

ROLAND LEHOUCQ



FAIRE DES
SCIENCES
AVEC
**STAR
WARS**



Roland Lehoucq

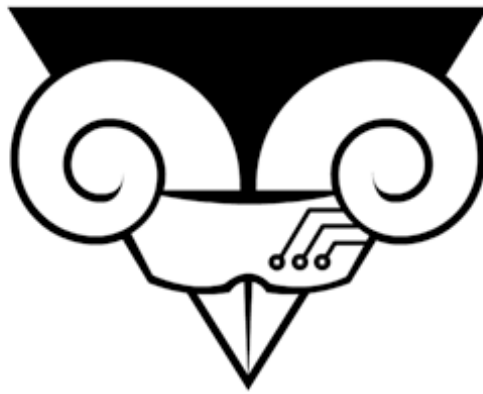
Faire des sciences
avec Star Wars



Le Béliat' vous propose volontairement des fichiers dépourvus de dispositifs de gestion des droits numériques (DRM) et autres moyens techniques visant la limitation de l'utilisation et de la copie de ces fichiers.

- Si vous avez acheté ce fichier, nous vous en remercions. Vous pouvez, comme vous le feriez avec un véritable livre, le transmettre à vos proches si vous souhaitez le leur faire découvrir. Afin que nous puissions continuer à distribuer nos livres numériques sans DRM, nous vous prions de ne pas le diffuser plus largement, via le web ou les réseaux peer-to-peer.
- Si vous avez acquis ce fichier d'une autre manière, nous vous demandons de ne pas le diffuser. Notez que, si vous souhaitez soutenir l'auteur et les éditions du Béliat', vous pouvez acheter légalement ce fichier sur notre plateforme **e.belial.fr** ou chez votre librairie numérique préféré.

Certaines plateformes de vente de livres numériques ajoutent systématiquement des DRM à nos livres contre notre avis. Si vous avez acheté ce livre avec DRM, il est inutile de nous contacter car nous ne pourrions pas vous aider, mais la loi vous permet d'en obtenir le remboursement sous sept jours.



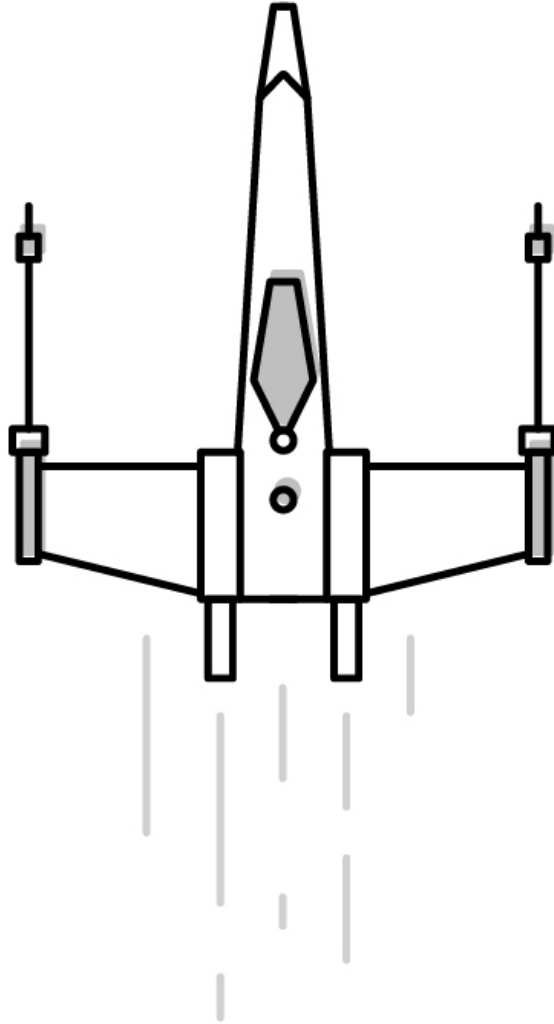
e-Bérial'

© 2017, Roland Lehoucq
Reproduit avec l'autorisation de l'auteur
© 2017, le Bérial', pour la présente édition

Illustration et couverture © 2017, Cédric Bucaille | Agence & Pourquoi
Pas ?

ISBN : 978-2-84344-813-3

Parution : octobre 2017
Version : 1.1 — 02/10/2017



Histoire d'un livre

EN JUILLET 2002, je signalais dans le numéro 27 de la revue de science-fiction *Bifrost*, publiée par les éditions du Béliard, un article intitulé « Star Wars : mythes et réalités ». Cela faisait déjà quatre ans que j’y tenais la rubrique « Scientifiction » et il me semblait opportun de traiter enfin de la saga *Star Wars*, au moment où sortait l’épisode II, *L’Attaque des clones*.

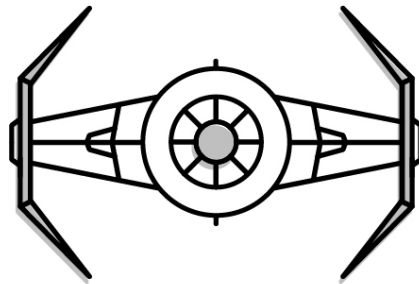
Deux ans plus tard, la Cité des Sciences et de l’Industrie me contacta pour réaliser le parcours scientifique de l’exposition « Star Wars ». Inaugurée en octobre 2005, elle accueillit plus de 700 000 visiteurs en dix mois. À cette occasion Sophie Bancquart, directrice des éditions Le Pommier, me proposa de rédiger un court ouvrage de poche sur les thèmes scientifiques abordés dans l’exposition. Il fut publié sous le titre *Faire de la physique avec Star Wars* et était disponible à la sortie de l’exposition dans des distributeurs qui, en d’autres lieux, auraient pu contenir des sodas. Pour que la célèbre police de caractères du générique des films puisse orner la couverture du livre, sa diffusion ne fut autorisée par Lucasfilms que pendant deux ans et en français seulement. Cette échéance arrivée, Sophie Bancquart me fit la grâce de m’offrir le petit stock restant au lieu de le mettre au pilon. Cela m’a permis de jouer le Père Noël durant une bonne paire d’années, en offrant ces ouvrages ou en les vendant à prix d’ami. En fin de compte définitivement épuisé (mais on chuchote qu’il en reste encore quelques exemplaires dans une caisse au fond d’une cave obscure), ce *collector* à la couverture noire et blanche n’est désormais disponible qu’à prix d’or sur les marchés de la Bordure extérieure.

