

Roland Lehoucq

D'où viennent les pouvoirs de Superman?

Physique
ordinaire d'un
super-héros



Roland Lehoucq

D'où viennent les pouvoirs de Superman ?

Physique ordinaire d'un super-héros

Illustrations de
Thomas Haessig



17, avenue du Hoggar
Parc d'Activité de Courtabœuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

« Bulles de sciences »
Collection dirigée par Bénédicte Leclercq

Ouvrages déjà parus :

La Terre chauffe-t-elle ? Gérard Lambert

Asymétrie, la beauté du diable, Frank Close

Que sait-on des maladies à prions ? Émile Desfeux

Des séquoias dans les étoiles, Philippe Chomaz

Les neutrinos vont-ils au paradis ? François Vannucci

Les requins sont-ils des fossiles vivants ? Gilles Cuny

Combien pèse un nuage ? Jean-Pierre Chalon

Pourquoi la Nature s'engourdit ? Jean Généromont et Catherine Perrin

Combien dure une seconde ? Tony Jones

Ces bolides qui menacent notre monde, Christian Köberl

À paraître :

La vie est-elle universelle ? André Brack

En couverture : Illustration originale de Thomas Haessig.

ISBN : 2-86883-671-2

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 2003

Préface

Éducation physique

« Franck entreprit d'analyser froidement la situation. Pour une raison mystérieuse et totalement incompréhensible, il venait d'acquiescer, à un moment crucial de son existence, un certain nombre de pouvoirs qui lui avaient permis d'échapper magistralement à une mort certaine.

Sa mystérieuse transformation l'avait investi d'un contrôle véritablement surhumain de tous ses muscles, ses tendons et ses fibres. Ses réactions nerveuses avaient été multipliées par dix, ses réflexes étaient devenus foudroyants. Franck réalisa que désormais, aucun homme ne pourrait l'abattre... Alors il éclata de rire, déployant ses poumons. Une jubilation totale s'empara de son être. Il était un surhomme ! Un surhomme doué de pouvoirs physiques prodigieux ! »

S'agit-il d'un épisode inédit des aventures de Superman ? Non, seulement de l'extrait d'un roman que l'auteur de cette préface a écrit en sa prime jeunesse (et qui n'a heureusement pas été publié). Cette autoréférence n'est là que pour rappeler la fascination quasi fantasmagorique que le mythe du surhomme exerce sur tout individu normalement constitué. Et nul besoin d'avoir lu Superman pour

D'OÙ VIENNENT LES POUVOIRS DE SUPERMAN ?

rêver de posséder une force décuplée. J'en veux pour preuve ce roman de mes vingt ans, puisqu'à l'époque j'ignorais tout de Clark Kent. Nullement amateur de bandes dessinées américaines, je ne connaissais Superman que de nom. Je n'avais lu aucune de ses aventures, vu aucune de ses adaptations cinématographiques. Hélas! dois-je confesser *a posteriori*. Car, ainsi que le démontre avec brio Roland Lehoucq, on peut apprendre la physique dans les *comics*, et bien d'autres choses encore. Moi qui m'étais prodigieusement ennuyé durant les cours de physique et de sciences naturelles prodigués au lycée, au point que je n'envisageais de carrière estudiantine que dans le domaine des mathématiques pures ou, à l'extrême, dans la littérature romanesque, j'aurais donc pu m'intéresser aux super-héros, et plonger bien plus tôt que je ne l'ai fait dans le bain merveilleux de la physique... Ah, si j'avais su qu'en disséquant le physique de Superman, on découvrait la physique de Supermath !

