

LA SCIENCE FAIT SON CINÉMA



ROLAND LEHOUCQ
JEAN-SEBASTIEN STEYER

**LA SCIENCE
FAIT SON CINÉMA**

Dans la collection « Parallaxe »
aux éditions du Béliâl'

- *Comment parler à un alien ?*, de Frédéric Landragin

Si vous voulez être tenu au courant de nos publications,
écrire aux auteurs, illustrateurs, ou recevoir un
bon de commande complet, deux adresses :

Le Béliâl'
50 rue du Clos
77670 Saint Mammès
France

ou

www.belial.fr

venez discuter avec nous sur <http://forums.belial.fr>

© 2018, Roland Lehoucq & Jean-Sébastien Steyer

© 2018, le Béliâl', pour la présente édition

Illustrations et couverture © 2018, Cedric Bucaille | Agence & Pourquoi Pas ?

Collection « Parallaxe » dirigée par Roland Lehoucq

SOMMAIRE

La science fait son cinéma	11
----------------------------------	----

PREMIÈRE PARTIE : DÉFIER LA PHYSIQUE

<i>Ant-Man</i> , petit mais costaud	21
<i>Gravity</i> : ça plane pour moi	35
<i>Interstellar</i> : balade dans un trou noir	51

DEUXIÈME PARTIE : NOUVEAUX HORIZONS

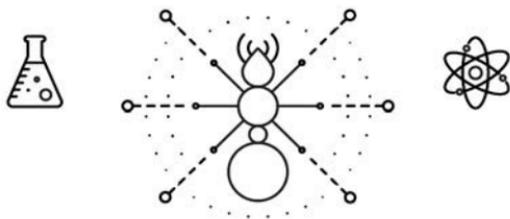
Des roues dans l'espace	77
Peut-on vraiment vivre seul sur Mars ?	91
De la vie sur les planètes de glace ?	105
<i>Prometheus</i> , le massacre d'Alien ?	119

TROISIÈME PARTIE : CURIEUX EXTRATERRESTRES

De l'origine des espèces... extraterrestres !	141
De l'évolution des espèces en SF	155
<i>Premier contact</i> : communication du 3 ^e type	167

QUATRIÈME PARTIE : ATTENTION DANGER !

Les menaces invisibles	189
<i>The Thing</i> : la Chose d'un autre monde	203
<i>Godzilla</i> : trop de la bombe !	217
Scientific Rim	231



**LA SCIENCE
FAIT SON CINÉMA**

EN 1888, GEORGES MÉLIÈS (1861-1938) vend ses parts de l'entreprise familiale (une fabrique de chaussures de luxe) pour acquérir, boulevard des Italiens à Paris, le théâtre de l'illusionniste Robert-Houdin (1805-1871), avec ses magnifiques décors et ses automates. Méliès y présente des spectacles de prestidigitation et ses « soirées fantastiques » — pour reprendre les termes de son prédécesseur — connaissent un véritable succès. Si bien qu'en 1896, il crée sa propre maison de production, la *Star Film*, et construit un an plus tard, dans sa propriété en périphérie de Paris, le premier studio de cinéma. Le mage de Montreuil, au sommet de sa carrière, écrit, réalise, décortique et produit alors lui-même ses films. En 1902, inspiré par Jules Verne (*De la Terre à la Lune*, 1865, et *Autour de la Lune*, 1869) et sans doute par Herbert G. Wells (*The First Men in the Moon*, 1901), Méliès réalise *Le Voyage dans la Lune* qui n'est autre que le premier film de science-fiction de l'histoire du cinéma⁽¹⁾. Il s'agit d'un récit burlesque de treize minutes imaginant la première expédition humaine sur notre satellite naturel où elle rencontre des Sélénites, joués par des acrobates des Folies-Bergères. Ce court-métrage au rythme frénétique met en scène des explorateurs débarquant sur la Lune grâce à un projectile lancé depuis la Terre avec un canon titanesque — idée que le cinéaste reprend de Jules Verne. Dans une étrange grotte abritant des champignons géants, les explorateurs attaquent un Sélénite, chimère d'humain, d'amphibien et d'arthropode. En représailles, les Sélénites capturent les humains et les conduisent devant leur roi. Ceux-ci le tuent froidement et s'enfuient en courant. De retour sur Terre, les explorateurs, accueillis en héros, se rendent compte qu'un extraterrestre est resté accroché à leur fusée : ce « sauvage »

est alors fièrement exhibé et « humanisé » car, sous les applaudissements, on lui apprend à danser...

