

## Un peu de physique dans votre BD ?

Roland Lehoucq

CEA Saclay, DRF/IRFU/Service d'astrophysique

À l'heure où la démarche d'investigation est préconisée pour l'enseignement des sciences de l'école primaire au lycée nous allons montrer comment la BD permet de la mettre en œuvre. Le but d'un travail en classe fondé sur la démarche d'investigation est de remplacer de façon efficace des conceptions initiales erronées ou fragiles par des connaissances plus solides en les ancrant dans un questionnement et une pratique active. Un autre enjeu est de motiver les élèves, d'éveiller leur intérêt et de les rendre actifs puisque la confrontation de leurs idées au monde physique, qui les amènera à les modifier, suppose une forte implication personnelle. Questions faussement naïves, expériences contre-intuitives, extraits de romans, images de films ou de BD, toutes sortes de situations de départ peuvent servir à lancer l'investigation. Une voie consiste alors à déterminer ce qui est vraisemblable, possible ou absurde. Une autre est d'enquêter pour déterminer des informations qui ne sont pas explicitement données. Parmi toutes les productions de l'imaginaire, la BD est sans aucun doute un bon support didactique car il est riche, proche d'un public scolaire et bien connu d'eux. Certaines images s'avèrent particulièrement efficaces pour semer un premier trouble dans leurs préjugés et mettre leur sagacité au défi. Mettons cette démarche en pratique avec l'album intitulé *3 secondes* de Marc-Antoine Mathieu pour évoquer et discuter la question de l'espace et du temps, au programme de Terminale scientifique.

### Vertige de l'espace et du temps

Si l'album *3 secondes* se présente comme une bande dessinée classique, sous la forme d'un enchaînement de cases, il en diffère par bien des points. Esthétiquement d'abord. L'usage du noir et blanc, l'absence de dialogue, ainsi que sa découpe stricte – 9 cases carrées par page sur 67 pages – lui donne un aspect austère, « mathématique » diraient certains. Narrativement ensuite. Dès la première page, le lecteur réalise que *3 secondes* est une série d'arrêts sur image successifs, étapes d'un *travelling* s'étendant sur tout l'album. La durée de cette plongée dans l'image initiale est précisément de 3 secondes, en temps de l'histoire. Les scènes semblent figées et le lecteur comprend rapidement qu'il est entraîné dans la folle trajectoire d'un rayon lumineux se réfléchissant sur toutes les surfaces miroirs qui s'interposent sur son trajet. Il traverse ainsi différentes scènes suggérant un complot dans le milieu du football et

aboutissant à un meurtre. Qui est le destinataire de la balle ? Quel scandale est à l'origine de ce meurtre ? Où sont les indices pertinents ? Autant de questions implicites auxquelles le lecteur doit répondre. Il découvre que *travelling* qui l'emmène est une vertigineuse mise en abyme de scènes s'imbriquant les unes dans les autres, vues sous différents angles et à différents moments, grâce au jeu des reflets de lumière. M.-A. Mathieu nous propose une œuvre à explorer, à parcourir comme un jeu de piste. La page de garde annonce d'ailleurs un « zoom ludique ». Au lecteur de sélectionner telle ou telle vue, de faire des rapprochements entre telle et telle scène, de décrypter la spatialité de chacune d'elles, à la recherche d'indices permettant de tirer le complot au clair. Une chose est sûre : cette intrigue n'est qu'un prétexte pour jouer avec le dispositif, avec la bande dessinée, et faire jouer le lecteur qui endosse le rôle d'un enquêteur. Mais un regard de physicien y ajoute une dimension supplémentaire.