Sérieusement, la question est là : comment intéresser les jeunes à la science ? Il est notoire que la plupart des étudiants se désintéressent de la physique, faute de lui trouver des applications dans leur vie quotidienne. Or, si le professeur utilise des exemples tirés des *comics*, les étudiants ne s'inquièteront plus de savoir s'ils vont devoir utiliser cela dans leur vie quotidienne. Si la toile de Spiderman est aussi solide qu'une vraie toile d'araignée, peut-elle supporter son poids tandis qu'il se balance entre les édifices ? Quelle force faut-il à Superman pour sauter d'un bâtiment, stopper un train lancé à toute allure ou s'envoler d'un seul bond ? En résolvant les problèmes de physique causés par les super-héros lorsqu'ils soulèvent un camion ou parcourent la Terre à une super-vitesse sans boire ni manger, les étudiants doivent bien évidemment appliquer les principes de la physique, depuis les lois de Newton sur le mouvement jusqu'à la biomécanique, en passant par la thermodynamique et la physique quantique. À la fin, ils n'en concluront pas nécessairement que Superman peut vraiment exister. À la limite, ils s'en fichent, car ils se seront divertis tout en s'instruisant. C'est là

PRÉFACE

le grand secret de la physique : en théorie, tout est possible, tout est ludique... tant que cela ne contrevient pas aux règles du jeu, à savoir les lois du monde !

Dans cet ouvrage profondément original, Roland Lehoucq démontre magistralement comment il est possible de dispenser un enseignement de physique à la fois pittoresque et rigoureux. En un étonnant kaléidoscope, il nous fait visiter tour à tour les domaines des sciences les plus variés : astrophysique, optique, électromagnétisme, physique des particules, acoustique, biologie, biophysique, éthologie, physiologie. Superman est né sur la lointaine planète Krypton ? Un bon prétexte pour délivrer un fascinant cours d'astrophysique planétaire et gravitationnelle. Superman vole ? Quelle aubaine pour faire comprendre ce que nous avons tous pu observer, à savoir qu'un moineau décolle quasiment sur place en se lançant en l'air puis en battant des ailes, tandis que le flamand doit courir longuement pour s'envoler ! L'auteur nous explique en effet qu'un oiseau décolle lorsque la force de portance de ses ailes devient supérieure à son poids. Or, la portance est proportionnelle au carré de la vitesse, et la vitesse de course est proportionnelle à la racine carrée de la taille. Conclusion : les grands oiseaux doivent courir plus vite que les petits pour décoller, mais aussi voler plus vite pour se maintenir en l'air. CQFD !

Tout cela est écrit avec beaucoup de verve et d'humour. J'y ai notamment appris qu'une solution capillitractée est une solution tirée par les cheveux. Dieu sait si l'on en trouve, des solutions capillitractées, non seulement dans les devoirs de physique rendus par nos étudiants, mais aussi dans les très sérieux articles scientifiques de nos chers collègues chercheurs ! Même cette préface est capillitractée, dans la mesure où je n'ai toujours pas eu le temps de lire les BD de Superman !

Le physicien Paul Dirac a dit un jour, à propos de son très célèbre collègue Albert Einstein : « Les idées scientifiques dominaient toutes ses pensées. Il vous offrait le thé et, pendant que vous étiez

D'OÙ VIENNENT LES POUVOIRS DE SUPERMAN ?

en train de remuer, il cherchait une explication scientifique au déplacement des feuilles de thé dans la tasse. »

Hé bien je puis l'attester ! Que Roland Lehoucq lise un album de Tintin ou qu'il visionne un épisode de *Star Trek*, il cherche toujours à expliquer « comment ça marche », parce que ce qui l'intéresse au fond, ce sont les lois physiques qui régissent le monde. Bref : nous tenons là le super-prof d'éducation physique dont rêvent toutes les Lois Lane de la planète Terre...

Jean-Pierre Luminet
Astrophysicien et écrivain
Directeur de recherches au C.N.R.S.

Avant-propos

Ad augusta per angusta.

*Mot de passe des conjurés au quatrième acte d'Hernani, de Victor Hugo
(« Vers des résultats grandioses par des voies étroites... »)*

Né en juin 1938 sous la plume du dessinateur Joseph Shuster et du scénariste Jérôme Siegel, Superman, alias Clark Kent, débuta sa longue série d'exploits dans le premier numéro de la revue *Action Comics*. La couverture représentait une scène incroyable pour l'époque : un héros en costume soulevant une voiture à mains nues et la projetant au loin. Le succès fut foudroyant. Le tirage d'*Action Comics* atteignit rapidement 800 000 exemplaires et Superman devint le héros le plus populaire des États-Unis. Depuis, d'innombrables bandes dessinées contant les aventures de l'Homme d'Acier, ainsi qu'un nombre respectable de livres, ont été publiées et plusieurs films ont été tournés. De nos jours, Superman pourrait entrer au panthéon des héros de la mythologie où il rivaliserait avec Hercule.

