

La Terre, le Temps, le Vivant

Histoire de la Vie et Évolution

Les auteurs dédient ce DVD à la mémoire de Bernard Le Vot en se souvenant de sa passion pour le sujet.

INTRODUCTION

Le concept d'Évolution est un concept majeur pour les sciences de la vie et de la terre. Il tient donc une place importante dans les programmes des collèges et des lycées. C'est une partie difficile à enseigner, particulièrement « L'histoire de la vie ». Les enseignants ne se sentent pas très « sûrs » dans leur pratique (« Comment faire ? » revient souvent dans les demandes des professeurs au collège¹). Elle est aussi difficile à illustrer : les exemples très pédagogiques sont souvent dans les musées, les démonstrations délicates à mener en classe, les reconstitutions fantaisistes (Jurassic Park!) ou anciennes. Enfin, elle est difficile à cerner dans sa totalité car elle implique des spécialités et des domaines très divers (biologie, paléontologie, génétique, biochimie, embryologie, zoologie, anthropologie, botanique...). Il est donc intéressant de profiter des capacités de stockage permises par le DVD pour réunir sur un même support des données jusque-là éparses ou peu accessibles, de son système de navigation pour « aller et venir » facilement d'un événement à un autre², enfin de la notice qui l'accompagne avec ses pistes d'exploitation.

1 Propos rapporté par Bernard Le Vot, inspecteur général de SVT.

2 La notion de temps est difficile à appréhender en géologie. La navigation « verticale » permise par le DVD facilite l'acquisition de cette notion.

ARBORESCENCE

- LE TEMPS D'UNE HISTOIRE
- L'HISTOIRE DE LA VIE
- TOUS PARENTS
- L'ÉVOLUTION
- LA PLACE DE L'HOMME
- OUTILS ET MÉTHODES

LE TEMPS D'UNE HISTOIRE

- Après le déluge
- L'origine de la vie sur Terre
- La tête de l'ancêtre
- La vallée des dinosaures
- Le livre de pierre
- Nos cousins les animaux
- L'escargot des haies
- Le choix de la mouette
- Les moustiques et les insecticides

L'HISTOIRE DE LA VIE (V)

- Avant l'ère primaire
- L'ère primaire
- L'ère secondaire
- Les ères tertiaire et quaternaire

TOUS PARENTS (P)

- Recréer un aurochs
- La famille des rhinocéros
- La famille des lézards
- Les pattes des baleines
- Phylogénie des rats
- Gènes en commun
- Ressemblance ?
- Les cousins de la tanche
- Evolution moléculaire
- Les ancêtres du cheval
- Le buisson humain
- Iguanodon et compagnie
- L'évolution des mammifères
- Archéoptéryx

L'ÉVOLUTION (E)

- L'histoire
- Des faits aux explications

LA PLACE DE L'HOMME (H)

- Homme et chimpanzé
- Bipédie simiesque
- Le bassin de Lucy
- La position du crâne
- Dents des singes et des hommes
- Capacité crânienne
- Paroles
- Les mâchoires d'un paranthrope
- Les dents d'un paranthrope
- L'usure de l'émail
- L'épaisseur de l'émail
- Approche chromosomique
- Darwin, le singe et l'homme
- Le buisson humain
- La question des origines
- Découvertes récentes
- Les forces évolutives
- Chimpanzéisation ?
- Les débuts de l'élevage
- La domestication des animaux

OUTILS ET MÉTHODES (O)

- Des mammouths dans la glace
- Biologiste de terrain
- La méthode Cuvier
- La méthode Lamarck
- Électrophorèse et morphométrie
- Abre phylogénétique
- Séquençage
- Approche chromosomique
- L'usure de l'émail
- L'épaisseur de l'émail
- L'analyse des faunes
- À qui appartient cet os ?
- Du dépôt au gisement
- Un gisement de dinosaures
- Les œufs des dinosaures
- Fossilisation
- Fossile stratigraphique
- Datation relative
- Datation absolue
- Reconstituer le milieu
- La sarigue de Cuvier
- L'analyse des micrométéorites
- Expériences dans l'espace

AVANT L'ÈRE PRIMAIRE

- La formation du système solaire
- La terre primitive
- L'atmosphère primitive
- Les débuts de la vie
- L'escargot des haies
- Soupe primitive
- Le dioxygène de l'air
- Stromatolites
- La cellule eucaryote
- Le globe au précambrien
- La faune d'Édiacara

L'HISTOIRE

- L'explication de la Bible
- L'explication de Cuvier
- L'explication de Lamarck
- L'explication de Darwin
- L'évolution des idées
- La domestication des animaux
- Les débuts de l'élevage

L'ÈRE PRIMAIRE

- Le globe au primaire
- L'explosion cambrienne
- Les trilobites
- Une mer au dévonien
- Sortie des eaux
- La forêt houillère
- La crise permo-triasique