Au-delà de la fantaisie débridée et de la parodie, ce film est aussi une parabole sur la nature humaine et en dit long sur notre conception de l'altérité, représentée ici par les Sélénites, qui nous renvoie aux vieilles représentations des peuples colonisés. Reste que cette œuvre de Méliès est pleinement inscrite au panthéon du cinéma mondial et son succès triomphal, aussi bien en France qu'aux États-Unis, consacra dès 1902 la préférence des spectateurs pour la fiction sur la forme plus documentaire promue par les frères Lumière. Depuis, le succès des films de science-fiction ne s'est pas démenti.

C'est dans les années 1950 que la science-fiction se constitue en tant que genre cinématographique aux États-Unis et les extraterrestres, descendants des Sélénites de Méliès, s'y multiplient. Ceux qui débarquent sur Terre en soucoupes volantes semblent alors engendrés par la peur de l'invasion communiste, mais qu'il soit anthropomorphe (du *Jour où la Terre s'arrêta*, 1951, à *Mission to Mars*, 2000) ou protéiforme (*Alien*, 1979, *The Thing*, 1982), qu'il soit accueilli avec tendresse (*E.T. l'extraterrestre*, 1982) ou parqué dans des ghettos (*District 9*, 2009), l'alien est toujours une métaphore de l'étranger. Les animaux monstrueux ne manquent pas non plus au cinéma qu'ils soient insectes (*Des monstres attaquent la ville*, 1954), mammifères (*Black Sheep*, 2008) ou reptiles (*Jurassic Park*, 1993, *Pacific Rim*, 2013). Au-delà du plaisir visuel et horrifique que ces créatures suscitent, les causes de leur apparition sont très intéressantes. Depuis le *Frankenstein* de Mary Shelley (1797-1851), maintes fois adapté au cinéma, le monstre s'interroge sur la responsabilité de l'humanité face au progrès scientifique et technique et reflète les préoccupations de son époque. Ainsi, *Godzilla* (1954) est libéré à la faveur d'essais nucléaires, le monstre de *The Host* (2006) est engendré par les rejets toxiques de scientifiques peu scrupuleux, tandis que le chimpanzé de *La Planète*

des singes, les origines (2011) développe une intelligence supérieure à cause d'un virus destiné à soigner la maladie d'Alzheimer, virus d'ailleurs au cœur des films catastrophes *Alerte !* (1995) — évocation du virus Ebola — et *28 jours plus tard* (2002).

La science-fiction met aussi en scène des êtres mécaniques, les robots (le plus célèbre étant sans doute Robby de *La planète interdite*, 1957), dont la confrontation avec leurs créateurs est souvent au cœur du récit, surtout quand ils sont assimilables à un humain. Ils soulèvent alors des questions incontournables : l'humanité est-elle une espèce à part ? Qu'est-ce que la conscience (*I, Robot*, 2004), le libre arbitre (*Mondwest*, 1973, *A.I.*, 2001) ? Existe-t-il une âme (*Blade Runner*, 1982) ? Ces questions sont d'autant plus brûlantes quand le robot, à l'instar de la créature de Frankenstein, n'est plus seulement une machine, mais possède des éléments organiques : les cyborgs sont-ils des machines ou une évolution de l'humanité (*Ghost in the Shell*, 1995) ? Le film de Méliès est aussi la première représentation cinématographique d'un voyage dans l'espace, devenu depuis un incontournable du cinéma de science-fiction. Après le féérique et le burlesque de Méliès, le genre est passé à un réalisme plus affirmé soutenu par des effets spéciaux de plus en plus sophistiqués, de *La Femme sur la Lune* (1929) à *Interstellar* (2014), en passant par *Destination Moon* (1950), 2001, *l'Odysée de l'espace* (1968) et *La Guerre des étoiles* (1977).

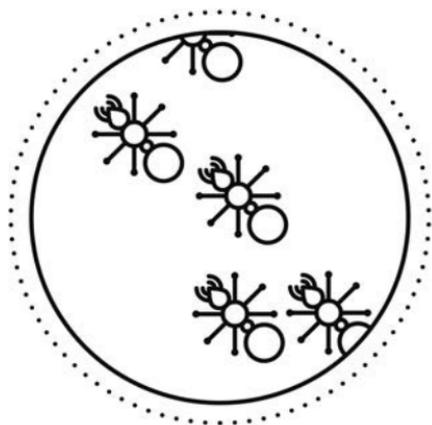
Comme son pendant littéraire, la science-fiction cinématographique se déporte spatialement et temporellement pour commenter le présent : dérive totalitaire (*THX 1138*, 1971), impérialisme (*Avatar*, 2009), excès médiatiques (*La Mort en direct*, 1980, *Truman Show*, 1998), menaces environnementales (*Soleil vert*, 1974, *Silent Running*, 1975), etc. Quel que soit le type de science-fiction — populaire, *hard science*, horrifique, d'anticipation, *space opera* ou *planet opera* —, nous sommes aussi convaincus qu'elle est un excellent prétexte pour parler