Ce livre ayant eu un certain succès, j’ai eu l’occasion d’être invité sans doute près d’une centaine de fois pour donner une conférence sur la physique de *Star Wars*. Il arriva même que certaines de ces conférences soient filmées et mises à disposition sur internet, leur donnant une audience plus large (près de 65 000 visionnages à ce jour).

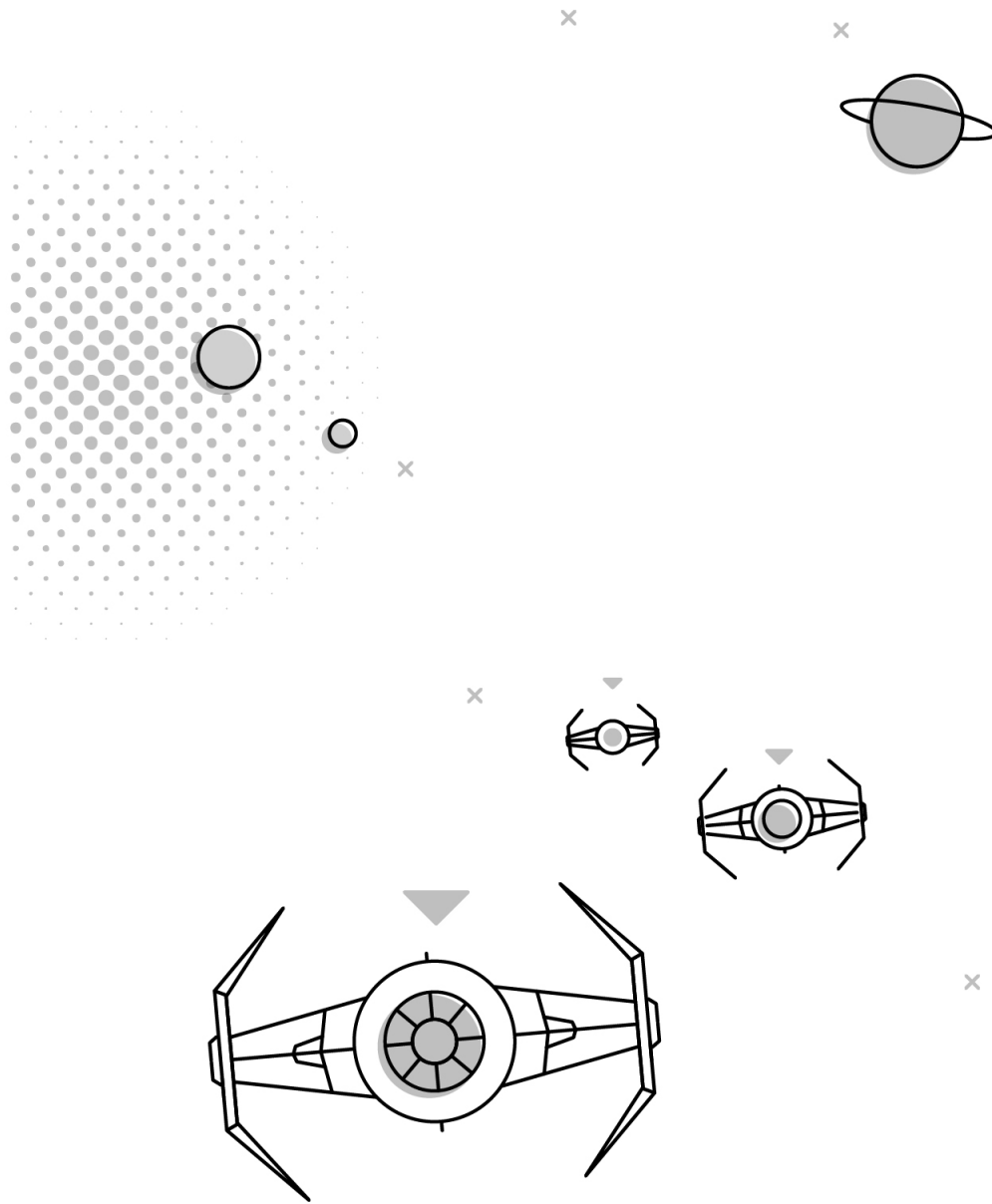
Début 2012, Françoise Pétry, alors rédactrice en chef de la revue *Pour la Science*, me présenta le paléontologue J.-Sébastien Steyer. Le coup de foudre (scientifique bien sûr) fut immédiat et réciproque. Dans la foulée, J.-Sébastien et moi avons fondé la rubrique « Science et Fiction » depuis publiée chaque mois dans *Pour la Science*. C’était le début d’un travail commun qui ne s’est jamais interrompu. Depuis, nous avons eu

l'occasion de publier à plusieurs reprises des analyses communes qui sont venues étoffer de biologie mon travail de physicien sur la galaxie imaginée par George Lucas.

Certains spectateurs de mes conférences et fans de la saga *Star Wars* n'ayant pu se procurer le livre initialement publié aux éditions Le Pommier m'incitèrent à le rééditer. Ce fut chose faite en 2015, à l'occasion des dix ans de la sortie de la première édition. Une version largement remaniée et complétée fut produite en version numérique uniquement et selon les termes de la Licence Creative Commons. Téléchargeable sur le site des éditions du Béliat', elle fut gratuitement mise à disposition des lecteurs pour remercier tous ceux qui m'avaient suivi avec enthousiasme dans mon exploration scientifique de *Star Wars*. Près de 15 000 téléchargements plus tard, d'autres fans me firent remarquer lors de conférences ou durant les Utopiales¹ que le numérique c'est bien et la gratuité c'est généreux, mais que le papier a des vertus qui font défaut aux électrons. Après discussion avec Olivier Girard, le directeur des éditions du Béliat', il fut décidé de produire une ultime version encore augmentée et remaniée de l'analyse de la saga *Star Wars*, qui tient compte de toutes les remarques qui m'ont été faites et de tous les épisodes diffusés jusqu'en mai 2017. C'est l'ouvrage que vous tenez entre les mains.



¹ Le festival des Utopiales, que j'ai l'honneur et le plaisir de présider depuis 2012, est sans doute l'une des plus grandes manifestations du monde autour de la science-fiction. Il se tient chaque année à la Cité des congrès de Nantes, aux environs du 1^{er} novembre.