L'ÈRE SECONDAIRE

- Le globe au secondaire
- Une mer au jurassique
- Les ammonites
- Iguanodon et compagnie
- Les dinosaures
- Le Languedoc
- Archéoptéryx
- Premiers mammifères
- Premiers primates
- Premières fleurs
- Une mer au crétacé
- La crise crétacé-tertiaire

LES ÈRES TERTIAIRE ET QUATERNAIRE

- Le globe au tertiaire et au quaternaire
- L'évolution des mammifères
- Les ancêtres du cheval
- Premiers hominidés
- Glaciations
- Le buisson humain
- Changement de climat
- Les débuts de l'élevage

DES FAITS AUX EXPLICATIONS

- Du sanglier au cochon
- Recréer un aurochs
- La nutrition des rhinocéros
- Changement de climat
- Archéoptéryx
- Les ancêtres du cheval
- Deux espèces de souris
- L'escargot des haies
- Moustiques résistants
- Moustiques mutants
- Choisir le bon mâle
- Transmettre ses gènes
- Les gènes
- Le développement du développement
- Évolution moléculaire
- Les mammouths nains
- L'ibis de Cuvier
- L'ibis de Lamarck
- Phylogénie des rats
- Les forces évolutives

(V) = L'histoire de la vie
(P) = Tous parents
(E) = L'évolution
(H) = La place de l'Homme
(O) = Outils et méthodes

Ce DVD propose un panorama de l'étendue du sujet et de la variété des domaines concernés à travers un choix de films entiers (**Le temps d'une histoire**), extraits des séries *Histoires d'évolution*, *Histoires géologiques* et *Limites de recherche*. Pour donner cohérence à **L'histoire de la vie**, il lui offre une colonne vertébrale, un axe des temps. Cet axe permet de raconter à la fois la longue histoire de la vie et les événements géologiques qui lui sont intimement liés. Cette partie est notamment illustrée par 13 séquences tournées à la galerie de paléontologie et d'anatomie comparée du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, avec l'aide des scientifiques de cet établissement. L'évolution biologique fait l'objet de deux parties : l'une insiste sur les liens de parenté entre les êtres vivants (**Tous parents**), l'autre sur les mécanismes (**L'évolution**). Une autre partie s'intéresse plus particulièrement à l'évolution humaine (**La place de l'Homme**). Enfin, le DVD recense plusieurs **Outils et méthodes** dans une dernière rubrique.

DESCRIPTION DES SÉQUENCES

LE TEMPS D'UNE HISTOIRE

Après le déluge (13 min 20s)

Jusqu'au XVIII^e siècle, l'Homme s'appuyait sur la Bible pour expliquer les phénomènes touchant les êtres vivants. Mais les fossiles posaient de plus en plus de problèmes : **L'explication de la Bible (E)**. Inventeur de l'anatomie comparée, le zoologiste et paléontologiste Georges Cuvier comparait notamment l'anatomie des grands quadrupèdes actuels et fossiles : **La méthode Cuvier (O)**. Selon lui, les espèces n'évoluaient pas. Il expliquait la disparition de certaines d'entre elles par des séries de catastrophes qui pouvaient s'accorder avec le déluge décrit dans la Bible – théorie du catastrophisme : **L'explication de Cuvier (E)**. Pour affirmer sa théorie de la fixité des espèces dans le temps, il s'appuyait sur le fait que les ibis trouvés dans les sépultures égyptiennes ne montrent aucune différence avec les espèces actuelles : **L'ibis de Cuvier (E)**. Quant au naturaliste Lamarck, il étudiait surtout les invertébrés fossiles, en les rapprochant des espèces actuelles : **La méthode Lamarck (O)**. Il a ainsi envisagé que le milieu extérieur (nourriture, climat) agissait sur les espèces qui se transformaient pour s'adapter aux nouvelles conditions de vie – théorie du transformisme : **L'explication de Lamarck (E)**. Pour répondre à l'argument de Cuvier sur les ibis, il expliquait que si ces derniers n'avaient pas changé, c'est que le climat n'avait lui-même pas changé et que le temps écoulé était très court : **L'ibis de Lamarck (E)**. Plus tard,

Les titres en gras renvoient aux parties : **L'histoire de la vie (V)**, **Tous parents (P)**, **L'évolution (E)**, **La place de l'Homme (H)**, **Outils et méthodes (O)**.

observant les espèces vivantes, le naturaliste Charles Darwin expliquera que le moteur de la transformation des espèces est la sélection naturelle qui permet aux individus les mieux adaptés de survivre et ainsi de transmettre leurs caractères : **L'explication de Darwin (E)**. Pour Darwin, l'Homme a subi les mêmes évolutions que les autres êtres vivants, théorie qui suscitera de nombreuses critiques : **Darwin, le singe et l'homme (H)**. Progressivement les théories du déluge et du transformisme seront abandonnées au profit de celle de Darwin : **Évolution des idées (E)**.