des sciences et les pratiquer. Bien avant l'apparition du terme *science fiction* (anglicisme qui devrait se comprendre comme « fiction scientifique » et non comme « science fictive »), l'écrivain Maurice Renard (1875-1939) propose de nommer « merveilleux scientifique » la nouvelle littérature née sous la plume d'auteurs comme Jules Verne, Herbert G. Wells ou J.-H. Rosny aîné. Il définit ce genre où l'on découvre de nouveaux univers, des mondes pluriels et de nouvelles espèces comme « l'aventure d'une science poussée jusqu'à la merveille ou d'une merveille envisagée scientifiquement »⁽²⁾. Même si, comme l'écrivait Jean Morel (1881-1957) dans les années 1920, « *Les romans de Rosny n'ont pas été conçus pour vulgariser la doctrine [entendez ici les données scientifiques], ni la doctrine pour étayer les romans* »⁽³⁾, gardons à l'esprit que toute fiction scientifique repose sur une base réelle — ne serait-ce que parce qu'elle est un produit du cerveau et de la culture humaine. C'est cette base, notamment sa partie factuelle ou scientifique, qui nous intéresse ici. Comment procéderons-nous ? La recette est simple. Prenez votre film de science-fiction préféré qui, comme celui de Méliès, présente sans doute de fabuleuses scènes d'action, se déroule sur des planètes lointaines ou met en scène d'étranges extraterrestres. Considérez ce film comme une sorte de documentaire et ses images comme factuelles. Il devient alors l'énoncé d'un exercice intéressant et soulève de nombreuses questions : cette planète est-elle réaliste ? Pourquoi cet extraterrestre possède-t-il trois paires d'yeux ? Comment fonctionne ce vaisseau spatial ? Saurions-nous faire la même chose que les ingénieurs du futur ? C'est à ce genre de questions que nous tâchons de répondre : après avoir visionné un film de science-fiction, nous le décortiquons de façon ludique et, à la lumière de nos connaissances actuelles, nous tentons de comprendre ce qui nous est montré. Parce qu'il y a le mot *science* dans *science fiction*, nous souhaitons donc donner du goût aux sciences tout en aiguisant la curiosité scientifique.

Notre objectif n'est pas de critiquer ces films, mais de mener une enquête à leur propos, d'en extraire des informations qui ne sont pas données explicitement grâce au raisonnement scientifique. Ici, la démarche compte plus que le résultat : peu importe si nous constatons, après calcul, que la masse d'un ver des sables est incompatible avec les conditions qui règnent à la surface de la planète Dune du film éponyme de David Lynch (1984) — lui-même adapté du roman de Frank Herbert (1920-1986). Ce qui compte est que cette étude oblige à mobiliser ses connaissances, à s'informer, à faire preuve d'esprit critique, à développer sa capacité d'analyse, à goûter au plaisir de la découverte et, surtout, permet de jouer avec les sciences ! Nous ne souhaitons pas non plus détruire la part de rêve inhérente à toute œuvre de fiction (nous aimons le genre !) mais visons plutôt à enrichir notre regard en traitant de son contenu scientifique — aussi infime soit-il, comme dans certains films hollywoodiens où il semble parfois inversement proportionnel au budget. Extraits de la formidable diversité du cinéma de science-fiction, nous espérons que les films et les thèmes choisis — *Défier la physique*, *Nouveaux horizons*, *Curieux extraterrestres* et *Attention danger* — vous donneront envie de nous suivre dans notre exploration scientifique de la « planète science-fiction » transformant ainsi votre regard sur ces œuvres et sur le monde !

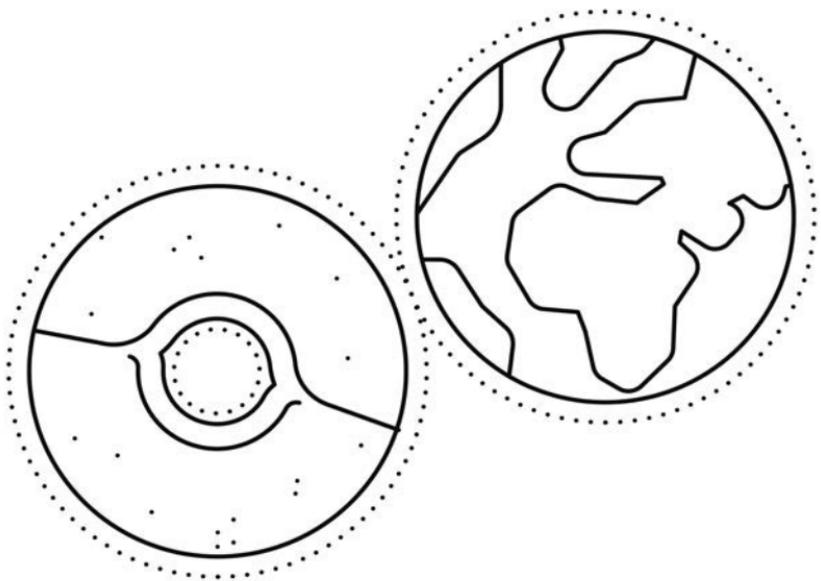
Notes :

