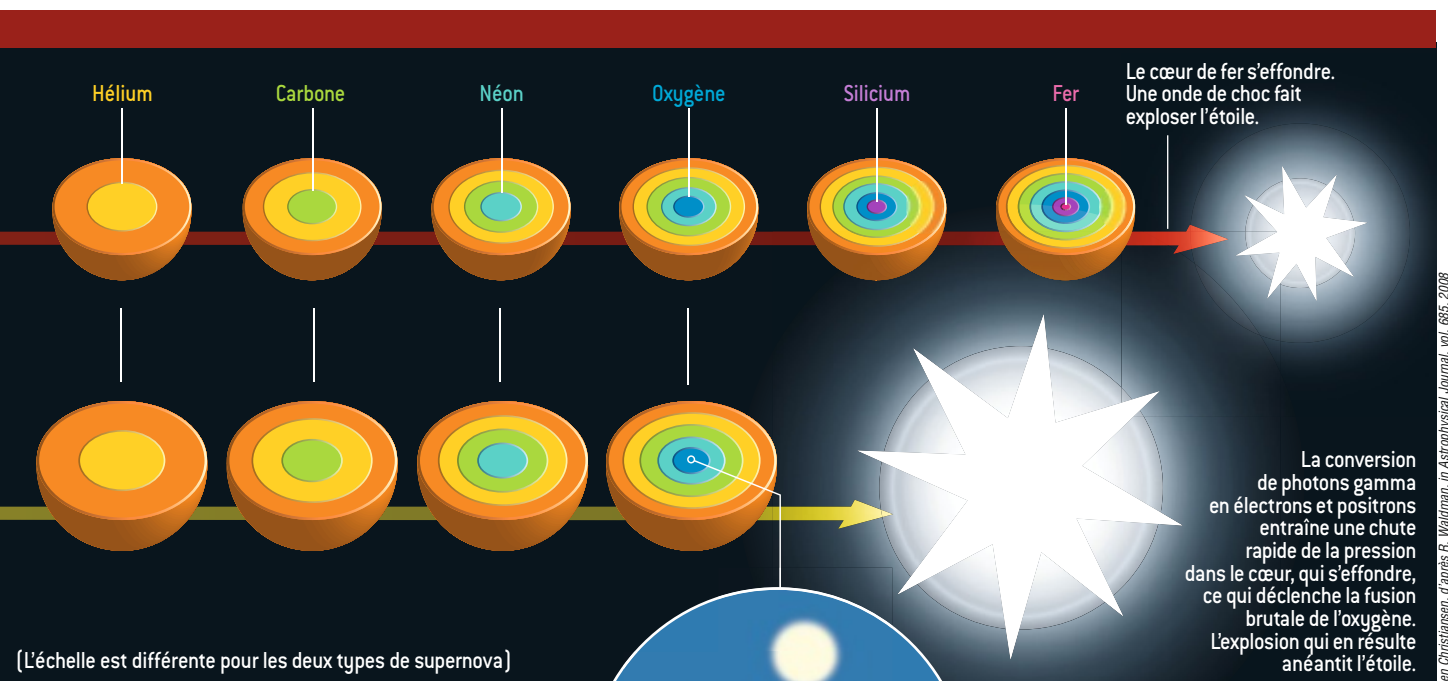




les. Mais trois ans plus tard, la supernova avait disparu, et nous pouvions faire un test simple: si notre candidat n'était pas l'étoile qui avait explosé, il devait être encore présent. D. Leonard et moi avons mené de nouvelles observations avec *Hubble* pour le vérifier. Et à la fin de 2008, nous en eûmes la certitude: l'étoile avait disparu. Ainsi, le précurseur de SN 2005gl était bien, selon toute vraisemblance, une étoile très lumineuse et très massive, semblable à Eta Carinae, une des géantes bleues les plus massives de la Voie lactée.

Ainsi, la théorie classique selon laquelle les étoiles hypergéantes perdent l'essentiel de leur masse avant de pouvoir exploser est contredite par au moins un cas. Des étoiles très lumineuses et très massives existent bien et explosent avant d'avoir perdu toute leur masse. Et si la théorie de la perte de masse est incorrecte, peut-être existe-t-il encore aujourd'hui des étoiles géantes qui exploseront un jour sous forme de supernovae par production de paires.