L'origine de la vie sur Terre (05 min 00s)

Les scientifiques pensent que la vie sur Terre a commencé dans les océans où des systèmes chimiques sont apparus et ont pu évoluer : **Les débuts de la vie (V)**. Les molécules de la vie ont pu se former près des sources hydrothermales au fond des océans, ou bien le matériel est venu d'ailleurs, notamment des micrométéorites : **Hypothèses contradictoires (O)**. En effet, les micrométéorites tombées sur la Terre contiennent des argiles et des acides aminés qui, combinés à l'eau, suffisent à produire des molécules conduisant à la vie : **L'analyse des micrométéorites (O)**. Pour tester « l'hypothèse micrométéorite », une contre-expérience a été tentée : la mission spatiale franco-russe PERSEUS a exposé des acides aminés terrestres aux conditions régnant dans l'espace. D'après l'exobiologiste André Brack, les premiers résultats semblent plutôt positifs : **Expériences dans l'espace (O)**.

La tête de l'ancêtre (11 min 50s)

Depuis Darwin, on pensait que l'Homme descendait de singes, que l'on imaginait semblables à des singes actuels. Puis, on a supposé que les ancêtres des grands singes vivaient dans les forêts, à l'ouest de la vallée du Rift africain, alors que les ancêtres des hommes seraient quant à eux apparus dans les régions sèches situées à l'est du Rift. Des ancêtres des hommes ont depuis été trouvés à l'ouest de la vallée : **La question des origines (H)**. La séparation des espèces ancestrales des hommes à l'est du Rift et des grands singes à l'ouest ne peut être maintenue : des australopithèques, les plus anciens « pré-humains », ont été trouvés à l'ouest de la vallée. Cinq espèces d'australopithèques sont connues. Elles ont coexisté – l'évolution des ancêtres de l'Homme est « buissonnante » : **Découvertes récentes (H)**. Les chromosomes des hommes et des différents singes peuvent être comparés finement et révéler l'ordre de séparation de ces espèces. On reconstitue un « arbre » qui montre, en particulier, qu'hommes, chimpanzés, bonobos et gorilles proviennent d'une même population ancestrale : **Approche chromosomique (H) (O)**. Les mutations des gènes et la sélection naturelle expliquent l'évolution, mais elles ne sont pas les seules causes. Le hasard a une forte influence sur la transmission de certains gènes d'une géné-

ration à l'autre : **Les forces évolutives (H) (E)**. Peut-être les ancêtres des hommes et des singes se tenaient-ils debout et avaient-ils la face arrondie. Issus d'un ancêtre bipède, les chimpanzés seraient alors devenus quadrumanes : **Chimpanzéisation ? (H)**.

La vallée des dinosaures (07 min 15 s)

Dans les couches sédimentaires du Languedoc, des chercheurs extraient des os et des œufs fossiles des dinosaures *Ampelosaurus*, *Rhabdodon* et *Velociraptor* : **Un gisement de dinosaures (O)**. Enfouis dans la vase et le sable après la mort de l'animal, les os se sont imprégnés de matière minérale : ils se sont fossilisés et se trouvent pris dans la roche consolidée. Actuellement, on peut voir comment un tel enfouissement peut se produire, avec des os de mammifères pris dans les dépôts d'une rivière. La couche qui contient les os de dinosaures fossiles a été recouverte par d'autres strates. Puis, la rivière Aude s'est installée, a creusé progressivement sa vallée, et le gisement s'est trouvé dégagé : **Du dépôt au gisement (O)**. Des œufs de dinosaures, pondus près de la rivière en période sèche, ont été recouverts au moment des crues. Ils se sont trouvés fossilisés et pris dans la roche : **Les œufs de dinosaures (O)**. Au laboratoire, on reconstitue les os fossiles, on les compare avec des ossements actuels. On détermine aussi des fossiles de petites tailles : en particulier des dents de poissons, de crocodiles... Associés à des fossiles végétaux apparentés à des espèces actuelles de climat chaud, ces fossiles permettent de reconstituer l'environnement dans lequel les dinosaures évoluaient et poussaient leurs œufs. Il est bien difficile de déterminer quelle espèce de dinosaure a pondus les œufs fossiles que l'on a ramassés : **Reconstituer le milieu (O)**.

Le livre de pierre (03 min 40 s)

Près de Socca (dans le Sud-Ouest de la France), on observe des roches sédimentaires qui forment une succession de strates redressées par des mouvements tectoniques et dégagées par l'érosion. Les fossiles qu'elles contiennent – sortes d'oursins, ammonites, microfossiles – donnent des indications sur leurs conditions de dépôt et permettent de dater leur formation (entre - 80 et - 60 millions d'années) : **Une mer crétacé (H)**. Dans la succession des strates observées à Socca, un changement important se révèle au niveau de - 65 millions d'années. Les ammonites disparaissent. Les fossiles d'espèces planctoniques sont différents. L'abondance particulière en iridium dans une mince couche située à ce niveau laisse à penser que la cause de ces changements peut être attribuée soit à une formidable éruption volcanique, soit à un impact de météorite. Dans un cas comme dans l'autre, un énorme nuage de poussières aurait rendu la vie particulièrement difficile. La limite entre l'ère secondaire et l'ère tertiaire a été fixée à ce moment : **La crise crétacé-tertiaire (H)**.

