

Par une chaude journée d'été, une boisson glacée peut être très rafraîchissante. On jette quelques glaçons, le petit sifflement habituel se produit tandis que les bulles se forment autour d'eux, et puis vient le craquement satisfaisant de la glace. Pour un chimiste, c'est aussi fascinant que rafraîchissant. La glace recèle bien des surprises.

La première chose fascinante avec la glace, c'est qu'elle flotte ! Cela ne paraît pas très intéressant à première vue, mais c'est l'un des rares matériaux dont la forme solide est moins dense que la forme liquide. Les pages 12-13 vous ont montré que les solides sont des substances très tassées, tandis que les particules d'un liquide se déplacent plus librement. Dans presque tous les cas, il y a plus de place entre les particules dans la forme liquide, ce qui signifie qu'elle est moins dense et que la forme solide y coulera. La glace est une exception.

Pour comprendre pourquoi, il faut se pencher sur les atomes de cette matière et l'arrangement des molécules qui la composent. La molécule d'eau (H_2O) est constituée d'un atome d'oxygène central entre deux atomes d'hydrogène. Les atomes



R

rayon gamma 30
 rayon UV et polymère 139
 réactif 58
 réaction de Maillard 20, 31
 recyclage
 canette 143
 petit quiz 147
 plastique 144-5
 polystyrène 140-1, 145

S

saccharine 107
 savon 52-3
 Schlatter, James 107
 sel, information nutritionnelle
 73
 sirop de glucose 93, 97
 site de nucléation 86
 solide 12-13
 soluté 40, 41
 solution 46-7
 alcaline
 concentration de 40-1
 saturée 105
 super saturée 114
 solvant 40
 spatule 61
 spectre électromagnétique
 30
 sublimation 13
 substances et états 21
 sucre
 caché 94-5
 cristal 113, 114-15
 et densité 104-5
 et les dents 56-7
 types de 92-3
 surface 80-1
 et vitesse de réaction 63
 et volume 84-5
 surfusion 24-5

T

tableau périodique 68-9, 76
 température
 et diffusion 89
 et vitesse de réaction 63
 quiz chauffage 37
 test 36

U

UV et polymère 139

V

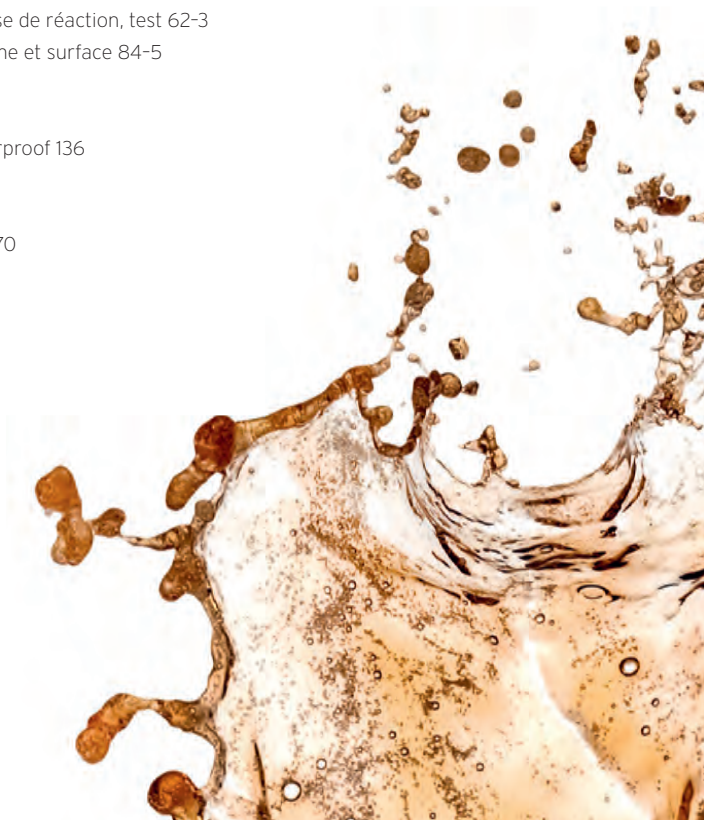
vanilline 109
 verre
 de quartz 148
 en « cristal » 149
 sodocalcique 149
 vinaigre 44, 45, 125
 vitamine 73
 vitesse de réaction, test 62-3
 volume et surface 84-5