Naissance d'un mythe

Originaire de la planète Krypton dont il a volontairement été exilé par ses parents pour échapper à un cataclysme, le futur

Superman fut élevé à Smallville, dans le Kansas, par un couple de fermiers, Jonathan et Martha Kent, qui le recueillirent et le prénommèrent Clark. Très jeune, ses extraordinaires capacités physiques stupéfièrent son entourage. C'est ainsi que le jeune Clark fut retrouvé indemne après avoir été piétiné par un taureau. Ce « super-enfant » n'est pas sans rappeler l'enfant Hercule qui étouffa à mains nues deux serpents envoyés pour le dévorer. Dès lors, les pouvoirs de l'Homme d'Acier sont légendaires, le monde entier s'étonnant de sa force colossale, de son invulnérabilité ou de sa stupéfiante célérité. Au demeurant, les pouvoirs de Superman ne sont que des amplifications extraordinaires des capacités humaines. Quand un homme ordinaire lance une pierre, Superman, lui, lance une voiture. Quand un homme ordinaire aperçoit un oiseau dans le ciel, Superman est capable de compter les plumes de ses ailes. Les capacités surhumaines de Superman évoluèrent au fil de ses aventures et les premiers pouvoirs dont il fut doté semblent aujourd'hui bien modestes : il pouvait franchir plus de 200 mètres d'un seul bond, sauter par-dessus un immeuble de 20 étages, courir plus vite qu'un train, soulever des masses considérables. Son invulnérabilité était telle que seul un obus pouvait lui causer des blessures. Au fil des publications, les chroniqueurs dotèrent l'Homme d'Acier de pouvoirs quasiment divins, à la hauteur de défis toujours plus exigeants. Dans ses dernières aventures, Superman était capable de supporter la fournaise qui règne au centre du Soleil (plus de 15 millions de degrés !), de se déplacer plus vite que la lumière (dont la vitesse est de 300 000 kilomètres par seconde) ou d'éteindre une étoile grâce à la seule puissance de son souffle ! La particularité des super-héros réside bien dans le préfixe « super »...

D'emblée, se posa le problème de l'origine des pouvoirs de notre héros. Le premier numéro d'*Action Comics* explique ainsi l'origine de sa force incroyable : « Superman est originaire d'une

planète dont les habitants ont une structure physique en avance de plusieurs millions d'années sur la nôtre. À leur maturité, les êtres de sa race sont ainsi dotés d'une force titanesque. » Cet argument sera en vogue pendant la première décennie de la carrière de Superman. Les textes soutiennent alors que ses pouvoirs sont communs à tous les habitants de sa planète natale. Les hommes et les femmes de Krypton sont décrits comme appartenant à une « super-race » dotée de pouvoirs physiques et mentaux en avance de plusieurs dizaines de milliers de siècles sur nos pauvres capacités humaines. Ce genre d'explication peut prêter à sourire. Remarquons que dans notre monde, il existe des créatures dotées d'une force qui, ramenée à notre échelle, est tout simplement incroyable : l'humble fourmi peut porter des masses 100 fois supérieures à la sienne, la sauterelle fait des bonds qui, à l'échelle humaine, correspondent à un saut de plusieurs dizaines de mètres.

Conscient de la faiblesse de cette première explication pour un héros dont la notoriété allait grandissant, ses pères imaginèrent des arguments plus raffinés. Vers la fin des années 1940, les textes décrivirent le peuple de Krypton comme des humains plutôt ordinaires et cherchèrent l'origine des pouvoirs de Superman dans la physique. Ainsi, la différence de gravité et de pression atmosphérique entre Krypton et la Terre serait à la source de ses pouvoirs. On trouve, dans le numéro 58 de la revue *Superman* (paru en 1949), l'explication suivante : « Chacun sait que Superman est un être d'une autre planète, évoluant dans la faible gravité terrestre. Mais peu de gens savent comment la gravité affecte la force ! Si vous étiez sur un monde plus petit que le nôtre, vous pourriez sauter par-dessus de hauts bâtiments, soulever des poids énormes, reproduisant ainsi des exploits de l'Homme d'Acier ! » Les textes suivants soulignèrent encore l'importance de la différence de gravité entre la Terre et Krypton, en insistant toutefois de plus en plus sur la particularité de