Nos cousins les animaux (09 min 55 s)

Les récepteurs olfactifs de l'abeille et des mammifères tels que la souris et l'homme présentent de nombreux points communs. De même, on trouve des gènes du développement identiques chez la drosophile et la souris. Le développement embryonnaire est sous contrôle de ces gènes qui déterminent ce que deviennent chaque partie de l'embryon : **Les gènes du développement (E)**. Les gènes des récepteurs olfactifs comme ceux du développement ont été transmis au cours de l'évolution des espèces, ce qui explique qu'on peut les trouver chez des espèces aussi éloignées que les abeilles et les hommes : **Gènes en commun (P)**. Les ressemblances entre deux espèces permettent d'établir des liens de parenté : plus il y a de différences, plus l'ancêtre commun est éloigné. Mais parfois ces ressemblances sont trompeuses : par exemple, le dipneuste est plus proche des vertébrés quadrupèdes que des poissons téléostéens : **Ressemblance ? (P)**. L'étude de la comparaison des gènes permet de retrouver des liens de parenté entre des espèces de poissons. Ces gènes sont d'abord dupliqués après isolement de l'ADN, puis les différentes copies sont séparées par électrophorèse. Ainsi peut-on reconstituer leur séquence et les comparer à d'autres gènes : **Séquençage (O)**. La tanche se trouve donc plus proche du goujon qu'elle ne l'est de la carpe : **Les cousins de la tanche (P)**.

L'escargot des haies (04 min 10 s)

L'étude des enclumes à grive montre que ces oiseaux mangent préférentiellement des escargots des haies à coquilles unies, plutôt que des escargots à coquilles rayées : **Les grives et les escargots (E)**. Le caractère rayé paraît donc avantageux et le milieu semble sélectionner certains caractères : c'est la sélection naturelle. Mais il n'y a pas que les prédateurs qui agissent et le facteur (la température par exemple) agit aussi sur la sélection des escargots à coquille rayée cette fois : **La température et les escargots (E)**.

Le choix de la mouette (08 min 05 s)

Un exemple de sélection sexuelle : dans une population de mouettes tridactyles, les femelles s'accouplent souvent avec un mâle différent de celui avec lequel elles élèvent leur couvée : **Choisir le bon mâle (E)**. Le biologiste Étienne Danchin cherche à comprendre pourquoi. Il capture les mâles et mesure les paramètres physiques qui pourraient intervenir dans le choix des femelles comme la couleur du fond de la gorge. Les mâles parasités présentent une gorge moins colorée que les individus en parfaite santé : **Biologiste de terrain (O)**. L'étude montre que les femelles s'accouplent préférentiellement avec les mâles sains et, à cause de leur nombre insuffisant, élèvent leurs petits avec des mâles parasités. Ainsi, leurs gènes seront transmis avec un maximum d'efficacité : **Transmettre ses gènes (E)**.

Les moustiques et les insecticides (05 min 35s)

Pour lutter contre les moustiques en Camargue, on a utilisé des insecticides. On a observé qu'il fallait utiliser des doses de plus en plus fortes, ce qui montrait des phénomènes de résistance aux insecticides chez ces moustiques : **Moustiques résistants (E)**. L'emploi des insecticides a permis d'isoler des populations de moustiques de plus en plus résistante aux insecticides. Cette résistance est d'origine génétique, car des gènes contrôlent la production d'anti-insecticides. Des mutations ont permis de produire de plus en plus d'anti-insecticides. Ces erreurs génétiques ont ensuite été favorables aux insectes traités : **Mutations et sélection (E)**.

L'HISTOIRE DE LA VIE**Avant l'ère primaire****La formation du système solaire (02 min 40s)**

À partir d'un nuage moléculaire ayant subi un choc gravitationnel, une étoile s'est formée, entraînant autour d'elle, dans un mouvement circulaire, une nuée de particules. Les chocs répétés entre ces particules ont conduit la plupart d'entre elles à s'agglomérer progressivement les unes aux autres, en masses de plus en plus grosses, les planétésimaux. Pendant des millions d'années, l'accrétion des planétésimaux s'est poursuivie, donnant naissance aux planètes silicatées, comme notre Terre, et gazeuses, comme Jupiter. Les astéroïdes constituent un reste de ce passé très lointain.

La terre primitive (01 min 40s)

La comparaison de la composition de différentes météorites avec celle de très anciennes roches terrestres et de roches venues du manteau suggère que la Terre primitive possédait la composition des météorites primitives, nommées chondrites.