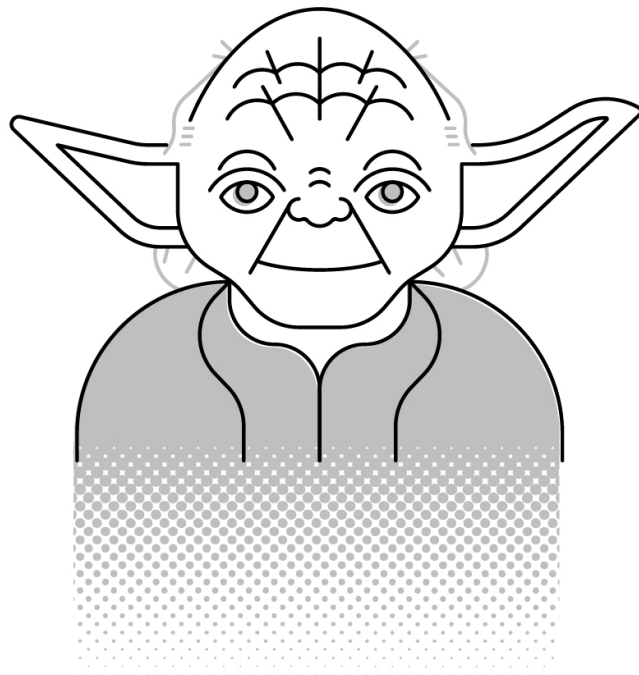
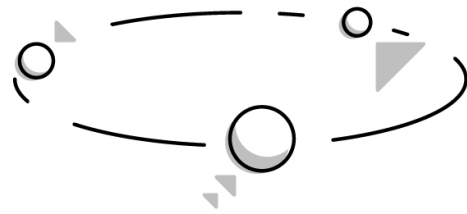
PRÉAMBULE

EXISTE-T-IL ENCORE quelqu'un qui n'ait pas vu (et revu !) les épisodes de *Star Wars*, la saga de science-fiction la plus célèbre du cinéma ? Comme dans tout *space opera* qui se respecte, la technologie foisonne et *Star Wars* ne déroge pas. Bien que de nombreux objets semblent déjà vus², les capacités techniques des protagonistes sont à l'évidence largement supérieures aux nôtres. Si certaines réalisations, comme les hologrammes, sont d'actualité ou paraissent relativement plausibles, d'autres relèvent plutôt du fantasme technologique. Aussi est-on en droit de se poser la question suivante : dans *Star Wars*, est-il possible de faire la part de la science et de la fiction, celle du rêve et de la réalité ? Bien sûr, nul ne serait surpris d'apprendre que l'essentiel des manifestations techniques et scientifiques montrées à l'écran sont impossibles ou pour le moins très difficiles à réaliser en pratique. Mais notre objectif n'est pas vraiment de trier le vrai du faux. Il ne consiste pas non plus à détruire la part de rêve inhérente à toute œuvre de fiction. Il s'agit plutôt d'en profiter pour développer, de manière ludique, un raisonnement scientifique appliqué à des scènes ou des personnages, qui ouvrent le champ à des interrogations scientifiques que l'on ne s'attend pas à trouver dans une œuvre de la culture populaire. Notre démarche consiste à faire une lecture scientifique d'un univers de fiction et, à chaque fois que c'est possible, à en extraire des informations qui ne sont pas explicitement données dans l'œuvre. Il s'agit donc de mener de véritables enquêtes, de faire comme si nous étions des scientifiques transportés sur ces mondes imaginaires et cherchant à les comprendre. C'est une manière de « bidouiller » — de *hacker* — des monuments de la culture *geek* pour les détourner de leur but initial — divertir — et de s'en servir comme des prétextes pour faire de la science en jouant avec elle. Si

² Par exemple, le costume de Dark Vador s'inspire de la tenue médiévale des samouraïs tandis que son casque présente des similitudes avec le casque allemand de la Première Guerre mondiale, le pistolet blaster de Han Solo n'est autre qu'un Mauser C96 auquel ont été rajouté un cache flamme et une lunette de précision, le bruit que font les chasseurs TIE n'est pas sans rappeler celui des chasseurs allemands Stuka, le cockpit du Faucon Millenium ressemble à celui d'un bombardier américain B29, etc.

l'épopée *Star Wars* est un bon prétexte pour mener ces investigations, de nombreux autres films de science-fiction³ constituent aussi de formidables portes d'entrée qui ouvrent l'esprit à des questions de science. Pour le plus grand bien de nos neurones, nous allons donc nous livrer à une petite analyse scientifique de l'univers *Star Wars*. Notre champ d'investigation est fort vaste : la Force et le sabre-laser (incontournables !), l'Étoile de la mort (archétype de l'arme absolue dont rêvent tous les super-méchants d'envergure galactique), les véhicules (il y en a de toutes tailles et de tous usages, du landspeeder au vaisseau interstellaire) et bien sûr les planètes, dont la célèbre Tatooine et son soleil double. « Que la Force soit avec vous ! », vous risquez d'en avoir besoin...

³ Citons par exemple *Avatar* (J. Cameron, 2009), *Gravity* (A. Cuarón, 2013), *Interstellar* (C. Nolan, 2014) ou *Seul sur Mars* (R. Scott, 2015).



LA FORCE

LA FORCE EST la mystérieuse et puissante source du pouvoir des chevaliers Jedi. Mais quelle est exactement sa nature ? Dans l'épisode IV *Un nouvel espoir* (G. Lucas, 1977), Obi-Wan Kenobi, le célèbre chevalier Jedi, la définit ainsi : « C'est un champ d'énergie créé par tous les êtres vivants. Il nous entoure et nous pénètre. Il lie la galaxie toute entière. » Au premier abord, ces quelques phrases semblent plutôt à ranger du côté de la pseudoscience dont les scientologues et les publicitaires sont friands. Pourtant, pour un physicien, certains mots sont évocateurs. Examinons par exemple la notion de champ. Elle émergea au XIXe siècle, quand les savants cherchèrent une explication physique à la façon dont une charge électrique ou un aimant agissent à distance, sans aucun contact, avec une autre charge ou un autre aimant. Cette question était d'importance car, à cette époque, il semblait impossible que l'action d'un objet sur un autre puisse se faire autrement que par un contact direct. La question était encore sujette à controverse, surtout depuis qu'Isaac Newton (1642-1727) avait brisé le tabou en introduisant sa force de gravitation, capable de s'exercer à travers l'espace entre deux corps éloignés. Le physicien anglais Michael Faraday (1791-1867) proposa qu'une charge électrique produise autour d'elle un champ invisible s'étendant dans tout l'espace. Ce champ agit sur les charges électriques qui le rencontrent, ce qui se traduit par l'action d'une force sur celles-ci. L'action à distance entre deux charges se ramène ainsi à une action de contact entre l'une des deux charges et le champ de la seconde. Et le tour est joué ! Le concept de champ s'étend facilement à la force gravitationnelle de Newton et à la force magnétique entre aimants. L'idée de champ s'applique aussi magnifiquement à la Force. Si un Jedi peut agir à distance sur des objets, c'est parce qu'il est capable de manipuler un champ, un champ d'énergie d'après Obi-Wan Kenobi. Cela semble logique car, en physique, l'énergie est précisément la mesure de la capacité d'un système à agir sur les choses ou à les transformer. Ainsi, pour déplacer une chaise, il faut lui fournir de l'énergie — en général, ce sont les muscles des bras qui s'en chargent. C'est la même chose pour propulser une voiture — dans ce cas, c'est la combustion de l'essence dans le moteur qui fournit l'énergie nécessaire à ce mouvement. Pour soulever à distance le chasseur de Luke dans les marais de Dagobah, Yoda