l'atmosphère de Krypton pour rendre compte des impressionnants pouvoirs qu'un kryptonien acquiert en quittant sa planète natale. Le père de Superman, Jor-El, affirme même qu'« il est évident que Krypton est une planète si particulière, que lorsqu'un Kryptonien est hors de son atmosphère et de sa formidable gravité il devient un surhomme ! » (*Superman*, numéro 113, mai 1957).

Selon une théorie révisée, avancée pour la première fois en 1960, l'Homme d'Acier tire ses super-pouvoirs non seulement de la faible gravité terrestre mais aussi d'un mystérieux rayonnement « ultrasolaire » pénétrant la Terre nuit et jour. Cette théorie fut raffinée dans le numéro 146 de la même revue, dans lequel les pouvoirs physiques de Superman, super-force, super-souffle, super-vitesse et le vol, furent attribués à la faible gravité de la Terre, tandis que ses pouvoirs mentaux, ses super-sens (ouïe, vision) et sa vision X et infrarouge furent associés au rayonnement « ultrasolaire » du soleil jaune de la Terre.

Portrait-robot

Pour toute personne sérieuse, ce genre d'histoire est au mieux un divertissement sans intérêt, au pire un ramassis de stupidités. Pourtant, prises sous un bon angle, les aventures de Superman peuvent être source d'un questionnement scientifique fort intéressant. Après tout, si les histoires de super-héros nourrissent l'imaginaire de leurs lecteurs, pourquoi ne seraient-elles pas aussi un moyen d'exercer l'imagination scientifique ? Imaginons donc un instant que cela soit vrai et jouons le jeu, comme dans un rêve. Superman est un être réel, ses pouvoirs sont réels, et interrogeons-nous. L'origine de ses pouvoirs est-elle raisonnable ? Les exploits de Superman peuvent-ils trouver une explication plausible dans le cadre de la physique ? Pourquoi Superman n'est-il pas reconnu sans son costume de super-héros ? Comment préserve-t-il son anonymat alors que ses capacités

physiques sont si extraordinaires ? Je vous propose de mener l'enquête, d'essayer de faire la part du vrai et du faux, de reconstituer la vie de notre héros, depuis ses origines, jusqu'à sa vie sur notre planète, pour essayer de le confondre en construisant son vrai visage.

Pour limiter notre travail d'investigation, je n'aborderai que les principaux pouvoirs de Superman. C'est ainsi que j'oublierai ses pouvoirs de ventriloque, d'imitateur vocal, de super-cri, de super-souffle ainsi que tous ses pouvoirs mentaux et intellectuels. En gros, les pouvoirs qui nous intéresseront sont ceux du Superman de l'âge d'or, dont les aventures couvrent la période allant de 1938 à 1945 : force surhumaine, capacité de voler, vision télescopique et microscopique, vision en rayons X et vision de la chaleur, ouïe ultrasensible, invulnérabilité. Ces pouvoirs de débutant sont encore « acceptables » et peuvent se prêter à une analyse physique raisonnable. Les excès des aventures suivantes, par exemple celles dans lesquelles Superman dépasse la vitesse de la lumière, sont bien au-delà des capacités explicatives des théories physiques actuelles qui supposent précisément que la vitesse de la lumière est infranchissable : ce dont on ne peut parler, il faut le taire. Le but de cette enquête n'est pas tant de faire la part du vrai et du faux dans le mythe de Superman. Nul ne serait surpris d'apprendre que l'essentiel est faux ou impossible du point de vue de la physique habituelle. Il s'agit plutôt de faire une lecture physicienne de ses aventures et de voir comment, partant de la description de ses pouvoirs (éventuellement peu plausibles voire faux du point de vue de la physique), il est quand même possible de reconstruire une image raisonnable de notre héros.