L'atmosphère primitive (02 min 20s)

Les gaz piégés dans les météorites primitives permettent de reconstituer l'atmosphère primitive de façon approchante. Cette « protoatmosphère » s'est probablement perdue en partie, en particulier à cause des abondants bombardements de météorites qui ont persisté. En revanche, les météorites, et aussi les comètes, ont ainsi complété la composition de la surface de la Terre et fourni de l'eau qui a plus ou moins participé à la formation des océans. Il y a 4,3 milliards d'années, cette atmosphère des débuts s'est stabilisée.

Les débuts de la vie (01 min 15s)

Les scientifiques pensent que la vie sur Terre a commencé dans les océans où des systèmes chimiques sont apparus et ont pu évoluer.

Soupe primitive (01 min 20s)

L'apparition de molécules organiques constituant des cellules peut s'expliquer selon différentes hypothèses. Lors d'une expérience historique, Stanley Miller, en

1953, a obtenu des acides aminés en créant des conditions expérimentales supposées proches des conditions qui régnaient sur Terre il y a 4 milliards d'années.

Le dioxygène de l'air (00 min 45 s)

En différents points de la planète, on retrouve des fossiles de colonies bactériennes formant des stromatolites. Ces bactéries produisaient des sucres nécessaires à leur vie et du dioxygène – quasiment absent de l'atmosphère primitive. Quand cet oxygène a cessé d'être piégé par les sulfures, oxydés en sulfates, il s'est trouvé libéré dans les eaux et dans l'atmosphère. Le taux de dioxygène a alors progressivement augmenté.

Stromatolites (01 min 50 s)

Comptant parmi les plus anciens fossiles, ces édifices sont formés par l'empilement de feuillets calcaires provenant de l'activité de bactéries. Vieux de 3 milliards d'années, ils se forment encore actuellement, notamment en Australie.

La cellule eucaryote (00 min 35 s)

La présentation schématique 3D de la cellule eucaryote permet d'appréhender la complexité de sa structure.

Le globe au précambrien (00 min 35 s)

Infographie montrant la formation puis la dislocation de Rodinia, le mégacontinent de l'époque.

La faune d'Ediacara (03 min 15 s)

Présentant quelques fossiles des premiers métazoaires, le professeur au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) Philippe Janvier fait part de l'incertitude scientifique quant à l'interprétation de ces fossiles.

L'ère primaire

Le globe au primaire (01 min 20 s)

Infographie montrant les mouvements des continents, leurs collisions puis la formation de la Pangée.

L'explosion cambrienne (03 min 20 s)

Philippe Janvier (MNHN) s'appuie sur les fossiles de Burgess et de Chengjiang pour commenter l'apparition brutale de la diversité biologique.

Les trilobites (02 min 20 s)

Jean-Paul Saint Martin, professeur au MNHN, présente la diversité écologique des trilobites et leur intérêt paléogéographique.

Une mer au dévonien (02 min 50 s)

Hervé Lelièvre, professeur au MNHN, évoque la faune marine il y a 370 millions d'années.

Sortie des eaux (01 min 55 s)

Les premiers végétaux susceptibles de coloniser le milieu terrestre, il y a 400 millions d'années environ, sont les fougères, pourvues d'une cuticule qui limite le dessèchement et de spores disséminées par le vent. Chez les animaux, des vertébrés aux nageoires charnues et pourvus de poumons sont probablement

capables de sortir de l'eau de façon temporaire. Ils sont certainement les ancêtres des vertébrés pourvus de pattes.

La forêt houillère (02 min 50s)

À Decazeville (Aveyron), les fossiles trouvés dans le charbon permettent de se faire une idée de ce que pouvait être la forêt du carbonifère. Les espèces arborescentes étaient nombreuses et les fougères de grande taille très abondantes. Pas de plantes à fleurs, pas d'oiseaux ni de mammifères, mais de gros insectes. La comparaison des végétaux fossiles avec des végétaux actuels situe ces espèces dans des forêts tropicales.

La crise permo-triasique (03 min 20s)

Bernard Battail, professeur au MNHN, évoque un scénario possible pour le plus grand désastre écologique de l'histoire de la Terre.

L'ère secondaire

Le globe au secondaire (00 min 50s)

Infographie montrant la dislocation de la Pangée et la formation des océans Thétys, Atlantique, Indien et Austral.

Une mer au jurassique (03 min 10s)

En s'appuyant sur les collections de la galerie de paléontologie du MNHN, Bernard Battail présente la diversité biologique marine de l'époque.

Les ammonites (02 min 25s)

Jean-Paul Saint Martin (MNHN) s'appuie sur la collection d'Orbigny pour présenter un groupe dont le développement et la disparition présentent un intérêt majeur en paléontologie. L'animation finale est inspirée du livre de Francis Lethiers (voir « Ressources »).