lui fournit de l'énergie en manipulant le champ associé à la Force. Tout cela semble clair et logique, non ?

Une Force déjà connue ?

Évidemment, il reste à trouver la source de ce champ et de cette énergie. Cette question ne doit pas être négligée car, dans la nature, chaque effet a une cause qui lui est associée. Sans source identifiée, la Force s'apparenterait dangereusement à de la magie. D'ailleurs, la sagesse populaire ne s'y trompe pas : tout le monde sait qu'il n'y a pas de fumée sans feu. Selon Obi-Wan Kenobi, la Force trouverait sa source dans les êtres vivants, tout comme le champ électrique trouve la sienne dans les charges électriques. Alliée au fait que la Force lie la galaxie, c'est-à-dire qu'elle lui donne sa cohésion, cette affirmation conduit à penser que la Force est un avatar de la force de gravité, la seule des quatre interactions fondamentales⁴ qui compte à l'échelle des planètes, des étoiles et des galaxies. Et les êtres vivants sont aussi sources de gravitation. Rien de glorieux à cela, puisque c'est aussi le cas de n'importe quel morceau de matière, qu'il soit grain de sable, montagne ou planète. Le puzzle semble bien s'ajuster... Il y a pourtant un petit bémol : le champ de gravité créé par les êtres vivants de notre galaxie est très largement insuffisant pour lier les quelque deux cents milliards d'étoiles qu'elle contient, même si l'on tient compte, à tout hasard, d'une bonne quantité d'extraterrestres obèses. C'est le champ de gravité de *toute* la matière d'une galaxie⁵ qui lui donne sa cohésion et sa dynamique. L'hypothèse selon laquelle la Force pourrait être identifiée à la gravité est renforcée par le fait que nombre de ses manifestations ressemblent à une manipulation de la gravité locale. Ainsi, quand Yoda soulève le chasseur de Luke pour l'extraire du marais de Dagobah, tout se passe comme s'il était capable d'annuler, et même d'inverser, la gravité de la planète juste sous le chasseur de sorte qu'il « tombe vers le haut ». La situation se répète quand Luke s'entraîne à contrôler la Force en soulevant sans contact de grosses pierres ou le droïde R2D2. Mais alors, si la Force n'est rien d'autre que la gravitation, pourquoi la nommer différemment et faire tout ce foin autour d'elle ? Non, il doit y avoir une autre explication.

⁴ Ce sont les interactions nucléaires forte et faible, l'interaction électromagnétique et la gravitation.

⁵ La masse visible d'une galaxie se présente sous forme de gaz interstellaire ou d'étoiles. Mais la masse totale d'une galaxie est dominée par une matière non lumineuse, dite « matière noire », qui représente entre 80 % et 90 % de la masse totale.

Réfléchissons davantage. De quelle autre sorte de champ un être vivant pourrait-il être la source ? D'un champ électrique, bien sûr ! Il suffit de toucher un poisson torpille pour se convaincre que certains animaux sont même capables d'en produire d'importants. Par ailleurs, c'est bien le champ électrique de notre cerveau que l'on mesure dans un électroencéphalogramme, même s'il est plutôt faible. Malheureusement, la matière d'une galaxie n'est pas liée par un quelconque champ électrique. Alors, peut-être faut-il prendre la phrase d'Obi-Wan au sens figuré : la Force joue le rôle d'un lien entre tous les êtres vivants de la galaxie, un réseau GSM galactique en quelque sorte... Une scène de l'épisode VI *Le Retour du Jedi* (R. Marquand, 1983), va dans le sens de cette hypothèse : l'empereur Palpatine tente de « convaincre » Luke Skywalker de le rejoindre du côté obscur de la Force. Devant la résistance de ce dernier, il le torture, puis tente de le tuer en le frappant avec des éclairs émis par les extrémités de ses doigts. Dans ce cas, l'Empereur fait appel à la Force pour se transformer en un puissant générateur de tension !

En effet, les éclairs qui illuminent vivement le ciel durant un orage résultent de l'action d'un champ électrique intense créé entre les nuages et le sol. Sous l'action de ce champ, les molécules de l'air sont brisées, libérant ainsi essentiellement des atomes d'oxygène et d'azote. Mieux, un champ électrique suffisamment intense peut arracher certains des électrons de ces atomes. L'air, habituellement isolant, devient alors conducteur et un courant électrique — l'éclair — frappe le sol. Le champ électrique nécessaire pour produire ce phénomène d'ionisation de l'air est de l'ordre de 3,6 millions de volts par mètre pour de l'air sec à la pression atmosphérique. Si l'on estime que les éclairs produits par l'Empereur ont une longueur de 3 à 4 mètres⁶, tout se passe comme s'il était branché à un générateur d'une dizaine de millions de volts, à comparer aux 100 millions de volts mis en jeu dans la foudre !

Par ailleurs, la position que prend Palpatine pour foudroyer Skywalker, doigts écartés et tendus vers l'avant, va tout à fait dans le sens de notre hypothèse. En effet, le champ électrique est beaucoup plus intense au voisinage des extrémités conductrices pointues, ce qui facilite diablement la production de la décharge électrique. À l'inverse,

⁶ Le champ magnétique de la Terre limite « l'évaporation » de l'atmosphère terrestre car il piège les particules de la haute atmosphère qui sont ionisées sous l'effet du rayonnement ultraviolet du Soleil.

constatons que la foudre se dirige volontiers vers la pointe d'un paratonnerre. Ce phénomène peut être constaté dans la fameuse salle d'électrostatique du Palais de la découverte, à Paris. Une spectatrice volontaire, isolée du sol et branchée à un générateur de 300 000 volts, braque ses doigts tendus aux extrémités desquels le public peut aisément observer des aigrettes lumineuses longues de quelques centimètres. Et des éclairs se produisent entre deux barreaux métalliques pointus suffisamment proches, l'un tenu par la volontaire, l'autre par le médiateur scientifique faisant la démonstration.