J'étais maintenant prêt à revenir sur le cas SN 2007bi et à y chercher des signes probants de supernova par production de paires. Avec toute une équipe, nous avons examiné cet événement sous tous les angles imaginables. Nous avons analysé en détail les spectres recueillis et l'évolution de la lumière émise, comparé les prédictions des anciens modèles d'explosion stellaire et les plus récents. Fin 2009, toutes les

analyses convergeaient vers une même conclusion: l'explication la plus plausible est que SN 2007bi est une supernova par production de paires.

Des événements rares, mais possibles

Depuis lors, trois autres événements qui seraient de bons candidats au titre de supernovae par production de paires ont été dénichés. Ce type de supernova semble excessivement rare, peut-être de l'ordre de 1 sur 100 000 supernovae, et concernerait des étoiles d'au moins 140, voire 200, masses solaires. Ces explosions sont les plus énergétiques que l'on connaisse, et elles sont le siège d'une énorme production d'éléments chimiques. Elles mériteraient le qualificatif d'«hypernovae».

Un des aspects fascinants de ce nouveau type de supernova est qu'elle nous laisse entrevoir l'Univers primordial. Les étoiles de première génération étaient de plusieurs centaines de masses solaires. Certains de ces poids lourds ont sans doute

explosé par production de paires. Ainsi, les cousins éloignés de certaines supernovae d'aujourd'hui ont peut-être été les premières explosions à ensemençer l'Univers en éléments lourds.

Nos travaux suggèrent non seulement l'existence d'un nouveau mécanisme d'explosion stellaire, mais ils signifient aussi que les étoiles hypermassives, bien que rares, existent dans l'Univers actuel, contrairement à ce que l'on pensait. Cela implique que l'enrichissement du milieu interstellaire en éléments lourds par les générations successives d'étoiles ne constitue pas un aussi grand frein à la croissance des étoiles que ne le pensaient les astrophysiciens.

Le programme d'étude des supernovae que P. Nugent et moi avons commencé à préparer en 2007 est maintenant en cours, et surnommé *Palomar Transient Factory*. Nous recherchons de nouveaux exemples d'explosions par production de paires. De fait, ce programme a permis de trouver l'un de nos derniers candidats, qui ressemble beaucoup à SN 2007bi. À mesure que les données s'accumulent, nous améliorons notre compréhension de ces explosions. Les instruments de demain, tel le télescope spatial *James Webb*, seront sans doute capables de voir des supernovae par production de paires très lointaines; et peut-être, un jour, la fin violente des premières étoiles formées dans l'Univers? ■

L'origine préhistorique

Marc Azéma

La représentation du mouvement, notamment avec les bandes dessinées et le cinéma, peut sembler une invention récente de l'humanité. Mais cette impression est trompeuse : comme nous le verrons, l'examen de nombre d'œuvres pariétales de la Préhistoire montre que les artistes du Paléolithique maîtrisaient déjà des techniques graphiques d'animation. Un premier exemple est le panneau des Lions de la grotte Chauvet (*ci-contre*). Toutes les images paléolithiques ne sont pas aussi dynamiques. Leur degré d'animation varie d'un site à l'autre, et suivant le style et les intentions de l'artiste. Il peut être nul à l'échelle d'un seul animal, mais l'absence apparente de mouvement est à relativiser. En effet, les animaux figurés, qu'ils soient statiques ou pas, participent souvent à une action collective qui, elle, est animée. Il arrive aussi qu'ils prennent vie lorsqu'on les observe sous un éclairage dynamique. À l'évidence, les artistes de la Préhistoire ont cherché à donner vie aux animaux qu'ils représentaient dans les cavernes.