Iguanodon et compagnie (02 min 35s)

Ronan Allain du MNHN présente quelques dinosaures parmi les plus célèbres de la galerie de paléontologie.

Les dinosaures du Languedoc (07 min 15s)

Dans les couches sédimentaires du Languedoc, des chercheurs extraient des os et des œufs fossiles des dinosaures *Ampelosaurus*, *Rhabdodon* et *Velociraptor*. Jean Le Loeuff, conservateur au musée des Dinosaures d'Espéras (Aude), explique comment ces restes se sont fossilisés. Au laboratoire, on reconstitue les os fossiles, on les compare avec des ossements actuels. On détermine aussi des fossiles de petites tailles : en particulier des dents de poissons, de crocodiles... Associés à des fossiles végétaux apparentés à des espèces actuelles de climat chaud, ces fossiles permettent de reconstituer l'environnement dans lequel les dinosaures évoluaient et poussaient leurs œufs.

Archéoptéryx (03 min 05s)

Ronan Allain du MNHN présente la lignée qui conduit d'un groupe de dinosaures aux oiseaux actuels.

Premiers mammifères (image fixe)

On connaît bien le squelette des premiers mammifères dont on peut faire une reconstitution fiable.

Premiers primates (image fixe)

Le premier primate émerge au début du tertiaire. Il ressemble à Purgatorius qui représente son groupe frère.

Premières fleurs (image fixe)

Vers 145 millions d'années, apparaissent les premières angiospermes, c'est-à-dire les plantes à fleurs donc à fruits et à graines. Dès le début, toutes les familles actuelles sont représentées et prennent le pas sur les gymnospermes.

Une mer au crétacé (02 min 05 s)

Près de Socca (dans le Sud-Ouest de la France), on observe des roches sédimentaires qui forment une succession de strates redressées par des mouvements tectoniques et dégagées par l'érosion. Les fossiles qu'elles contiennent – sortes d'oursins, ammonites, microfossiles – donnent des indications sur leurs conditions de dépôt et permettent de dater leur formation : entre - 80 et - 60 millions d'années.

La crise crétacé-tertiaire (01 min 35 s)

Dans la succession des strates observées à Socca, un changement important se révèle au niveau de - 65 millions d'années. Les ammonites disparaissent. Les fossiles d'espèces planctoniques sont différents. L'abondance particulière en iridium dans une mince couche située à ce niveau laisse à penser que la cause de ces changements peut être attribuée soit à une formidable éruption volcanique, soit à un impact de météorite. Dans un cas comme dans l'autre, un énorme nuage de poussières aurait rendu la vie particulièrement difficile. La limite entre l'ère secondaire et l'ère tertiaire a été fixée à ce moment.

Les ères tertiaire et quaternaire**Le globe au tertiaire et au quaternaire (00 min 25 s)**

Infographie mettant en évidence la surrection des Alpes et de l'Himalaya.

L'évolution des mammifères (03 min 00 s)

À partir d'un exemple célèbre, Emmanuel Gheerbrant du MNHN montre que l'on peut identifier un animal fossile à partir de quelques os. Il évoque ainsi la lignée mammalienne.

Les ancêtres du cheval (03 min 20 s)

Vera Eisenmann, professeur au MNHN, présente quelques pièces de la collection d'équidés fossiles du Muséum.

Premiers hominidés (image fixe)

On doit rechercher les premiers hominidés aux alentours de 8 à 10 millions d'années.

Glaciations (image fixe)

Parmi les six périodes glaciaires que subit la Terre, la dernière, c'est-à-dire celle

du quaternaire, est la mieux connue. En Europe occidentale, elle se compose de quatre épisodes séparés par des événements plus chauds.

Le buisson humain (04 min 30s)

Que savait-on en 1850, en 1900 et en 1975 de l'évolution humaine ? Qu'en sait-on aujourd'hui ? Jean-Louis Heim, professeur au MNHN, donne quelques pistes. L'animation finale est inspirée du livre de Pascal Picq (voir « Ressources »).

Changement de climat (01 min 35s)

Il y a 18 000 ans, l'Aquitaine était une région avec un climat froid et sec, avec des animaux caractéristiques de ces régions (rennes, mammouths...) et une steppe. Puis, vers 10 000 ans, le réchauffement fût brutal et les espèces changèrent, soit en migrant vers le nord, soit en disparaissant.

Les débuts de l'élevage (01 min 30s)

Il y a 10 000 ans, au Proche-Orient, l'Homme a d'abord domestiqué le bouquetin et le mouflon, à l'origine des races de la chèvre et du mouton actuels. Puis, ce fut le tour de l'aurochs et du sanglier, à l'origine des races du bœuf et du cochon actuels. L'Homme est alors devenu éleveur.

TOUS PARENTS

Recréer un aurochs (01 min 00s)

En sélectionnant les caractères primitifs de différentes races bovines actuelles, des Allemands ont recherché à recréer l'aurochs qui a disparu depuis 1627.