### **Puissance de dix**

Revenons sur les informations dont dispose le lecteur : 67 pages de 9 cases, 33 réflexions sur des surfaces réfléchissantes. Première constatation, les reflets de rang impair sont bien inversés par symétrie miroir ! M.-A. Mathieu est manifestement au courant des lois de la réflexion et le lecteur doit se procurer un miroir de poche s'il veut, par exemple, facilement déchiffrer les articles de journaux représentés dans certaines cases. Cet effet d'imbrication fait penser au résultat obtenu avec une caméra filmant l'écran sur lequel elle est connectée, ce qui fait apparaître une suite infinie d'images successives de plus en plus petites. Mais là où ce dispositif n'est qu'auto-réflexif, l'album de M.-A. Mathieu propose plutôt une plongée dans un espace toujours changeant. Son zoom permanent évoque immédiatement le célèbre film « Les puissances de dix » réalisé par Charles et Ray Eames en 1977 et qui depuis a connu plusieurs avatars (Note : une magnifique version moderne et graphique de ce voyage à travers les échelles de taille est disponible sur <http://htwins.net/scale2/>). La comparaison des dimensions relatives entre la première et la dernière image d'une page permet d'estimer le facteur d'agrandissement qui les sépare : il est de l'ordre de dix. Extrapolé à l'ensemble de l'album, cela donne un facteur de total de l'ordre de  $10^{67}$  ! Cette valeur est bien supérieure aux 41 ordres de grandeurs qui séparent le proton ( $10^{-15}$  mètres) de l'univers observable ( $10^{26}$  mètres) que balayait le film du couple Eames. Partant de la première image qui est à l'échelle humaine, métrique, ce zoom titanesque permet d'aborder la question de l'apparence de la matière à très petite échelle, que le programme de Terminale scientifique aborde avec ses rudiments de physique quantique. Les particules élémentaires que nous connaissons -

électrons, photons, quarks, neutrinos, etc. - ne sont pas des objets de taille nulle. Elles sont bien sûr très petites, parfaitement invisibles à l'œil, mais ne sauraient pour autant être assimilées à des corpuscules représentables par des points géométriques. Mais la notion même de taille n'est plus strictement définie, comme en physique classique, lorsqu'il est question de particules. En effet, le formalisme de la physique quantique utilisé pour décrire la matière à toute petite échelle représente les objets par des entités mathématiques ayant une certaine extension spatiale qui n'est jamais nulle sans être une caractéristique intrinsèque des objets car elle dépend de leur état physique. Cette digression sur la description de la matière à petite échelle permet de signaler aux élèves que c'est un aspect que M.-A. Mathieu n'aborde pas et que, de toute façon, il serait bien en peine de le faire vu le fantastique zoom qu'il représente.

## **Relativité**

Autre point intéressant : le lecteur de *3 secondes* voit le monde « à cheval sur un rayon lumineux », pour reprendre les termes d'une expérience de pensée d'Einstein. Il fait un voyage spatio-temporel qui lui permet de voir la même scène sous différents angles mais aussi à différents instants. Exit le flash-back et le traditionnel « Pendant ce temps à la Havane, ... » qui suppose l'existence d'une simultanéité commune à tous les observateurs, ce qui est contraire à la relativité restreinte. Dans l'album, tous les événements montrés sont liés par la lumière qui, pendant les 3 secondes que dure le voyage, parcourt 900 000 kilomètres avec, pour atteindre cette valeur astronomique, un aller-retour dans l'espace au-delà de la Lune. Les événements relatés ne sont donc pas simultanés et l'analogie avec l'enquête policière classique est tentante : pour résoudre une affaire criminelle, il faut établir les emplois du temps respectifs de la victime et des suspects, notamment en reconstruisant leurs déplacements dans les heures ou les jours précédents le crime. Les physiciens nomment « ligne d'univers » ces trajectoires spatio-temporelles. Mieux, l'enquête que doit mener le lecteur ressemble étonnamment à celle que les cosmologistes font sur l'univers : les grands télescopes permettent de reconstruire les lignes d'univers de la lumière qu'ils captent, dont l'ensemble forme le « cône de lumière » du passé de l'observateur, sous-ensemble de l'univers compris comme l'ensemble de tous les événements spatio-temporels. Comme la vitesse de la lumière est finie, nous n'observons effectivement qu'une partie finie de l'univers, bornée par un horizon, nommé « univers observable ». De plus, cette observation se fait depuis un unique point de l'espace-temps, ici et maintenant. Nos observables étant limitées à notre cône de lumière du passé cela pose le problème de l'unicité de la