► LE PANNEAU DES LIONS

Ces lions peints sur une paroi de la grotte Chauvet sont pleins de vie. En observant cette scène de chasse, on perçoit les mouvements de chaque lion, celui de la meute et même celui, apeuré, du troupeau de bisons qui s'enfuit... On constate avec étonnement que l'artiste talentueux qui, il y a 32 000 ans, a peint cette fresque, ne pouvait concevoir de ne pas en montrer l'essentiel : le mouvement des prédateurs en train de charger. Et pour cela, il a employé les mêmes conventions graphiques que les artistes d'aujourd'hui.

Jean Coates, équipe scientifique de la grotte Chauvet



Parce qu'ils représentaient des êtres animés – des animaux –, les artistes de la Préhistoire ont inventé, plus de 35 000 ans avant l'animation cinématographique, les techniques graphiques qui nous sont toujours familières.

du cinéma



Le panneau des Lions de la grotte Chauvet (Ardèche, 32 000 ans avant notre ère)



N. Aupiais - CNRS-MCC

Scène du puits de la grotte de Lascaux (Dordogne, 19 000 ans avant notre ère)

▶ LA REPRÉSENTATION DU MOUVEMENT

La « scène du puits » de la grotte de Lascaux montre un bison éventré sur le point de transpercer un homme en érection ; une tête d'oiseau est figurée sur un bâton (un propulseur ?) situé à côté de lui ; d'énigmatiques signes qui pourraient être des armes accompagnent le tout...

Cette scène est exceptionnelle, car, à de très rares exceptions près, les artistes chasseurs préhistoriques ne représentaient pas d'hommes (l'animal est d'ailleurs bien dessiné, mais pas l'homme !). Ils dessinaient plutôt des bisons, chevaux, cerfs, rennes, bouquetins, rhinocéros, mammouths, lions et autres ours, bref de grands mammifères de leur environnement. Ces images ont longtemps été perçues comme des symboles à combiner pour construire un langage unique et figé dans le temps. Or nous nous sommes rendu compte que les intentions de nos lointains artistes allaient bien au-delà : loin de se contenter de symboliser les animaux, ils voulaient aussi en représenter les mouvements et les émotions associées, telle la colère de ce bison... Plutôt que de symboles, nous préférons donc parler de modèles, et adoptons dans nos analyses une approche résolument naturaliste.

Ainsi, depuis 15 ans, nous analysons en détail les modèles animaux représentés sur les parois afin d'y mettre en évidence des mouvements. Pour les identifier et les classer, nous utilisons une approche éthologique : après avoir observé des animaux vivants comparables aux modèles paléolithiques, étudié leur biologie, leur anatomie et leur cinématique, nous recherchons les mêmes comportements dans les modèles préhistoriques. Nous avons ainsi mis en évidence bien plus de mouvements qu'on ne pensait. L'animation de compositions spectaculaires telles que la salle des Taureaux de Lascaux ou le panneau des Chevaux de Chauvet est perceptible d'emblée par la présence de phases rapides du mouvement animal (galop, saut...). Cependant, dans les mêmes grottes, d'autres compositions portent des expressions dynamiques subtiles, mais significatives, de mouvement animal. Ainsi, une posture d'oreille, de bouche ou de queue, qui suggèrent une animation, ne seront pas immédiatement perçues par l'observateur actuel. Pour une femme ou un homme préhistorique, en revanche, l'animation était évidente. Pour eux, percevoir et comprendre les comportements des animaux qu'ils côtoyaient ou chassaient au quotidien, même les plus discrets, était vital.



ANIMER LES IMAGES



Marc Azéma

À l'issue d'une recherche effectuée en 2003, nous avons montré que 41 pour cent des animaux paléolithiques des grottes ornées sont représentés en mouvement. À cette proportion élevée, s'ajoute celle des animaux apparemment statiques, mais potentiellement animés.

La lumière vacillante des torches, des lampes à graisse et autres feux utilisés par les artistes paléolithiques avait en effet un certain pouvoir d'animation. La lumière se réfléchissant de façon variable sur les volumes irréguliers des parois, les représentations pariétales statiques prenaient vie, ce qui participait à leur mise en scène. Ci-contre, la restitution d'une scène de peinture à la Baume Latrone (voir ci-dessous) donne une idée de la faiblesse des éclairages à la flamme des peintres préhistoriques.