La famille des rhinocéros (02 min 25s)

Depuis 2 millions d'années, l'évolution des différentes espèces de rhinocéros va de pair avec leur alimentation : ceux qui mangent les feuilles des arbres ont la tête dirigée vers le haut ; et ceux qui broutent l'herbe la tête dirigée vers le sol, comme ceux qui vivent actuellement en Afrique.

La famille des lézards (01 min 50s)

Chez les différentes espèces de lézards, on observe que, pour la locomotion de l'animal, ce sont les ondulations de la colonne vertébrale ou les pattes qui sont plus ou moins utilisées. Ces variations sont à mettre en relation avec leur milieu et leur mode de vie. Ainsi, les lézards fouisseurs dans le sable n'ont plus de pattes, ou bien des pattes très réduites.

Les pattes des baleines (03 min 20s)

Chez les baleines, le membre antérieur est très réduit et ankylosé. Il forme la nageoire antérieure, alors que le membre postérieur et le bassin ont disparu ou sont réduits à quelques vestiges. L'étude des fossiles montre que ces membres se sont progressivement réduits.

Phylogénie des rats (01 min 10s)

L'étude des gènes permet de retrouver, grâce aux mutations, les dates de diver-

gence entre deux espèces de rats africains. On a pu montrer qu'elles auraient divergées il y a environ 2 millions d'années.

Gènes en commun (03 min 10s)

Les récepteurs olfactifs de l'abeille et des mammifères comme la souris et l'homme présentent de nombreux points communs. De même, on trouve des gènes du développement identiques chez la drosophile et la souris. Les gènes des récepteurs olfactifs comme ceux du développement ont été transmis au cours de l'évolution des espèces, ce qui explique qu'on peut les trouver chez des espèces aussi éloignées que les abeilles et l'homme.

Ressemblance ? (01 min 45s)

Les ressemblances entre deux espèces permettent d'établir des liens de parenté : plus il y a de différences, plus l'ancêtre commun est éloigné. Toutefois, ces ressemblances sont trompeuses : par exemple, le dipneuste est plus proche des vertébrés quadrupèdes que des poissons téléostéens.

Les cousins de la tanche (04 min 30s)

L'étude de la comparaison des gènes permet de retrouver des liens de parenté entre des espèces de poissons. Ainsi la tanche est-elle plus proche du goujon que de la carpe.

Évolution moléculaire (01 min 30s)

Une protéine donnée peut présenter de légères variantes d'une espèce à l'autre. Ces différences sont dues à des mutations intervenues sur l'ADN. Au cours des générations, de nouvelles variantes des gènes peuvent ainsi apparaître. Plus des espèces sont éloignées du point de vue de leur parenté, plus les différences moléculaires sont nombreuses.

Les ancêtres du cheval (03 min 20s)

Vera Eisenmann, professeur au MNHN, présente quelques pièces de la collection d'équidés fossiles du Muséum.

Le buisson humain (04 min 30s)

Que savait-on en 1850, en 1900 et en 1975 de l'évolution humaine ? Qu'en sait-on aujourd'hui ? Jean-Louis Heim, professeur au MNHN, donne quelques pistes. L'animation finale est inspirée du livre de Pascal Picq (voir « Ressources »).

Iguanodon et compagnie (02 min 35s)

Ronan Allain du MNHN présente quelques dinosaures parmi les plus célèbres de la galerie de paléontologie.

L'évolution des mammifères (03 min 00s)

À partir d'un exemple célèbre, Emmanuel Gheerbrant du MNHN montre que l'on peut identifier un animal fossile à partir de quelques os. Il évoque ainsi la lignée mammalienne.

Archéoptéryx (03 min 05s)

Ronan Allain du MNHN présente la lignée qui conduit d'un groupe de dinosaures aux oiseaux actuels.

L'ÉVOLUTION

L'histoire

L'explication de la Bible (01 min 50s)

Jusqu'au XVIII^e siècle, l'Homme s'appuyait sur la Bible pour expliquer les phénomènes touchant les êtres vivants. Mais les fossiles posaient de plus en plus de problèmes.

L'explication de Cuvier (02 min 50s)

Pour lui, les espèces n'évoluaient pas. Il a expliqué la disparition de certaines d'entre elles par des séries de catastrophes qui pouvaient s'accorder avec le déluge décrit dans la Bible. Il s'agit de la théorie du catastrophisme.

L'explication de Lamarck (04 min 00s)

Il a envisagé que le milieu extérieur (nourriture, climat) agissait sur les espèces qui se transformaient pour s'adapter aux nouvelles conditions de vie : c'est la théorie du transformisme.

L'explication de Darwin (02 min 00s)

Observant les espèces vivantes, Darwin explique que le moteur de la transformation des espèces est la sélection naturelle, qui permet aux individus les mieux adaptés de survivre et ainsi de transmettre leurs caractères.