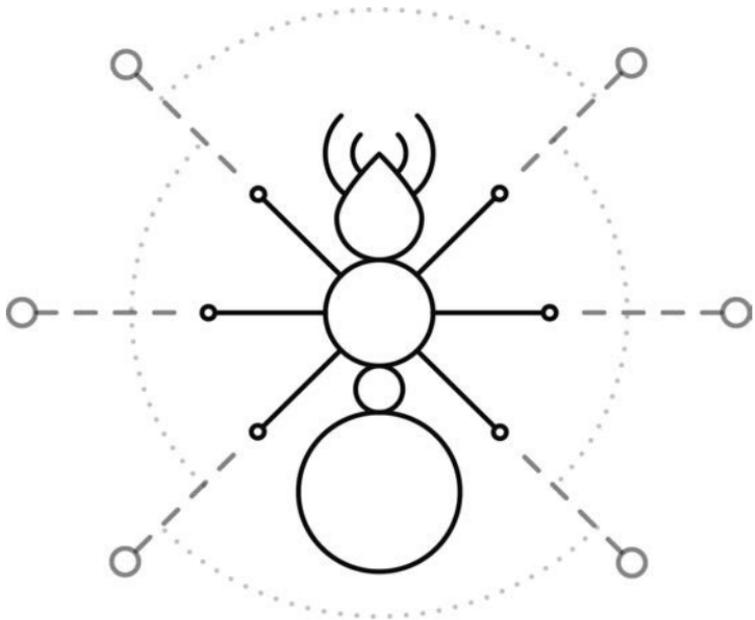
- (1). *Le Voyage dans la Lune* de Méliès (1902) est visible sur Wikipédia : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Le_Voyage_dans_la_Lune>.
- (2). Maurice Renard, *Du merveilleux scientifique et de son action sur l'intelligence du progrès*, *Le Spectateur*, n° 6, octobre 1909.
- (3). Jean Morel, J.-H. Rosny aîné et le merveilleux scientifique, *Mercur de France*, n° 667, avril 1926.



DÉFIER

LA PHYSIQUE





ANT-MAN,
PETIT MAIS COSTAUD

EN 2015, un nouveau super-héros a débarqué sur nos écrans. Son pouvoir ? La capacité de rétrécir jusqu'à la taille d'une fourmi grâce à un costume spécial et à une « formule » mis au point par le biophysicien Henry « Hank » Pym. Avec *Ant-Man*, Marvel Studio s'écarte de ses classiques blockbusters en mettant en scène un ex-taulard, Scott Lang, qui, voulant récupérer le droit de voir sa fille, se retrouve embarqué dans des péripéties échevelées. L'idée de raconter les aventures consécutives à un changement d'échelle n'est pas récente. Tout le monde connaît les *Voyages de Gulliver*, publié par Jonathan Swift (1667-1745) en 1726, où le héros fait naufrage et se retrouve sur l'île de Lilliput, dont les résidents ne mesurent qu'une quinzaine de centimètres de haut. Son deuxième voyage l'emmène sur l'île de Brobdingnag, où la situation est inverse de celle de Lilliput : tous les habitants sont des géants. *L'Homme qui rétrécit* de Richard Matheson (1956) détaille les affres d'un individu dont la taille diminue à la suite d'une exposition à une curieuse brume radioactive. Le cinéma n'est évidemment pas en reste. En 1966, Richard Fleisher réalise *Le Voyage fantastique*, dont Isaac Asimov écrira le roman dérivé avant d'en publier une version plus personnelle en 1987, *Destination cerveau*. Ce film, dont Joe Dante proposera un remake sous le titre *L'Aventure intérieure* (*Innerspace*, 1987), relate les tribulations d'une équipe de chirurgiens enfermée dans un sous-marin microscopique et envoyée dans le sang d'un scientifique afin de mener dans son cerveau une opération impossible à réaliser de l'extérieur. Plus près de nous, le film *Chérie, j'ai rétréci les gosses !* (1989) nous narre les aventures d'un inventeur excentrique dont les enfants font les frais de sa machine à rétrécir les objets. Les super-héros ont, eux aussi, eu droit