Si la Force donne à l'Empereur des pouvoirs « électriques », celui-ci doit quand même prendre garde à s'isoler électriquement du sol, faute de quoi il risque une auto-électrocution ! Ainsi, si les semelles de ses chaussures sont trop fines, leur capacité d'isolation sera moins bonne que celle de quelques mètres d'épaisseur d'air et le courant électrique passera à travers elles plutôt qu'en ionisant l'air. La résistivité du caoutchouc de semelle peut être trouvée auprès de leurs fabricants, un peu surpris de la question, et permet d'estimer l'épaisseur des semelles de l'Empereur. La réponse est sans appel : il doit disposer de semelles de plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur, à la mode des *drag-queens* ! On comprend mieux pourquoi il porte toujours un grand manteau : il veut dissimuler ce détail qui pourrait faire ricaner dans la Galaxie et l'obligerait à un carnage pour punir les impudents.

Alors, l'Empereur ne serait-il qu'un puissant générateur électrique et la Force qu'une version amplifiée du champ électrique ? Non, confusément, nous sentons bien que quelque chose de plus mystérieux doit être à l'œuvre...

Un peu d'histoire

Retenons le point essentiel de la définition que nous donne Obi-Wan Kenobi : la Force est une entité physique qui remplit tout l'espace et relie toutes choses. De ce point de vue, la Force n'est pas uniquement un moyen de réaliser quantité d'actions amusantes, comme déplacer un vaisseau spatial embourbé ou ratatiner quelques droïdes de combat, elle plonge aussi ses racines dans les plus anciennes interprétations du monde. Elle rappelle notamment la quintessence, le fameux cinquième élément dont Aristote remplissait les cieux pour compléter l'action terrestre de l'air, de la terre, de l'eau et du feu. Cette quintessence avait de bien étranges propriétés : elle était incréée, inaltérable, invisible, omniprésente. Élément d'une autre nature que celle des quatre éléments terrestres, elle traduisait la profonde différence entre la Terre et le Ciel. Objet de discussion et de réflexion pendant près de deux millénaires, on

renonça à la quintessence au XVII^e siècle, en même temps que fut abandonnée toute la physique d'Aristote.

Mais voilà qu'au XIX^e siècle resurgit une sorte de quintessence aristotélicienne. À cette époque, les physiciens se représentaient l'espace comme une coquille vide. Selon eux, la lumière ne pouvait s'y propager que s'il était empli d'un milieu particulier, nommé « éther », qui permettait cette propagation. Ils considéraient que les ondes lumineuses se propageaient dans l'éther à la façon des ondes sonores dans l'air. Comme la lumière se déplace à grande vitesse, environ 300 000 kilomètres par seconde, l'éther était conçu comme un milieu extraordinairement rigide. En dépit de cela, la Terre devait s'y déplacer sans aucun frottement car sinon son orbite aurait été modifiée au fil du temps, au point de la faire chuter dans le Soleil. D'autre part, on aurait dû détecter un « vent d'éther », produit par le mouvement de la Terre autour du Soleil de la même manière que la vitesse du vent ressenti par un navire à voile — le vent relatif — dépend de la vitesse du navire par rapport à la côte. Comme la Terre, qui est en mouvement autour du Soleil, se déplace par rapport à l'éther, les physiciens s'attendaient donc à trouver différentes valeurs pour la vitesse de la lumière en fonction du moment de l'année ou de la direction selon lesquels elle était mesurée. En 1887, les physiciens Albert A. Michelson (1852-1931) et Edward W. Morley (1838-1923) montrèrent que la vitesse de la lumière prend la même valeur quelle que soit la direction selon laquelle elle est mesurée depuis la surface de la Terre⁷. Ce résultat participa à invalider la théorie de l'éther et imposa l'idée que la lumière pouvait se propager dans le vide, sans aucun support matériel. L'abandon de l'éther nous prive d'une explication de la Force...

Un détour par le vide...

La Force et son omniprésence évoquent enfin l'une des idées les plus fascinantes de la physique moderne : l'énergie du vide. Remarquable oxymore : comment le vide pourrait-il avoir une énergie ? Le vide semble d'abord être le résultat d'une action, celle d'ôter d'une région de l'espace toute la matière qu'elle contient (pensez à l'expression « faire un rangement par le vide »). Pour être complet, la physique nous dit qu'il

⁷ Cela signifie que la vitesse de la Terre composée avec celle de la lumière donne la vitesse de la lumière et non, comme on s'y attendrait en physique classique la somme ou la différence de la vitesse de la lumière et de celle de la Terre autour du Soleil.

faut aussi se débarrasser de la lumière, ce qui est moins facile...⁸ Et après ? La région traitée devrait avoir perdu tout intérêt puisque plus rien ne s'y trouve. Et pourtant, quantité de choses s'y produisent ! Au début du XXe siècle fut élaborée une théorie des phénomènes microscopiques, connue sous le nom de physique quantique, qui aboutit à l'idée que chaque acteur physique, particule ou lumière, est associé à un champ. Une particule est alors décrite comme une excitation élémentaire du champ associé. Dans ce cadre, le vide se définit simplement : c'est une configuration particulière de l'état des champs, celle de plus basse énergie, qui n'est donc pas forcément nulle. En mécanique quantique, l'énergie d'un système n'est pas constante, mais peut fluctuer tout en respectant une condition : le produit de la variation d'énergie de la fluctuation et de sa durée doit être supérieur à une certaine constante⁹. En clair, il est possible « d'emprunter » une quantité d'énergie quelconque à un système, le vide par exemple, à condition de la « rembourser » assez vite, d'autant plus vite que la quantité empruntée est grande.