Voici donc le contrat, funeste aux yeux des physiciens les plus stricts, que je passe avec vous, lecteurs. Admettant qu'il existe réellement un être possédant les pouvoirs de Superman, est-il possible de le décrire physiquement, de détailler sa façon de

D'OÙ VIENNENT LES POUVOIRS DE SUPERMAN ?

marcher, de connaître ses habitudes alimentaires, d'imaginer l'aspect de sa planète d'origine ? À défaut de tout expliquer, peut-être apprendrons-nous quelque chose sur le chemin. En route pour l'aventure !

Carte d'identité de Superman : voici, à titre indicatif, la description « canonique » de Superman.

Identité terrestre	Clark Joseph Kent
Identité kryptonienne	Kal-El
Âge	25 ans (lors de ses premières apparitions)
Date d'anniversaire	29 février
Taille	1,90 mètre
Masse	110 kilogrammes
Yeux	bleus
Cheveux	noirs
Profession	journaliste d'investigation au <i>Daily-Planet</i>
Adresse	1938 Sullivan Place, Metropolis, États-Unis

1

La planète Krypton

*« J'avais ainsi appris une seconde chose très importante :
c'est que sa planète d'origine était à peine plus grande qu'une maison ! »*
Le petit Prince, Antoine de Saint Exupéry (1943)

Pour commencer, intéressons-nous aux origines de Superman, et plus particulièrement à sa planète de naissance. Il s'agit d'un problème d'importance car, d'après les textes, c'est dans la différence de gravité entre Krypton et la Terre que réside la source des pouvoirs de l'Homme d'Acier. Quelles sont les caractéristiques de Krypton ? Sa taille ? Sa masse ? En chiffrant les performances physiques de notre héros, les auteurs nous livrent des indices précieux. On l'a vu, les capacités du Superman des origines étaient plutôt « modestes » : ses bonds atteignaient plus de 200 mètres (un huitième de mile précisent les textes) et ses sauts lui permettaient de passer par-dessus des immeubles de 20 étages (soit environ 60 mètres de hauteur). Un soupçon de physique va nous permettre de résoudre notre énigme. Voyons comment.

Reculer pour mieux sauter

La hauteur ou la longueur d'un saut dépend de deux facteurs. Le premier, celui qui tombe sous le sens, est l'impulsion initiale. Il s'agit là de la force avec laquelle l'athlète, prenant appui sur le sol,

se projette pour sauter : on comprend aisément que plus cette force est grande, plus le saut sera haut ou long. C'est ainsi que les athlètes subissent de longues préparations physiques visant à muscler leurs cuisses pour améliorer leurs performances. Le second paramètre est nettement moins évident, car son omniprésence nous le fait facilement oublier. Il s'agit de la force de gravité qui nous retient à la surface de la Terre. Il faut bien reconnaître que l'on n'a pas tous les jours l'occasion de changer de planète. Pourtant, souvenons-nous des bonds que faisaient les cosmonautes sur la Lune, alors qu'ils portaient un scaphandre si énorme (plus de 100 kilogrammes !) que leur mobilité terrestre s'en trouvait très réduite. C'est que la gravité de la Lune, c'est-à-dire la force avec laquelle la Lune attire les masses, est 6 fois moins importante que celle de la Terre. Du coup, tout paraît clair ! Un cosmonaute, dont la masse avec scaphandre est de l'ordre de 180 kilogrammes, est retenu à la surface de la Lune avec une force équivalente à celle subie, sur la Terre, par une masse de seulement 30 kilogrammes. Il lui est aisé de faire des bonds de cabri ! La performance, hauteur ou longueur du saut, est en pratique inversement proportionnelle à l'intensité de la pesanteur. Toutes choses égales par ailleurs, un saut sera donc d'autant plus long que l'intensité de la pesanteur est faible. Autrement dit, un sauteur franchissant 2 mètres en hauteur sur la Terre, franchira, sans scaphandre bien sûr, 12 mètres de hauteur sur la Lune ! Je vous laisse imaginer les performances d'un sauteur à la perche...