de visiter le monde microscopique, et ce, dès 1940, avec le fameux Atom. Dans une version ultérieure, Atom est l'alter ego du scientifique Ray Palmer, qui a inventé un procédé de réduction de la taille utilisant une lentille réalisée à partir d'un morceau de naine blanche découvert sur Terre par hasard — une tentative d'expliquer le processus conduisant à cette miniaturisation assez osée, notamment au regard du fait qu'une naine blanche est le cadavre d'une étoile dont il n'y a guère de chance de trouver un « morceau » échoué sur Terre. Le scénariste a sans doute voulu mettre l'accent sur les propriétés des naines blanches, leur grande densité, notamment, que les astrophysiciens commençaient justement à étudier en détail à cette époque. Ainsi, il est amusant de voir le héros se balader tranquillement avec un bloc d'une trentaine de centimètres, et dont on peut estimer la masse à plusieurs dizaines de milliers de tonnes ! Plus tard, Atom sera rejoint par Ant-Man (qui apparaît pour la première fois en BD en 1962) et Wasp (la Guêpe), la super-héroïne épouse de Pym — que l'on revoit bien sûr dans le film *Ant-Man and the Wasp* (2018). Dans tous les cas, l'exploration du monde microscopique donne lieu à des aventures extraordinaires, et il est assez plaisant de se mettre à la place de personnages aux prises avec un univers surdimensionné. Mais que se passerait-il vraiment si nous devenions tout à coup aussi petits qu'une fourmi ? Serions-nous aussi forts que Pym le prétend ? Pourrions-nous voler sur le dos des insectes ? Des questions auxquelles la physique peut naturellement répondre, et gageons que vous ne devriez pas être déçus du résultat...

Est-il possible de réduire la taille d'un objet ?

Dans le film, le concepteur du costume d'Ant-Man, Hank Pym, explique le principe de son invention en invoquant une diminution de l'espace entre les atomes. Il est vrai qu'à l'échelle microscopique, la matière est très lacunaire. Ainsi, un atome

a une taille de l'ordre de quelques dixièmes de nanomètres (milliardième de mètre), ce qui n'est pas bien gros, mais le noyau de l'atome est 100 000 fois plus petit ! Sur le papier, l'idée de Pym semble bonne : réduire la taille des atomes, dont le volume est essentiellement vide, devrait permettre de les ranger de façon plus compacte et donc de réduire la taille d'un objet. Mais l'argument de Pym s'avère fautif car la taille d'un atome ne peut pas être quelconque : elle résulte d'une physique subtile. Entrons dans les détails.

Les électrons, de charge électrique négative, sont attirés par les protons, de charge positive. En dépit de cette attraction, les électrons ne tombent pas sur le noyau et restent sagement à distance — comme des planètes autour d'un soleil, serions-nous tentés de dire. Mais les lois de l'électromagnétisme nous apprennent qu'une particule chargée et accélérée rayonne de la lumière, dite « synchrotron ». Au même titre qu'un satellite qui perd de l'énergie par friction atmosphérique finit par retomber sur Terre, les électrons devraient donc tomber vers le noyau et la matière s'effondrer sur elle-même. La stabilité de la matière est une sorte de miracle dont la physique classique ne peut rendre compte : ses lois n'interdisent ni aux électrons de tomber inéluctablement sur le noyau atomique, ni à la matière de s'effondrer. Hank Pym semble averti de ce possible effondrement, car il dote son costume d'un « régulateur » et affirme que, si celui-ci est dérégulé, Ant-Man « *entrera dans le monde quantique* ». Monde quantique dont il oublie une règle de base : un électron confiné ne peut pas être immobile, et il est d'autant plus rapide que le volume de confinement est petit.

Cela résulte d'une idée due au physicien français Louis de Broglie, qui suggéra en 1924 que les particules se comportent aussi comme des ondes. Il ne faisait que renverser une situation déjà rencontrée avec la lumière : l'introduction d'une « particule de lumière », le photon, fut rendue nécessaire parce que la lumière — habituellement décrite par une onde

électromagnétique — se comporte parfois comme si elle était constituée de particules. L'idée d'onde de matière semble aussi étrange que celle de particule de lumière, mais l'hypothèse ondulatoire fut confirmée en 1927 grâce à une expérience de diffusion d'un faisceau d'électrons par un cristal. Louis de Broglie ajouta que la longueur d'onde associée à un électron est inversement proportionnelle à sa vitesse. Par ailleurs, lorsqu'une particule est confinée dans une boîte, la longueur d'onde qui lui est associée est nécessairement dépendante de la taille de la boîte. Cette situation est similaire à la vibration d'une corde de guitare : la longueur d'onde de la vibration est au plus égale au double de la longueur de la corde. On en arrive à la conclusion que plus la boîte — et donc, la longueur d'onde — est petite, plus la vitesse de l'électron est grande.