Ces fluctuations du vide ont des conséquences expérimentales bien connues des physiciens. Par exemple, un atome isolé placé dans une enceinte vide n'interagit qu'avec les fluctuations du vide. Entraîné vers un état excité par une impulsion lumineuse, cet atome va spontanément redescendre vers son état fondamental en émettant de la lumière. C'est le couplage de l'atome avec les fluctuations du vide qui déclenche ce processus d'émission spontanée. Les fluctuations quantiques de ce vide nouvelle manière ont aussi une manifestation macroscopique mesurable, comme la force de van der Waals¹⁰. En 1948, le physicien néerlandais Hendrik Casimir (1909-2000) montra que deux plaques conductrices placées dans le vide s'attirent mutuellement et interpréta aussi cette attraction comme la manifestation des fluctuations du vide. À la fin des années 1990, la prédiction théorique de Casimir a été vérifiée avec une précision de l'ordre de 1 %.

⁸ En effet, lorsque la pression augmente, la température de fusion augmente également.

⁹ Cette constante est égale à la moitié de la constante de Planck réduite, égale à la constante de Planck divisée par 2π .

¹⁰ Découverte par le physicien néerlandais Johannes Diderik van der Waals (1837-1923), la force du même nom est une interaction électrique de faible intensité entre deux atomes, deux molécules, ou entre une molécule et un cristal. Bien qu'il soit possible de décrire cette interaction de façon classique, elle ne peut bien se comprendre que dans le cadre de la physique quantique.

Peut-on espérer extraire de l'énergie du vide ? La Force pourrait-elle être une manifestation de ces fluctuations ? Le réalisme scientifique impose de donner une réponse négative ou pour le moins réservée. D'abord, le vide étant, par définition, l'état d'énergie minimum, il semble difficile d'en extraire directement de l'énergie. Si c'était possible, cela signifierait que son énergie n'est pas minimale. Des méthodes théoriques ont pourtant suggéré de se servir de l'effet Casimir pour extraire de l'énergie du vide, l'énergie de la région située entre les plaques de l'expérience pouvant être considérée comme plus basse que celle de la région extérieure aux plaques. Mais, pour l'instant, ces idées en sont encore au stade de l'exercice théorique pour physicien joueur. Mais une autre hypothèse est envisageable.

... pour en arriver à l'univers

Vers la fin des années 1920, l'astronome américain Edwin Hubble (1889-1953) constata que toutes les galaxies lointaines semblaient s'éloigner de la nôtre. Cette observation fut interprétée comme une preuve de l'expansion de l'univers et elle donna un fondement aux modèles à Big Bang. Depuis une dizaine d'années, il paraît acquis que cette expansion s'accélère¹¹. Cela est plutôt surprenant, car il semble que la matière, qui engendre une force de gravité attractive, aurait plutôt tendance à ralentir l'expansion de l'univers. Pour rendre compte d'une accélération, il faut invoquer la présence d'un acteur physique capable de contrer le jeu de la gravité. C'est le rôle de la constante cosmologique, initialement introduite par Albert Einstein (1879-1955) car il souhaitait construire un modèle d'univers statique, invariant dans le temps. Il la désavoua plus tard, au moment de la découverte de l'expansion de l'univers par Hubble. D'un point de vue pratique, la constante cosmologique¹² peut être associée à un fluide remplissant tout l'espace et dont l'énergie est négative, en opposition à la matière dont l'énergie est positive. Il s'agit donc d'une manière « d'antigravité ». Voilà un candidat idéal pour expliquer les manifestations de la Force ! Il est même possible d'être plus quantitatif, car les données collectées par les satellites WMAP

¹¹ La découverte de cette accélération a d'ailleurs valu le prix Nobel de physique en 2011 à S. Perlmutter, B. Schmidt et A. Riess.

¹² Aussi appelée dark energy, « énergie noire », par les Anglo-Saxons, cette constante cosmologique fait penser au dark side of the Force, le « côté obscur » de la Force.

et Planck¹³ ont permis de préciser la valeur de la constante cosmologique. Elle est non nulle et représente environ 68 % du contenu énergétique de l'univers. Cependant, sa densité est si ridiculement petite que, pour soulever R2D2 d'un mètre au-dessus du sol de Dagobah, comme il le fait lors de son entraînement, Luke doit mentalement collecter l'énergie contenue dans un cube de plus de 10 kilomètres de côté¹⁴. On comprend aisément que, même avec quelques minutes de concentration, il ait du mal à le faire ! Finalement, la Force pourrait bien être avec nous, mais quant à l'utiliser, c'est une autre paire de manches. Peut-être que la nouvelle interprétation de la Force proposée dans l'épisode I *La Menace fantôme* (G. Lucas, 1999) nous aidera à y voir plus clair.

Les mystérieux midichloriens

Dans cet opus de la saga, Qui-Gon Jinn (QGJ) nous révèle que la Force trouve son origine dans d'étranges êtres microscopiques nommés « midichloriens ». En réponse à une question du jeune Anakin Skywalker (AS), intrigué par l'origine de la Force, son mentor nous précise la nature de ceux-ci :

AS : *Que sont les midichloriens ?*

QGJ : *Les midichloriens sont des formes de vie microscopiques qui résident dans toutes les cellules vivantes et communiquent avec la Force.*

AS : *Ils vivent à l'intérieur de moi ?*

QGJ : *Dans tes cellules. Nous vivons en symbiose avec les midichloriens.*

En introduisant les midichloriens, George Lucas tente, au grand dam de ses fans, de donner une base plus scientifique à la Force. Mais cette explication relève-t-elle vraiment de la science ? Ces mystérieux midichloriens sont-ils plausibles ? Et quelle peut être leur nature ?

Pour commencer, notons que les midichloriens ne peuvent être des virus car ceux-ci sont plutôt considérés comme des parasites intracellulaires, alors que la définition de Qui-Gon est claire : les midichloriens sont des symbiotes. Pour tenter de préciser leur nature,

¹³ Ces deux satellites ont observé le fond diffus cosmologique, un rayonnement lumineux émis il y a 13,8 milliards d'années, au moment où l'univers en expansion est devenu transparent à la lumière. En ajustant le modèle cosmologique aux données obtenues, les astrophysiciens ont pu déduire l'âge de l'univers, le rythme de son expansion et son contenu en masse et en énergie.