Par ailleurs, il faut souligner qu'une caverne n'était pas un musée, où l'on contemple les œuvres toujours sous le même angle frontal, mais un espace où des observateurs en mouvement apercevaient les images pariétales sous des angles variés. Cette perception dynamique et tridimensionnelle des parois ornées participe à leur animation. C'est pourquoi, après avoir contemplé des milliers d'œuvres dans ces conditions, nous sommes parvenus à la conclusion que la plus grande partie du bestiaire pariétal devait être animée pour les artistes préhistoriques.

L'AUTEUR



Marc AZÉMA, préhistorien et réalisateur de films, est chercheur associé au CNRS (UMR 5608, TRACES, Toulouse-Le Mirail), et membre de l'équipe scientifique qui étudie la grotte Chauvet.

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Azéma, *La préhistoire du cinéma*, Errance, 2011.

M. Azéma, *L'art des cavernes en action*, tomes 1 et 2, Errance, 2009 et 2010.

N. Aujoulat, *Lascaux. Le geste, l'espace et le temps*, Seuil, 2004.

J. Clottes et al., *La grotte Chauvet : l'art des origines*, Seuil, 2001.



Marc Azéma, avec l'aimable autorisation de la mairie de Russan-Sainte Anastasie

Lions et mammouths du Grand plafond de la grotte de la Baume Latrone (Gard, 32 000 ans avant notre ère)



Bison à huit pattes de la grotte Chauvet (32 000 ans avant notre ère)

LA DÉCOMPOSITION DU MOUVEMENT

Les artistes de la Préhistoire ont poussé très loin la représentation du mouvement. Certains d'entre eux, sans doute plus doués que les autres, ont introduit une dimension supplémentaire dans leurs œuvres, le temps. Capturer un moment de vie, un instantané ne leur suffisait pas : ils ont aussi cherché à exprimer graphiquement le déroulement du mouvement animal dans le temps en le décomposant.

Les artistes de la Préhistoire ont inventé pour cela deux processus : d'une part, la réalisation d'images successives ; d'autre part, leur juxtaposition. L'invention et l'emploi de ces deux techniques prouvent qu'ils avaient pressenti l'existence de cette propriété majeure de la

perception visuelle qu'est la persistance rétinienne.

La rétine de l'œil humain a en effet la propriété de conserver une image lumineuse pendant environ 50 millisecondes après que l'image a disparu. Cette particularité explique que notre œil perçoive les mouvements de façon continue et non pas saccadée lorsqu'il capte une succession d'images instantanées. Décrit pour la première fois par Ptolémée au II^e siècle, puis par Al-Hazen au XI^e siècle, ce phénomène était manifestement aussi exploité au cours de la Préhistoire : parmi les milliers de figures animales que compte l'art paléolithique, plusieurs dizaines montrent des décompositions d'un

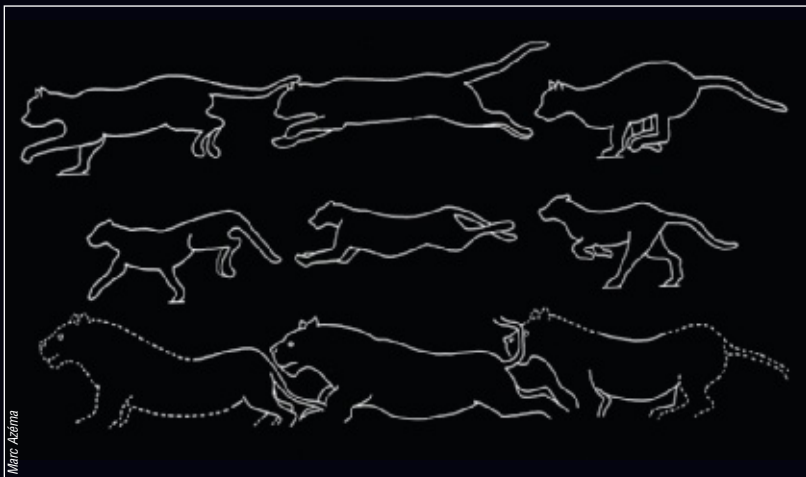
mouvement digne d'une bande dessinée. Parfaitement maîtrisé par l'artiste, cet effet visuel est le plus souvent exploité pour suggérer la trajectoire des membres, lesquels sont représentés aux phases extrêmes de leur mouvement afin de mieux signifier par exemple le cycle du galop ou celui du trot.