On aura compris où je veux en venir. Supposons que, sur Krypton, Superman ait eu des performances proches de celles d'un athlète humain sur la Terre. Ses capacités physiques lui permettaient donc de franchir environ 7 mètres en longueur et 2 mètres en hauteur. Ses performances terrestres seront nettement plus impressionnantes, d'un facteur égal au rapport entre la gravité kryptonienne et la gravité terrestre. Comme une distance de 200 mètres est environ égale à 30 fois 7 mètres et qu'une hauteur de 60 mètres est égale à 30 fois 2 mètres, la conclusion s'impose : l'intensité de la

pesanteur à la surface de Krypton est à peu près 30 fois supérieure à celle de la Terre. Cette valeur est extrêmement élevée, puisqu'elle excède celle qui règne à la surface du Soleil, égale à 28 fois celle de la Terre. Un être humain transporté sur Krypton aurait l'impression de peser comme un rhinocéros sur la Terre. Ces chiffres sont à comparer à l'accélération qui, au décollage d'une fusée, écrase les cosmonautes dans leur siège avec une force équivalente à 10 fois la gravité terrestre. Un organisme humain entraîné ne peut supporter une telle contrainte que pendant quelques secondes... Cette première information sur la planète Krypton va nous servir de point d'attaque pour en savoir un peu plus.

Une planète peu ordinaire

Au XVII^e siècle, Isaac Newton a découvert que deux corps massifs s'attirent avec une force proportionnelle au produit de leur masse et inversement proportionnelle au carré de leur distance. Cette loi universelle de la gravitation régit le mouvement des planètes et explique pourquoi la Terre nous retient à sa surface. En effet, notre sensation de pesanteur est la conséquence de la force gravitationnelle que la Terre exerce sur notre corps. Si la Terre était plus massive, cette sensation serait plus forte. Plus précisément, la gravité à la surface de la Terre est fixée par le rapport entre sa masse et le carré de son rayon, en vertu de la fameuse loi de Newton. Sur la Lune, dont la masse est 81 fois inférieure à celle de la Terre et le rayon 3,67 fois plus petit, la gravité est bien $81/3,67^2 = 6$ fois moins grande. En réalité, masse et rayon de la planète sont liés. Si l'on suppose que la matière de la planète est répartie uniformément dans tout son volume (ce qui n'est pas rigoureusement vrai pour la Terre), sa masse, égale au produit de sa densité par son volume, est proportionnelle au cube de son rayon. Du coup, la gravité de surface varie proportionnellement au rayon de la planète. En supposant que Krypton ait une densité comparable à celle de la Terre, alors son rayon doit être environ 30 fois supérieur à celui de la Terre, à peu

près égal à 3 fois celui de Jupiter. Krypton se voit donc dotée d'une masse considérable, égale à un douzième de la masse du Soleil.

Les caractéristiques de Krypton sont extrêmes au regard de celles de la Terre. Une telle planète est-elle envisageable ? Finalement, qu'est-ce qu'une planète ? Chacun s'accordera pour dire qu'une planète est une sphère de matière en orbite autour d'une étoile. Si cette définition est juste, elle n'en est pas pour autant satisfaisante. Après tout, les étoiles sont tout autant sphériques que les planètes. Quant aux astéroïdes, en forme de patates, ils sont eux aussi en orbite autour du Soleil.

Partons du principe que la spécificité d'une planète, le trait qui lui réserve une place particulière dans notre imaginaire, est la possibilité qu'elle puisse abriter des êtres vivants. Cette caractéristique exclut d'emblée les planètes mortes, comme Mars ou Vénus (bien qu'en ce qui concerne Mars, la possibilité d'une vie très ancienne est encore l'objet de recherches actives), et les planètes géantes, comme Jupiter et Saturne. Elle va pourtant nous permettre d'échafauder un raisonnement astucieux dû au physicien Jean-Marc Lévy-Leblond. Ainsi, répondre à la question « Qu'est-ce qu'une planète ? », revient à se demander « Qu'est-ce que la vie ? », une planète devenant alors, par définition, un système autonome capable d'abriter la vie. Cette seconde question apparaît bien plus vaste que la première. Nous ne tenterons pas d'y répondre ici mais, plus modestement, intéressons-nous aux conditions propices au développement de la vie telle que nous la connaissons sur la Terre.