Pourquoi l'électron ne se rapproche-t-il pas plus du noyau ? Parce que cela reviendrait à le confiner dans une boîte atomique de plus en plus petite, et donc à augmenter considérablement sa vitesse. Plus précisément, la vitesse de l'électron étant inversement proportionnelle à la taille de la « boîte atomique », son énergie de mouvement, qui varie comme le carré de la vitesse, sera inversement proportionnelle au carré de cette taille. Dans le même temps, l'énergie de liaison électrostatique entre le proton et l'électron, négative, varie en proportion inverse de la taille de l'atome. Bilan : lorsque l'on rétrécit l'atome, l'énergie de mouvement croît plus vite que l'énergie d'interaction entre noyau et électron. La plus grande de ces deux énergies dicte le résultat : si le mouvement est trop rapide, l'atome éclate, si l'énergie de liaison est trop forte, l'atome s'effondre. La taille d'un atome est fixée par le meilleur compromis, celui pour lequel la valeur de l'énergie totale, somme de l'énergie de mouvement et de l'énergie de liaison électrique, est minimum. Cette condition aboutit à une taille atomique de l'ordre de quelques dixièmes de nanomètre, constatée expérimentalement.

talement. On ne peut donc pas changer la taille des atomes pour de bêtes raisons de physique quantique...

Notons enfin que le processus invoqué pour expliquer la réduction d'Ant-Man se fait à masse constante : le héros conserve tous ses atomes, semble-t-il, seule la distance les séparant est affectée. Premier souci, on voit mal un humain réduit pesant quand même 75 kilogrammes voyager à dos de fourmi volante ⁽¹⁾ qui doit, elle, avoir une masse de l'ordre d'une dizaine de milligrammes. D'autre part, diminuer la taille d'un humain d'un facteur 100 (au minimum) implique une diminution de son volume d'un facteur $100 \times 100 \times 100$, soit 1 million. Cela signifie que sa masse volumique, quotient de la masse et du volume du corps, atteint au bas mot plusieurs tonnes par centimètre cube soit, en gros, celle... d'une naine blanche ! Cet objet céleste est le résultat de l'évolution d'une étoile de type solaire. Mais si sa masse est de l'ordre d'une fraction de la masse du Soleil, sa taille est plutôt voisine de celle de la Terre ⁽²⁾. Pour atteindre ce régime extrême, la matière de la naine blanche est ionisée par les hautes températures qui y règnent. Autrement dit, les électrons ont été arrachés des noyaux et le plasma résultant peut alors être comprimé par l'importante gravité de l'astre qui est à la fois très massif et de petite taille. C'est la pression des électrons comprimés qui équilibre la gravité et empêche l'astre de s'effondrer sur lui-même. Les naines blanches sont constituées de l'une des plus denses formes de matière connues, seulement dépassé par celle des étoiles à neutrons. Les premières estimations de leur masse volumique, dans les années 1910, furent d'ailleurs déclarées « impossibles » tant les valeurs obtenues étaient élevées au regard des valeurs ordinaires.

Qu'arriverait-il à un humain miniature ?

Admettons malgré tout que le processus de miniaturisation fonctionne et essayons d'imaginer quelles conséquences cela

aurait pour notre héros. Hank Pym explique les exploits physiques d'Ant-Man par sa miniaturisation, et les compare à ceux d'une fourmi, capable de soulever plus de cinquante fois sa masse nous dit-il⁽³⁾. Notons que cet argument fut déjà utilisé par les créateurs de Superman, Jerry Siegel et Joe Schuster pour expliquer la force de l'Homme d'Acier. Dans une paire d'images intitulées « Une explication scientifique de l'étonnante force de Clark Kent [le nom d'adoption de Superman] », ils comparaient les prouesses de notre héros à celles des insectes : « *Kent vient d'une planète dont les habitants ont une structure physique en avance de plusieurs millions d'années sur la nôtre. À l'âge adulte, les Kryptonien sont dotés d'une force titanesque. Incroyable ? Non ! Car il existe sur notre planète des êtres doués d'une force extraordinaire. La modeste fourmi est capable de supporter des poids cent fois supérieurs au sien. La sauterelle fait des bonds dont la longueur rapportée à l'échelle humaine est équivalente à plusieurs dizaines de mètres.* » Dans les deux cas, il s'agit d'extrapoler une propriété — la force — d'une échelle de taille à une autre. Qu'en est-il en réalité ?