Très étonnant, ce type d'images se rencontre dans les plus grands sites d'art paléolithique : Chauvet, Lascaux, Altamira, Les Trois-Frères ou Foz Côa, ainsi que dans l'art mobilier, par exemple celui des grottes de la Marche ou de la Vache, autrement dit à toutes les périodes de l'art des cavernes et sur tous les supports conservés.





Fragment de la frise des lions de la grotte de la Vache (Ariège, 11 000 ans avant notre ère)



DES SÉQUENCES NARRATIVES



Bouquetin de l'abri du Colombar (Ardèche, 12 000 ans avant notre ère)

Parfois, les effets de décomposition sont poussés encore plus loin, pour en quelque sorte raconter une action. Ainsi, pour représenter un bouquetin en marche, l'auteur d'une gravure de l'abri du Colombar, en Ardèche (12 000 ans avant notre ère) a choisi de traiter ses membres en contours multiples, de sorte que le mouvement est suggéré, ou plutôt représenté en détail par toute une série d'images successives.

Trouvée dans la grotte de la Vache en Ariège, qui a livré plus de 200 œuvres d'art mobilier (bois et os de rennes gravés), la frise des lions est encore plus significative. D'après son étude attentive, en effet, la succession de félins gravés sur cette côte de bovidé explicite probablement la course d'un seul individu.

De telles conventions graphiques sont immédiatement intelligibles, comme pour le lecteur actuel de bandes dessinées ou celui du *Codex atlanticus* de Léonard de Vinci qui décompose le vol animal.

La contemplation de pareilles images déclenche dans le cerveau un réflexe de reconstitution du mouvement évoqué. Manifestement, les artistes préhistoriques voulaient créer des animations mentales, c'est-à-dire exploiter cette activité réflexe du cerveau pour évoquer, par exemple, non pas trois félins indépendants, mais la course d'un seul et même lion ! Comme nous l'avons déjà signalé, le spectateur préhistorique de ces images pouvait en accentuer l'effet par le jeu des éclairages, par exemple en balayant la séquence avec la lumière de sa flamme...





Passé simple



LE TOUT PREMIER... PRÉCINÉMA



Face

Musée d'art et d'archéologie du Périgord, Miquel Pègibet

La rondelle aux chamois de l'abri de Laugerie-Basse (Dordogne, 15 000 ans avant notre ère)



Revers

Puisque animer leurs images d'animaux était si essentiel pour les artistes préhistoriques, ont-ils aussi inventé le cinéma animalier ? Non, mais presque. Dès 1991, nous avons pensé que des mécanismes primitifs conçus pour animer les images devaient avoir existé dans la Préhistoire. L'observation d'une petite plaquette en schiste abandonnée il y a quelque 15 000 ans dans la grotte d'Isturitz, dans les Pyrénées-Atlantiques, nous en a alors fourni un début de confirmation.

Cet objet d'époque magdalénienne porte sur chaque face une image de renne représenté dans une position différente : debout d'un côté, couché sur l'autre. La succession rapide des deux images, par rotation de la main ou à l'aide d'un cordage, semblait pouvoir produire un effet de reconstitution montrant l'animal se coucher, puis se relever.

En 2007, le travail d'un ami paléo-expérimentateur – Florent Rivière – nous a permis de confirmer cette hypothèse. F. Rivière a fait apparaître par l'essai que toute une catégorie d'objets jusque-là considérés comme des boutons ou des pendeloques, pouvait en fait avoir eu une tout autre fonction. En effet, plusieurs rondelles en os provenant de l'art magdalénien de Dordogne et des Pyrénées portent sur chaque face des images correspondant à des phases successives du

mouvement d'un même animal. Après avoir obtenu des fac-similés de ces objets, F. Rivière a cherché comment les actionner pour animer l'animal représenté.