Pour survivre, un être vivant doit pouvoir échanger de la matière avec son environnement, à la fois sous forme solide et liquide (pour son alimentation, sa croissance ou sa reproduction par exemple), mais aussi sous forme gazeuse (notamment pour sa respiration). On notera que le point de vue adopté ici est plutôt conservateur, puisqu'il ne prend pas en compte la possible existence de formes de vie exotiques rencontrées dans certains ouvrages de science-fiction, tels que les cristaux conscients (voir *Cristal qui*

songe de Théodore Sturgeon) ou les nuages interstellaires pensants (voir *Le Nuage noir* de l'astrophysicien Fred Hoyle). Pourtant, comme nous allons le voir, cette simple exigence exerce sur notre hypothétique planète une contrainte sévère qui ira jusqu'à déterminer l'ordre de grandeur de sa taille et de sa masse.

Matière à cohésion

En premier lieu, réfléchissons à ce qui fait la cohésion de la matière d'une planète, à la raison physique qui l'empêche de s'éparpiller bêtement dans l'espace. Une planète exerce un champ de gravitation qui attire chaque particule de matière vers toutes les autres, avec une force d'autant plus grande que la distance entre elles est faible. La matière a d'autres voies d'interaction. Tout d'abord, la force électrostatique, qui se manifeste entre particules chargées et qui lie les électrons au sein des atomes. Restent encore deux interactions fondamentales : les forces nucléaires forte et faible. Comme leur nom l'indique, elles règnent sur le noyau de l'atome mais ont une portée réduite – de l'ordre de la taille du noyau, soit environ un millionième de milliardième de mètre (10^{-15} mètre) – qui les disqualifie pour jouer un rôle à l'échelle d'une planète. Aussi, finalement, il est possible d'affirmer que la structure d'une planète est le résultat du jeu entre la force de gravitation et la force électrostatique. Le point important du raisonnement réside dans une simple remarque : si on part du principe qu'il est essentiel que les formes de vie puissent échanger de la matière avec la planète qui les abrite, pour s'alimenter par exemple, alors la cohésion de la matière planétaire est principalement assurée par la force électrostatique. Courage ! Une aspirine et hop ! Entrons dans les détails...

Atomes crochus

Pour extraire un morceau d'un bloc de matière, il faut dépenser une énergie supérieure à celle qui le liait à ce bloc. Dans le cas d'une seule liaison électrostatique, cette énergie est de l'ordre de

D'OÙ VIENNENT LES POUVOIRS DE SUPERMAN ?

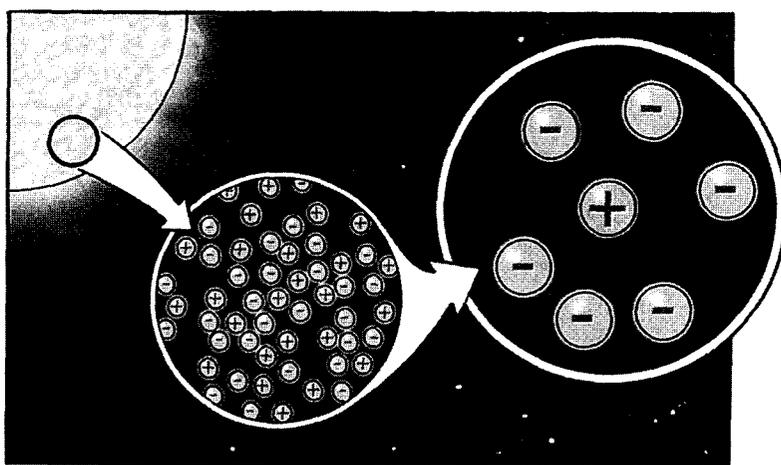
quelques électronvolts, unité d'énergie commode à l'échelle des atomes et des molécules. Par définition, c'est l'énergie acquise par un électron accéléré sous une différence de potentiel d'un volt. Dans une télévision, les électrons du faisceau qui frappe l'écran ont une énergie de quelques milliers d'électronvolts. En comparaison, les particules qui circulent dans les accélérateurs modernes, comme celui du CERN, à Genève, atteignent des énergies supérieures à mille milliards d'électronvolts.