¹⁴ Pour faire ce calcul, nous avons supposé que R2D2 a une masse de 100 kilogrammes et que la gravité de Dagobah est proche de celle de la Terre.

remarquons que le mot « midichlorien », forgé par Lucas, semble être un assemblage des mots « mitochondrie » et « chloroplaste », qui sont deux organites, c'est-à-dire deux structures spécialisées des cellules terriennes. La mitochondrie, dont la taille est généralement de l'ordre de quelques millièmes de mètres, récupère l'énergie fournie par les nutriments et la stocke sous forme de molécules d'ATP (adénosine triphosphate). La mitochondrie est donc l'usine énergétique des cellules à noyau, dites eucaryotes, aussi bien animales que végétales. En revanche, le chloroplaste est un organite spécifique des cellules végétales qui capte la lumière grâce à la chlorophylle qu'il contient. Le chloroplaste est donc à l'origine de la photosynthèse et joue un rôle important dans la transformation du carbone atmosphérique (gaz carbonique) en carbone organique (sucre). Le fait que mitochondrie et chloroplaste possèdent leur propre ADN suggère une origine exogène : ces organites seraient en effet les lointains cousins ou descendants de bactéries¹⁵ qui auraient été « adoptées » (et non phagocytées), voici 1,5 à 2 milliards d'années, par des cellules alors procaryotes (sans noyau) et dans lesquelles elles finirent par vivre en symbiose. Cette hypothèse de l'endosymbiose, publiée en 1967, a été appuyée par la découverte de l'ADN spécifique des mitochondries en 1980. Mais, même s'ils semblent partager des propriétés symbiotiques identiques aux organites connus sur Terre, la définition donnée par Qui-Gon Jinn suggère bien que les midichloriens sont des organismes à part entière et non des organites. On pourrait même les considérer comme des organismes mutagènes et, du point de vue microbiologique, les Jedi seraient alors des individus « porteurs », voire « vecteurs » si les midichloriens peuvent passer d'un Jedi à un autre. Une simple sérologie permettrait alors d'identifier le stade de contamination, voire le degré de contagion !

D'ailleurs, pour mesurer l'affinité du jeune Anakin avec la Force, Qui-Gon Jinn lui prélève une goutte de sang. Le fait que la présence de midichloriens soit quantifiable semble leur donner une base scientifique, si l'on en croit le physicien anglais Lord Kelvin (1824-1907) affirmant qu'il n'y a de science que de mesurable. Pour autant, l'explication ne relève pas tout à fait de la science, car elle rend compte d'un fait mystérieux, la Force, en faisant appel à un second mystère, les midichloriens. L'analyse de l'échantillon sanguin d'Anakin donne un

¹⁵ Les chloroplastes descendraient des cyanobactéries et les mitochondries des protéobactéries.

résultat de 20 000, mais sans qu'aucune unité ne soit précisée. Doit-on comprendre que le corps du jeune homme en contient cette quantité ? À moins que ce ne soit le contenu de la goutte de sang qui lui a été prélevée... Avec ce rapport clairement affiché entre nombre de midichloriens et affinité avec la Force, on peut aussi se demander, sans toutefois tomber dans l'eugénisme, pourquoi le conseil des Jedi n'établit pas une classification de ses ouailles, voire la mise en culture de super-Jedi ! L'intérêt clinique d'une classification serait évident pour la communauté Jedi, un peu comme avec notre groupe sanguin ou notre facteur Rhésus... Constatons aussi qu'il semble de fait possible de devenir Jedi par une simple transfusion sanguine !

Quoi qu'il en soit, le résultat d'Anakin est si élevé (supérieur à celui de maître Yoda !) que le conseil des Jedi, réuni sur Coruscant, se demande si le jeune héros qui, rappelons-le, n'a aucun père biologique, n'aurait pas été créé par des midichloriens pour rétablir l'équilibre de la Force dans l'univers. Cette vieille prophétie souvent citée dans *Star Wars* rappelle l'ancienne théorie de la « génération spontanée » qui stipulait que des êtres vivants complexes pouvaient apparaître sans ascendant, simplement à partir de matière inanimée. Selon ce principe erroné, les asticots et donc les mouches, par exemple, naîtraient de la décomposition de la viande ! Cependant, en supposant qu'Anakin ait réellement été « fabriqué » par des midichloriens, son cas reste tout de même fort intéressant pour la classification du vivant : notre héros passerait en effet du statut d'organisme pluricellulaire (un jeune humanoïde) à celui de super-organisme, colonie dont les individus très spécialisés — les zooties — seraient des midichloriens. Cette frontière entre organisme et super-organisme peut être floue aussi sur Terre. C'est par exemple le cas des siphonophores, groupe bien réel d'étranges cnidaires (« méduses ») qui vivent en colonie et dont les tentacules peuvent atteindre quarante mètres de long. Morphologiquement et fonctionnellement parlant, chacune des parties de cet organisme est tellement spécialisée dans la réalisation de tâches variées (locomotion, reproduction, nutrition, etc.) que les spécialistes se demandent encore si ces bestioles ne seraient pas plutôt des super-organismes...

Puisque les midichloriens affectent des Jedi de toutes espèces et de toutes planètes, ces organismes doivent aussi être des extrémophiles, capables, par exemple, de résister au vide interstellaire pour se propager. En cela ils évoquent certaines bactéries, comme *Serratia liquefaciens* ou la très célèbre *Escherichia coli* de nos intestins capables, en laboratoire, de résister à des conditions martiennes. Attention cependant à *Escherichia coli* : si elle nous permet de digérer toute sorte d'aliments, elle devient aussi une réelle menace pour peu qu'elle quitte notre système digestif.

Une fois passée dans le sang, la bactérie peut fort bien provoquer une septicémie ! L'analogie est-elle possible avec les midichloriens ? Ceux-ci deviennent-ils néfastes s'ils quittent leur milieu de prédilection, c'est-à-dire le système sanguin du Jedi ? Les Sith ne seraient-ils pas finalement des Jedi malades, dont les midichloriens auraient quitté le sang pour passer dans le tube digestif par exemple ? Si George Lucas, pour rendre prétendument plus scientifique l'origine de la Force, a osé l'analyse de sang d'un Jedi — en l'occurrence, le jeune Anakin —, Disney va-t-il se lancer dans l'analyse de selles d'un Sith ? La science progresserait grandement !