reconstruction de l'ensemble de l'univers à partir du seul univers observable (Note : Le même problème se pose à l'enquêteur de police, qui échafaude plusieurs scénarios cohérents avec les indices épars dont il dispose.). Actuellement, la reconstruction la plus cohérente est le modèle de concordance (i.e. majoritairement accepté par la communauté des astrophysiciens en 2016) qui décrit l'univers comme un espace en expansion accélérée, homogène, isotrope, infini et de géométrie euclidienne. Notons que la géologie est une autre science « historique », qui cherche à reconstruire un passé disparu à partir de fragments épars. Mais elle procède différemment en utilisant des données temporelles en un lieu donné, sa carotte spatiale se convertissant finalement en carotte temporelle. C'est la raison d'être de la stratigraphie qui permet notamment d'établir une échelle des temps géologiques. Comme les cosmologistes, les géologues se fondent sur des principes généraux : principe de continuité (une même couche a le même âge sur toute son étendue), principe d'actualisme (les structures géologiques passées ont été formées par des phénomènes agissant comme à notre époque) et principe d'identité paléontologique (deux couches ayant les mêmes fossiles sont considérées comme ayant le même âge).

Enfin, un physicien se demanderait « Qui mesure ces 3 secondes ? ». Cette question se pose car l'une des conséquences les plus spectaculaires de la relativité d'Einstein est que la durée qui sépare deux événements dépend de l'état de mouvement de celui qui la mesure (notion qui est aussi au programme de Terminale scientifique). Cela permet de définir la notion de durée propre, l'intervalle de temps séparant deux événements dans un référentiel inertiel où ils ont lieu au même endroit, plus courte que la durée mesurée par n'importe quel autre observateur. Cette prédiction de « dilatation des durées » a été amplement vérifiée sur des particules élémentaires qui se déplacent à des vitesses proches de celle de la lumière, notamment les muons produits par l'impact des particules cosmiques de haute énergie sur les molécules atmosphériques. Le rapport entre durée observée et durée propre tend vers zéro quand la vitesse tend vers la vitesse de la lumière. La durée de 3 secondes dont il est question dans l'album ne peut donc concerner le lecteur-lumineux. C'est donc certainement une durée mesurée dans le référentiel de la victime dont la balle se rapproche inexorablement en une succession d'instantanés apparaissant comme figés tant sa vitesse est faible par rapport à celle de la lumière.

Par sa structure et sa narration, l'album *3 secondes* bouscule des codes établis de la bande dessinée et développe la part ludique de ce support. Il sert aussi de prétexte à parler de sciences, celles qu'évoque sa narration : échelles d'espace, vitesse de la lumière et

simultanéité, mesure d'une durée. Il procure aussi le plaisir d'un vertige ressenti à la première lecture. Vertige d'une fuite en avant provoquée par ce *travelling* perpétuel, vertige de la vitesse, vertige de l'information, abolissant la possibilité d'un recul rendant vaines les tentatives d'arrêts sur image. Le sujet de *3 secondes* est aussi ce vertige, le même que l'on ressent devant l'immensité spatio-temporelle du cosmos.

On l'aura compris, si une BD ne permet nullement de faire un cours de sciences, elle constitue d'abord, par son attrait, un bon motivateur ou déclencheur de questions. Décaler son regard en passant par un monde imaginaire permet ensuite de mieux revenir à notre monde, le seul qui compte pour les sciences, pour en éclairer et en comprendre les mécanismes. De plus, la BD est un support qui autorise la mise en place d'une démarche d'investigation qui vise à « faire parler » l'œuvre au-delà de ce qu'elle affiche. L'élève découvre alors le plaisir lié à la maîtrise de ses connaissances, mais aussi celui de découvrir et de comprendre le monde.

## **Bibliographie**

Mathieu, M.-A. (2011) *3 secondes*, éditions Delcourt. Quelques pages sont visibles sur le site <http://www.editions-delcourt.fr/3s/index.php?page=album>

Lehoucq, R. (2008) Graines de Sciences 9, *Science et fiction*, éditions Le Pommier, collection La Main à la Pâte.