La force que peuvent développer les membres, proportionnelle à leur section, ne croît que dans deux dimensions ; elle est donc proportionnelle au carré de la taille du corps. En revanche, la masse du corps est proportionnelle à son volume, lequel augmente dans les trois dimensions ; la masse est donc proportionnelle au cube de la taille caractéristique du corps. Ainsi, la force physique croît proportionnellement à la puissance $2/3$ de la masse corporelle. Cela signifie que les plus lourds sont bien les plus forts, mais pas autant qu'on le croit : 8 fois plus lourd, 4 fois plus fort. Bien sûr, deux personnes de même masse peuvent réaliser des performances physiques fort différentes. Notre argument n'est donc valable qu'en moyenne. Appliquons notre relation pour déduire les performances d'une fourmi de celle d'un humain. Un homme moyen pèse environ 75 kilogrammes et ne peut, en général,

soulever qu'une seule fois sa masse. Une fourmi, qui ne pèse quant à elle que 10 milligrammes (7 500 000 fois moins qu'un homme) peut donc soulever, si l'on en croit notre relation, 38 300 fois moins ($7\,500\,000^{2/3} = 38\,300$) qu'un homme, soit un peu moins de 2 grammes. Cela représente bien, à peu près, une centaine de fois la masse d'une fourmi. La loi d'échelle liant force et masse permet donc de se convaincre qu'Ant-Man peut réaliser des efforts qui sont assez extraordinaires au regard de sa taille⁽⁴⁾ et que Superman n'est pas une super-fourmi : Ant-Man 1 – Superman 0 ! Mais le super-héros n'égale probablement pas les exploits des fourmis dont l'exosquelette, constitué d'un assemblage très résistant associant chitine et carbonate de calcium, s'avère bien plus résistant que le squelette interne du héros composé pour sa part de phosphate de calcium. Un squelette qui pourrait bien se rompre sous les charges qu'il soulève...

Attention à ne pas prendre froid

Ce jeu entre surface et volume amène à une autre conséquence, sur les échanges thermiques du super-héros cette fois. Les animaux à sang chaud (dits homéothermes) perdent de l'énergie car ils sont généralement plus chauds que le milieu dans lequel ils évoluent. Ces pertes se faisant par la surface externe du corps, elles sont proportionnelles à l'aire du corps. Scott Lang perd donc plus d'énergie qu'Ant-Man, environ 100×100 fois plus si le rapport de leur taille est de l'ordre de 100. D'autre part, l'énergie nécessaire à maintenir la température interne est produite par une activité métabolique qui se déroule dans le volume du corps, $100 \times 100 \times 100$ fois plus important chez Scott que chez Ant-Man. Scott produit donc 1 million de fois plus d'énergie qu'Ant-Man, mais ne la perd que 10 000 fois plus vite. Finalement, le rapport entre la perte d'énergie par la surface et sa production dans le volume est 100 fois plus faible chez Scott que chez son alter ego miniature.

Autrement dit, le rapport entre surface et volume est défavorable aux êtres de petite taille. Cela explique qu'il faut toujours couvrir les nourrissons, même si la température ambiante est agréable pour un adulte, et que dans l'eau d'une piscine peu chauffée, un enfant a froid plus rapidement qu'un adulte. Les animaux de petite taille et à sang chaud, comme la musaraigne étrusque (*Suncus etruscus*), doivent compenser leur plus grande perte d'énergie par une nourriture très abondante rapportée à leur masse. Ainsi, la musaraigne consomme quotidiennement près du double de sa masse en nourriture tandis que la ration de l'éléphant ne représente que 5 % de sa masse (ce qui fait tout de même 200 à 300 kilogrammes !). Les quelques grammes de la musaraigne représentent sans doute la limite inférieure de masse pour un animal à sang chaud. En deçà, les difficultés pour maintenir une température interne constante seraient sans doute trop grandes. Dans le cas d'Ant-Man, s'il veut éviter de passer son temps à se nourrir, il faut que le concepteur de son costume ait prévu une isolation thermique plutôt performante, ce qui n'est pas précisé dans le film !

De l'eau qui ne coule pas

Discutons également d'une scène étonnante du film, celle où Ant-Man donne à boire à sa fourmi-monture nommée Antony. Il tient devant elle une goutte d'eau qui ne s'écoule pas et reste dans ses mains sans aucun contenant. À notre échelle, il est impossible de manipuler sans récipient un volume équivalent à celui d'un seau d'eau. Aussi pourquoi, dans le film, l'eau reste-t-elle bien sagement agglomérée, « collant » aux mains du héros ? Cet effet plutôt réaliste se comprend grâce à la façon commode qu'utilisent les physiciens pour décrire le comportement de la surface d'un liquide : tout se passe comme si une fine pellicule élastique et extensible était tendue sur toute la surface dudit liquide. Cet effet résulte du fait que les molécules de surface sont moins entourées par

