

SCIENCE & FICTION

Antman, petit mais costaud !

Réduire sa taille à volonté, faire des bonds spectaculaires, communiquer avec les fourmis, Antman peut-il réaliser de tels exploits en respectant les lois du monde atomique et de la physique quantique ?

Roland LEHOUCQ et Jean-Sébastien STEYER

Illustration : Marc BOULAY

Un nouveau superhéros a débarqué sur nos écrans. Son pouvoir ? La capacité de rétrécir à la taille d'une fourmi grâce à une combinaison spéciale et une « formule » mises au point par le scientifique Hank Pym. Dans *Antman* (2015), Marvel Studios s'écarte de ses superhéros classiques pour mettre en scène un ancien cambrioleur, Scott Lang, qui, voulant récupérer le droit de voir sa fille, se retrouve embarqué dans une folle aventure.

L'idée de raconter les aventures d'un humain rétréci n'est pas récente, à l'image des romans *Les voyages de Gulliver*, de Jonathan Swift (1726), et *L'homme qui rétrécit*, de Richard Matheson (1956).

Le cinéma n'est évidemment pas en reste. En 1966, Richard Fleischer réalise *Le voyage fantastique*, qui relate les aventures d'une équipe de chirurgiens envoyés, à bord d'un sous-marin microscopique, dans le sang d'un patient 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) narre les aventures d'un inventeur excentrique dont les enfants font les frais de sa machine à rétrécir les objets.

Les superhéros ont, eux aussi, eu le droit de visiter le monde microscopique dès 1940 avec Atom. Il sera rejoint plus tard par Antman et Wasp (la Guêpe).

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 subitement aussi petits qu'une fourmi ? La physique et la biologie peuvent répondre à cette question.

Le concepteur du costume d'Antman, Hank Pym, explique le principe de son invention par une diminution de l'espace entre les atomes. Un atome mesure quelques dixièmes de milliardième de mètre, mais son noyau est 100 000 fois plus petit ! Ainsi, l'idée de Pym semble bonne : réduire la taille d'un atome, dont le volume est essentiellement vide, devrait permettre de réduire la taille d'un objet.

Mais l'argument de Pym ne tient pas. La taille d'un atome n'est pas arbitraire, elle résulte d'un équilibre physique subtil entre les électrons et le noyau atomique. Hank Pym semble oublier une règle de la physique quantique : un électron confiné est d'autant plus agité que le volume de confinement est petit. Pourquoi l'électron ne se rapproche-t-il pas plus du noyau ? Parce que cela reviendrait à le confiner dans un volume de plus en plus restreint, donc à augmenter 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, pour maintenir la cohésion de l'atome, l'énergie de liaison électrostatique entre le noyau



ANTMAN DÉFIE LES LOIS de la physique. Grâce à sa combinaison, il réduit sa taille à celle d'un insecte et chevauche une fourmi ailée qui lui sert de destrier.



DANS UN UNIVERS KAFKAÏEN, si Antman était issu d'un croisement entre un homme et une fourmi, ressemblerait-il à cette créature qui rappelle le personnage incarné par Jeff Goldblum dans le film *La Mouche* (1986, D. Cronenberg) ?

et l'électron 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.

La plus grande de ces deux énergies dicte sa loi : si le mouvement est trop rapide, l'atome éclate, si l'énergie de liaison est trop forte, l'atome s'effondre. La configuration d'équilibre est celle qui minimise l'énergie totale, somme des énergies de mouvement et de liaison électrique. Cette condition aboutit à une taille de l'ordre de quelques dixièmes de nanomètre.

Dense comme une étoile

Le processus invoqué pour expliquer la réduction d'Antman implique aussi qu'elle se fait à masse constante. Mais diminuer la taille d'un humain d'un facteur 100 tout en conservant sa masse implique une augmentation considérable de sa masse volumique, d'un facteur un million environ ! Celle d'Antman atteindrait alors une tonne par centimètre cube, soit, en gros, celle d'une étoile de type naine blanche. Dans de tels astres petits et massifs, la matière est comprimée par l'importante gravité de l'astre. Notons aussi que si Antman conserve sa masse, on voit mal comment il peut voyager à dos de fourmi volante.

Admettons malgré tout que le processus de miniaturisation fonctionne et essayons d'imaginer quelles conséquences cela aurait pour notre héros. Ce dernier est capable de

faire des bonds prodigieux. Hank Pym attribue ces performances à la miniaturisation et les compare à celles d'une fourmi, capable de soulever plus de 100 fois sa masse.

Cet argument est correct ! En effet, la force que développent les membres est proportionnelle à l'aire de leur section (celle-ci reflète le nombre de fibres musculaires dans le membre). Comme elle croît ainsi dans deux dimensions, elle est proportionnelle au carré de la taille (linéaire) 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. Il s'ensuit que la force physique croît proportionnellement à la puissance $2/3$ de la masse corporelle.

En vertu de cette loi, on comprend qu'Antman puisse faire des efforts qui, rapportés à sa masse, sont extraordinaires. Mais le super-héros n'égale jamais les fourmis, revêtues d'un squelette très résistant à base de chitine, alors que les os de son squelette interne sont en phosphate de calcium, plus fragile.

Une autre conséquence de ce jeu entre surface et volume porte sur les échanges thermiques. Les animaux à sang chaud (dits homéothermes) perdent de l'énergie, car ils sont souvent plus chauds que le milieu où ils évoluent. Ces pertes se faisant par la surface externe du corps, elles sont proportionnelles à l'aire de ce dernier. Scott Lang perd donc plus d'énergie qu'Antman, environ 100×100 fois plus si leur rapport de taille

est de l'ordre de 100. Par ailleurs, l'énergie nécessaire à maintenir la température interne est produite par une activité métabolique qui se déroule dans le volume du corps, 100^3 fois plus important chez Scott que chez Antman. 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 organismes de petite taille, qui doivent compenser leur plus grande perte d'énergie par une nourriture proportionnellement plus abondante. C'est ce que l'on constate entre la musaraigne étrusque, le plus petit mammifère du monde, et l'éléphant. Dans le cas d'Antman, s'il veut éviter de passer son temps à se nourrir, il faut que son costume assure une isolation thermique très performante !

Dernière caractéristique de notre super-héros : Pym a prévu un casque qui 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 connexions multiples entre individus qui agissent uniquement pour le bien commun du groupe. Un modèle dont les humains sont bien éloignés. ■

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay. J.-Sébastien STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. Marc BOULAY est sculpteur numérique.