Nous nous sommes ainsi rendu compte que la rondelle « aux chamois » de l'abri de Laugerie-Basse pouvait, si l'on sait s'y prendre, être lancée sans grands efforts dans un mouvement de rotation rapide. La manipulation implique de faire passer par la perforation centrale [ou périphérique] une corde torsadée, puis de la tendre en la tenant de chaque côté à l'aide de la pince formée par l'index et le pouce (*ci-dessus*). Si on frotte alors la corde à la faveur d'un mouvement avant-arrière de ces deux doigts, la rondelle se met à pivoter très vite autour de la corde tendue, ce qui anime le chamois.

De tels jouets optiques qui exploitent le phénomène de la persistance rétinienne existent dans notre culture depuis le XIX^e siècle, c'est-à-dire depuis l'époque du précinéma... On les nomme des thaumatropes (du grec *thauma* signifiant « prodige » et *tropion* signifiant « tourner »). On pensait jusque-là que leur principe, l'ancêtre de celui de la caméra de cinéma, avait été inventé en 1825 par l'astronome anglais John Herschel. Il semble qu'il soit plus de 15 000 ans plus ancien...

CLAP DE FIN !

Revenons un instant à la séquence de chasse léonine ouvrant l'article. Dans le contexte de la Salle du Fond de la grotte Chauvet, elle peut être mise en relation avec d'autres séquences mettant en scène les lions des cavernes. Une phase précédente est présente, où des lions à l'affût sont prêts à bondir sur leurs proies ; une phase suivante aussi, où un lion pose sa mâchoire sur la tête d'un bison comme pour le dévorer ; finalement, la même salle comprend une phase de pré-accouplement, où la copulation à venir – jamais vraiment représentée dans l'art pariétal – est suggérée par la posture des animaux.

Tout cela illustre une fois de plus ce que l'on saisit de mieux en mieux : les hommes paléolithiques ont utilisé l'image narrative pour célébrer des épisodes marquants du cycle de vie de leurs animaux-modèles, tels de grands rassemblements liés à la saison du rut, leurs déplacements saisonniers, leurs actes de prédation. La narration de tous ces épisodes marquants de la vie animale a pu, selon nous, refléter (symboliser ?) dans leur esprit les aspects fondamentaux de leur propre existence (vie/mort). Par ce premier niveau

d'interprétation, nous avons voulu démontrer l'existence du premier médium visuel de l'humanité, empreint de naturalisme mais dont la charge mythologique, voire symbolique, nous échappe (animisme ? chamanisme ? religion ?).

Le cinéma est aujourd'hui en mutation. D'une part, il explore et expérimente son avenir à travers des œuvres, telles qu'*Avatar*, qui convoquent toutes les innovations du virtuel, de la 3D et des jeux vidéo. D'autre part, il célèbre ses origines historiques avec des œuvres telles que *The artist* ou *Hugo Cabret*. Il pourrait en fait tout autant célébrer ses origines préhistoriques, puisque le spectacle des images pariétales, jeu d'ombres et de lumières associant narration graphique, animation séquentielle, chants et paroles, suggère une origine du septième art, ou tout au moins de ses concepts fondateurs, beaucoup plus ancienne qu'on ne le pensait. Dans cette perspective, l'invention de la photographie au XIX^e siècle apparaît désormais comme l'ultime déclencheur nécessaire pour libérer enfin tous les films contenus en germe dans près de 400 siècles de traditions artistiques !

Rendez-vous sur

POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence de l'actualité scientifique internationale

- Retrouvez gratuitement les actualités scientifiques quotidiennes.
- Nouveau ! Écoutez nos entretiens audio ou téléchargez-les.
- Recevez nos lettres d'information et réagissez aux articles en vous inscrivant sur www.pourlascience.fr/newsletters
- Consultez les archives de tous nos magazines depuis 2004.
- Accédez aux numéros numériques compris dans votre abonnement en créant votre compte.
- Suivez notre actualité en direct :



<http://www.pourlascience.fr/rss>



<http://twitter.com/pourlascience>



<http://www.pourlascience.fr/pls-facebook>



À très bientôt sur www.pourlascience.fr !