W

waterproof 136

Z

zinc 70



CRÉDITS DES PHOTOGRAPHIES

SHUTTERSTOCK

4, 70, 71 : © SATJA2506
 5, 40, 97 : © Nito
 5, 52, 53, 130 : © Love the wind
 7, 33, 36 : © Triff
 10-11 : © Natali Zakharova
 11, 159 : © Handmade Pictures
 12, 13, 20, 62, 63, 122, 126, 127, 154, 155 : © Alena Ohneva
 15 : © Melica
 16, 17 : © Nataly Studio
 18 : © Passakorn Umpornmaha
 21, 25 : © Alexey Kljatov
 22, 23, 32, 33 : © Mariyana M
 26 : © E.O.
 28, 29 : © dkidpix
 30 haut : © bsd
 32 bas : © Kozini
 43, 54 : © M. Unal Ozmen
 44, 45, 159 : © Mariyana M
 45 : © Mrcmos
 46 : © Hong Vo
 50 : © Kaiskynet Studio
 55 haut : © Irin-K
 55 : © Protasov AN
 56 haut : © Duda Vasilii
 66 : © Cigdem
 68-69 : © Humdan
 70 milieu : © Ang Intaravichian
 72 : © Djomas
 73 : © Oleg Gawriloff
 77 : © Macro Wildlife
 78, 79 : Studio Vin
 80 haut : © Apisit Burawannint
 80 bas : © Stockphoto-graf
 81 haut : © Baibaz

81 bas : © Kubais
 83 : © AJT
 86 haut, 87 : © Schtiel
 88-89 : © Narudon Atsawalarpsakun
 92 : © Jiri Hera
 93 bas : © Jiri Hera
 96 : © Stock Image
 97 gauche : © Taiga
 98-99 : © Jacek Chabraszewski
 100 haut : © Yeti Studio
 100 : © Evgeny Karandaev
 104 haut, 114 : © Ydumortier
 105 gauche : © Danny Smythe
 105 droite : © Anna Garmashevskia
 106 : © Michael Puche
 107 : © Goodluz
 108 droite : © Hekla
 110 : © Vandame
 111 haut : © Matveev Aleksandr
 111 bas : © Ollyy
 112 bas gauche : © Albert Russ
 118, 119 : © Gyvafoto
 122 : © Adam Gilchrist
 124, 125 : © Kirill Aleksandrovich
 127 bas : © Speedkingz
 129 : © Lightspring
 134 : © Duxx
 135 haut : © Africa Studio
 136 : © Kitch Bain
 137 : © Pavelis
 139 haut : © Ombra Estudi
 139 bas : © Fedorova Nataliia

140, 141, 146, 147 : © Winai Tepsuttinun
 142 : © RHJ Photo and illustration
 143 : © Fabrika Simf
 144 haut, 145, 146 : © Dan Kosmayer
 144 bas : © Totem Art
 145 haut : © Alba Alioth
 148-149 (haut) : Spixel
 148-149 (bas) : © Normana Karia
 152, 153 : © Alena Ohneva
 157 haut : © Natali Zakharova

Les illustrations sont de Rob Brandt, sauf mention contraire. Tous les efforts nécessaires ont été entrepris pour mentionner avec précision les détenteurs des droits de toutes les images de ce livre. Nous présentons nos excuses pour toute omission ou erreur involontaire. Nous intégrerons s'il y a lieu les corrections ou les mentions nécessaires dans les futures éditions de cet ouvrage.