Les midichloriens sont aussi présents partout dans l'univers. Comment peuvent-ils survivre à un voyage dans l'espace avant de trouver l'âme sœur ? Une solution consiste à les imaginer enkystés, c'est-à-dire retournés à un stade d'organisation très simple — le kyste — protégé par une coque dure, et ayant stoppé ses fonctions vitales pendant un certain temps. Cette stratégie de survie est déjà adoptée par de nombreux organismes bien réels sur Terre : ainsi la graine, par exemple, rentre dans un état dit de dormance, et les petits crustacés du genre *Artemia*¹⁶ s'enkystent quand les conditions extérieures ne leur conviennent pas. Les midichloriens rappellent aussi les fameux tardigrades, ces pseudo-arthropodes minuscules — leur taille est de l'ordre d'une fraction de millimètre — capables de tolérer le vide spatial en entrant dans une léthargie protectrice nommée cryptobiose. Mais vu le nombre et l'éventail très large de Jedi et de leurs mondes d'origine (dont nous découvrons vraiment la diversité dans les épisodes II et III de la saga), on peut aussi se demander comment les midichloriens ont fait pour pulluler autant dans l'univers *Star Wars*. Une possibilité serait qu'ils aient été transportés par des météorites, des astéroïdes ou des comètes qui, selon l'hypothèse de la panspermie, auraient également apporté sur Terre certains acides aminés à l'origine de la vie. Vu les très grandes distances qui séparent les étoiles et les planètes, et donc les Jedi dans la galaxie, la dissémination et la divergence des midichloriens auraient pu se faire durant la jeunesse de l'univers. Et si l'ancêtre commun à toute forme de vie, le fameux LUCA (acronyme de *Last Universal Common Ancestor*), organisme archaïque hypothétique âgé de 3,6 à 4,1 milliards d'années, était un midichlorien ? Pour le coup, George Lucas serait véritablement un visionnaire !

¹⁶ Ceux qui lisaient le magazine Pif Gadget connaissent l'*Artemia* sous le nom de « Pifises » !

Quelle puissance

les Jedi extraient-ils de la Force ?

À défaut d'expliquer comment les midichloriens rendent leur hôte capable d'utiliser la Force, il est en revanche possible de quantifier les exploits qu'ils permettent. Commençons par examiner le cas de Maître Yoda. Il apparaît pour la première fois à l'écran dans l'épisode V *L'Empire contre-attaque* (I. Kershner, 1980). Il vit reclus sur la planète Dagobah et teste la patience de Luke Skywalker en se faisant passer pour une espèce endémique, sénile et farfelue, alors que le jeune Luke le recherche désespérément pour parfaire son apprentissage. Luke ne prend Yoda vraiment au sérieux que quand celui-ci, par sa seule maîtrise de la Force, parvient à sortir son vaisseau spatial, un X-Wing, du marais dans lequel il vient de sombrer. Quelle puissance le Maître Jedi doit-il produire pour réaliser cet exploit ? Si l'on suppose qu'un X-Wing a, en gros, les dimensions d'un avion de combat comme le Rafale, il doit faire une quinzaine de mètres de long pour une masse d'environ 20 tonnes à pleine charge. Cette valeur semble être un minimum car après tout, est-il bien raisonnable qu'un vaisseau interstellaire soit aussi léger ? Yoda l'extrait assez lentement du marais, à une vitesse que l'on peut estimer à une cinquantaine de centimètres par seconde en rapportant ses déplacements à sa taille. Si la gravité de Dagobah est voisine de celle de la Terre, la puissance nécessaire pour réaliser cet exploit est de l'ordre de 100 kilowatts, soit la puissance d'une voiture standard ! Par comparaison, quand Luke Skywalker s'entraîne en soulevant R2D2, qui doit peser une centaine de kilogrammes, d'un mètre en environ une seconde, il fournit une puissance de 1 kilowatt, un peu plus de deux fois supérieure à celle d'un cycliste professionnel en plein effort dans l'ascension d'un col. On comprend qu'il ait des progrès à faire...¹⁷

Si Yoda est capable d'exploits bien plus extraordinaires que de garer proprement un chasseur X-Wing, l'Empereur Palpatine fait aussi des démonstrations impressionnantes comme dans la scène de l'épisode VI où il torture Luke Skywalker pour le convaincre de rejoindre le Côté obscur. Alors que Yoda utilise la Force de façon antigravitationnelle, l'Empereur fait appel à celle-ci pour se transformer en un générateur de tension

¹⁷ Que ceux tentés de ricaner à propos de la faible puissance de Skywalker se rappellent qu'un humain mâle moyen n'est capable de produire durablement qu'une centaine de watts, à peine de quoi alimenter une ampoule à incandescence !

d'une dizaine de millions de volts. Pour évaluer la puissance produite par Palpatine, il faut aussi se faire une idée de l'intensité du courant, c'est-à-dire du débit des charges électriques — les électrons — qui circulent dans l'éclair. Si l'on considère que l'Empereur peut contrôler l'intensité du courant qu'il produit, il choisira d'abord une valeur qui lui permet de faire souffrir durement Luke Skywalker, pour le « convaincre », avant de lui infliger une intensité mortelle. En consultant les documents expliquant les effets biologiques d'un courant électrique continu¹⁸, on apprend que le seuil de perception du corps humain est de 2 milliampères. Pour des valeurs supérieures à ce seuil tout en restant de faibles intensités, une sensation de chaleur se produit dans les extrémités corporelles pendant le passage du courant. Des courants jusqu'à 300 milliampères passant à travers le corps pendant plusieurs minutes peuvent provoquer des arythmies cardiaques réversibles, des marques visibles, des brûlures¹⁹, des vertiges, voire une perte de connaissance. Au-dessus de 300 milliampères, le sujet perd connaissance. Si l'on suppose que l'Empereur commence par une valeur « raisonnable », mais déjà très désagréable, de l'ordre de 200 milliampères, il produit déjà une puissance de 2 mégawatts (soit 2 millions de watts) ! Et s'il s'énerve un peu pour atteindre une intensité de l'ordre de l'ampère, c'est plutôt 10 mégawatts que Palpatine est capable de produire grâce à la Force, soit la puissance nécessaire au fonctionnement d'un TGV Duplex ! L'Empereur se révèle bien un redoutable adversaire et Skywalker, avec son petit kilowatt, peut aller se rhabiller...



¹⁸ Notons que la fameuse chaise électrique fonctionnait avec du courant alternatif, appliqué plusieurs dizaines de secondes, avec une tension de 2 000 volts et une intensité de 5 ampères. Elle a été mise au point à la fin des années 1880 en pleine « guerre des courants » qui vit s'affronter Thomas Edison, créateur de la première usine de distribution d'électricité en courant continu, et George Westinghouse qui introduisit un réseau concurrent basé sur le courant alternatif. Aucun des deux ne voulait que « son » courant ne soit associé à la chaise électrique.

¹⁹ Notons d'ailleurs que la dissipation thermique due au courant électrique, nommée effet Joule, est manifeste dans le film car on voit le corps et les habits de Luke Skywalker fumer sous l'intensité des éclairs qui le frappent.