Dans le cas de la force électrostatique, le coût énergétique de la rupture d'un morceau de matière ne dépend que des liaisons atomiques ou moléculaires rompues le long de la surface de rupture, et non pas du volume du bloc auquel on l'arrache. Autrement dit, on dépense à peu près la même énergie pour creuser le flanc d'une colline que pour creuser le flanc d'une montagne, pour boire dans une flaque que pour boire dans un lac.

La force électrostatique possède cette propriété particulière, dite de saturation, selon laquelle l'énergie de liaison électrostatique d'un système varie en proportion du nombre des particules qui le composent. L'énergie de liaison par particule est ainsi indépendante de la taille du système, toujours de l'ordre de quelques électronvolts par liaison, ce qui explique qu'il soit aussi facile d'extraire une particule du système que d'en extraire mille ou un million. Comme la matière est globalement neutre (le nombre de charges positives est égal au nombre de charges négatives), cette propriété résulte essentiellement du jeu des subtiles compensations entre les attractions électrostatiques (qui se produisent entre charges de signe opposé, comme un proton et un électron) et les répulsions électrostatiques (qui se produisent entre charges de même signe, comme deux électrons). Les particules ayant des charges de signe opposé se répartissent donc à peu près uniformément, toute accumulation de charges d'un signe qui ne serait pas compensée par d'autres charges du signe opposé conduisant à une répulsion locale. Ainsi, une particule de charge positive attire à elle des particules de charge négative.

LA PLANÈTE KRYPTON

tive qui en retour la masque ; il en va de même pour une particule de charge négative. Cette attirance entre charges de signe opposé donne naissance à un effet d'écran mutuel qui transforme la force électrostatique, dont la portée théorique est infinie, en une force saturée dont la portée pratique est beaucoup plus courte, de l'ordre de quelques diamètres atomiques (voir la figure 1). Tout se passe donc comme si chaque atome n'interagissait qu'avec ses plus proches voisins. L'énergie de liaison totale d'un système se réduit à la somme des énergies de liaison de chaque atome avec ses voisins immédiats puisqu'il est aveugle à ceux qui sont plus lointains : il est heureusement facile du point de vue énergétique de couper du bois pour faire une cabane, de cueillir des fruits pour les manger et de puiser de l'eau pour la boire...



1. La matière qui constitue le Soleil (dénommée plasma) apparaît neutre à grande échelle : il y a autant de particules de charge positive que de particules de charge négative. À l'échelle des particules, une charge positive attire à elle des charges négatives qui, en retour, la masquent. Ce phénomène d'écrantage est à l'origine de la saturation de la force électrostatique dont la portée effective est finie.

Table des matières

Préface	3
Avant-propos	9
1. La planète Krypton	13
2. Anatomie d'un héros	27
3. Quel homme !	43
4. L'homme volant	59
5. Le héros vu de l'intérieur	71
6. Étrange vision	87
7. Voir l'invisible	99
8. Les murs ont des oreilles	111
9. L'Homme d'Acier	123
10. Superman redessiné	133
Bibliographie succincte	139
Remerciements	141

D'où viennent les pouvoirs de Superman ?

Roland Lehoucq

Soulever une voiture à bout de bras, arrêter un train en marche, entendre une conversation qui se tient à des centaines de kilomètres, ces exploits sont de simples travaux de routine pour Superman. Vous êtes-vous déjà demandé d'où il tenait ces pouvoirs ? L'histoire officielle nous dit qu'ils lui viennent de Krypton, sa planète d'origine. Soit, mais comment le plus célèbre des super-héros s'y prend-il pour les accomplir sur la Terre ? À l'aide des connaissances actuelles de la physique, de la chimie et de la physiologie, Roland Lehoucq nous montre Superman tel qu'il devrait être constitué pour parvenir à sauver le monde. C'est-à-dire comme nous ne l'avons jamais vu !

Roland Lehoucq est astrophysicien au Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), à Saclay.

Préface de Jean-Pierre Luminet, astrophysicien à l'Observatoire de Meudon.

La collection « Bulles de sciences » s'adresse à un large public et traite de problèmes scientifiques actuels. Les explications fondamentales sont privilégiées, mais sans discours professoral : vous lirez des textes vivants, parfois des romans, souvent des anecdotes...

14,90 €



ISBN: 2-86883-671-2

www.edpsciences.org



EDP
SCIENCES