des congénères que celles du volume. Il s'ensuit que les molécules superficielles sont moins liées au liquide, ce qui correspond à une augmentation de l'énergie totale du système. Créer une interface entre le liquide et l'air coûte donc une énergie proportionnelle à l'augmentation de l'aire de contact. Le liquide adoptant spontanément la forme qui minimise son énergie, cette « tension superficielle » le force donc, en l'absence de forces extérieures, à minimiser son aire. De ce point de vue, la forme sphérique est optimale : à volume constant, c'est celle qui a la plus petite surface. C'est la forme que prend le whisky du Capitaine Haddock lorsqu'il se trouve en impesanteur dans l'album *On a marché sur la Lune*⁽⁵⁾. C'est aussi la forme adoptée par les gouttes de rosée, dont le poids est très petit. À notre échelle, les effets de la tension superficielle ne sont guère visibles, car la gravité impose sa loi : lorsque la quantité de liquide devient trop grande, son poids dépasse largement la tension superficielle et le liquide s'affaisse. Ainsi, l'eau d'un verre, d'une flaque ou d'un lac a une surface horizontale. Dans le film, la quantité d'eau manipulée par Ant-Man, qui semble imposante par rapport à sa taille, est en fait très faible. La tension superficielle du liquide domine alors son poids et lui permet de garder sa cohérence tout en autorisant le héros à le manipuler sans récipient, comme s'il était enfermé dans une pellicule élastique. Pratique, mais notez que cela rend la baignade très difficile, car il faut alors percer la « membrane élastique » qui délimite le liquide. Pas facile pour Ant-Man de prendre un bain !

Une question de communication

Pour terminer, discutons un peu de la façon dont Ant-Man interagit avec ses fourmis. Dans le *comics* d'origine, il s'adresse directement à elles en leur parlant. Si l'on peut douter que des insectes comprennent ses paroles, on peut aussi se demander s'il sera entendu par ses amis humains. Les sons

que nous produisons résultent des vibrations des cordes vocales, amplifiées par la caisse de résonance de la gorge et du crâne. Sur un piano, on constate facilement que les cordes les plus courtes produisent les sons les plus aigus. Plus précisément, une corde 2 fois plus courte produit un son 2 fois plus aigu, à l'octave, dont la fréquence est double. Ant-Man, dont la taille est réduite d'un facteur au moins égal à 100, possède donc des cordes vocales 100 fois plus courtes et sa voix est 100 fois plus aiguë, sept octaves plus haut en gros. La fréquence de la voix d'un humain mâle se situe typiquement entre 200 et 300 Hertz. On en déduit qu'Ant-Man émet des sons à une fréquence de l'ordre de 20 à 30 000 Hertz, dans la gamme des ultra-sons, au-delà de ce que l'oreille humaine peut entendre. Autrement dit, il est indispensable que le costume conçu par Pym soit doté d'un dispositif transposant les ultra-sons en fréquence audible s'il veut pouvoir discuter avec le héros via le micro intégré. Aucune difficulté technique derrière cela, on trouve de tels dispositifs sur le marché, destinés à qui veut entendre le chant des chauves-souris. Hank Pym a aussi prévu que le casque du costume envoie des signaux chimiques pour communiquer et diriger les fourmis : si c'est bien par phéromones que les fourmis communiquent, les diriger toutes est illusoire car les fourmis n'ont ni chef ni hiérarchie. Leur organisation réside dans les interactions multiples entre individus qui agissent uniquement pour le bien commun du groupe. Un modèle dont les humains sont bien éloignés...

On l'aura compris, réduire la taille d'un humain ne va pas sans quelques modifications majeures de ses capacités et de sa perception de l'environnement. Un humain miniature est, toutes proportions gardées, plus fort et plus résistant. Mais il a sûrement très froid, passe une grande partie de son temps à manger, est incapable de communiquer par la voix et éprouve les plus grandes difficultés à prendre un bain. Comme quoi, pour garder visage humain il faut garder taille humaine !

Notes :

- (1). Dans le film, ces fourmis volantes appartiennent à l'espèce *Camponotus pennsylvanicus* (*black carpenter ant* ou « fourmi noire charpentière ») qui existe vraiment.
- (2). Rappelons qu'une étoile ordinaire est bien plus grosse qu'une planète : le diamètre du Soleil est 109 fois supérieur à celui de la Terre !
- (3). Certaines fourmis tropicales du genre *Atta* (« fourmis champignonnistes » ou « coupeuses de feuilles » nommées ainsi à cause de leurs puissantes et tranchantes mandibules) sont même capables de soulever plusieurs milliers de fois leur masse !
- (4). Les efforts d'Ant-Man sont extraordinaires s'ils sont rapportés à la masse qu'il devrait avoir avec des atomes « normaux », c'est-à-dire celle d'une grosse fourmi.
- (5). L'astronaute Scott Kelly a réalisé une étonnante vidéo de ping-pong spatial avec une grosse goutte d'eau sphérique, à voir sur <https://www.youtube.com/watch?v=TLbhrMCM4_0>.