L'évolution des idées (01 min 00s)

Progressivement, les théories du déluge et du transformisme furent abandonnées au profit de celle de Darwin.

La domestication des animaux (01 min 35s)

L'Homme a sélectionné parmi des animaux sauvages ceux qui pouvaient s'élever facilement sans agressivité vis-à-vis des populations.

Les débuts de l'élevage (01 min 30s)

Il y a 10 000 ans, au Proche-Orient, l'Homme a d'abord domestiqué le bouquetin et le mouflon, à l'origine des races de la chèvre et du mouton actuels. Puis, ce fut le tour de l'aurochs et du sanglier, à l'origine des races du bœuf et du cochon actuels. L'Homme est alors devenu éleveur.

Des faits aux explications

Du sanglier au cochon (00 min 40s)

Du sanglier du néolithique au cochon actuel, de nombreuses modifications morphologiques se sont produites.

Recréer un aurochs (01 min 00s)

En sélectionnant les caractères primitifs de différentes races bovines actuelles, des Allemands ont recherché à recréer l'aurochs qui a disparu depuis 1627.

La nutrition des rhinocéros (02 min 25s)

Depuis 2 millions d'années, l'évolution des différentes espèces de rhinocéros va de pair avec leur alimentation : ceux qui mangent les feuilles des arbres ont la

tête dirigée vers le haut ; et ceux qui broutent l'herbe la tête dirigée vers le sol, comme ceux qui vivent actuellement en Afrique.

Changement de climat (01 min 35s)

Il y a 18 000 ans, l'Aquitaine était une région avec un climat froid et sec, avec des animaux caractéristiques de ces régions (rennes, mammouths...) et une steppe. Puis, vers 10 000 ans, le réchauffement fût brutal et les espèces changèrent, soit en migrant vers le nord, soit en disparaissant.

Archéoptéryx (03 min 05s)

Ronan Allain du MNHN présente la lignée qui conduit d'un groupe de dinosaures aux oiseaux actuels.

Les ancêtres du cheval (03 min 25s)

Vera Eisenmann, professeur au MNHN, présente quelques pièces de la collection d'équidés fossiles du Muséum.

Deux espèces de souris (04 min 35s)

La souris de garrigue et la souris des villes se ressemblent mais ne cohabitent pas, et leur rencontre provoque souvent des conflits. L'étude des protéines sanguines montre que chaque espèce possède ses propres protéines sans hybride : ce sont donc bien deux espèces différentes. L'étude biométrique confirme ces différences.

L'escargot des haies (04 min 10s)

Le milieu semble sélectionner certains caractères : c'est la sélection naturelle. Les grives mangent préférentiellement des escargots des haies à coquilles unies, plutôt que des escargots à coquilles rayées. Le caractère rayé paraît donc avantageux. Mais il n'y a pas que les prédateurs qui agissent. Le facteur température intervient aussi en sélectionnant des escargots à coquille rayée cette fois. Les grives mangent les escargots en cassant leur coquille sur des supports rigides appelés enclumes à grive. Elles voient mieux les escargots à coquilles unies, qui sont donc plus mangés. Toutefois, d'autres facteurs agissent. La température agit sur les escargots à coquilles sombres car leur température s'élève plus rapidement en été, et les individus meurent. Elle agit donc de façon inverse à celle des prédateurs.

Moustiques résistants (02 min 20s)

Les insecticides ont entraîné la sélection de moustiques résistants aux insecticides. Cette résistance est due à la production de molécules anti-insecticides contrôlées par des gènes. Des mutations de ces gènes ont entraîné une production accrue de ces molécules protectrices.

Moustiques mutants (01 min 50s)

Des mutations sont apparues à des taux très faibles dans les populations de moustiques avant l'utilisation des insecticides, et ces erreurs sont ensuite devenues utiles aux moustiques qui se sont par la suite reproduits et propagés.

Choisir le bon mâle (01 min 45s)

Chez les mouettes tridactyles, la femelle cherche à s'accoupler avec le mâle le

plus performant dans la population alors qu'elle élève souvent ses petits avec un autre.

Transmettre ses gènes (03 min 15 s)

Dans une population de mouettes tridactyles, les femelles s'accouplent souvent avec un mâle différent de celui avec lequel elles élèvent leur couvée. Elles s'accouplent préférentiellement avec les mâles sains et, à cause de leur nombre insuffisant, élèvent leurs petits avec des mâles en moins bonne santé. Ainsi, leurs gènes seront-ils transmis avec un maximum d'efficacité.

Les gènes du développement (01 min 50 s)

On trouve des gènes du développement identiques chez la drosophile et la souris. Le développement embryonnaire est sous contrôle de ces gènes qui déterminent ce que deviennent chaque partie de l'embryon. Les gènes du développement ont été transmis au cours de l'évolution des espèces, ce qui explique qu'on peut les trouver chez des espèces aussi éloignées.

Évolution moléculaire (01 min 30 s)

Une protéine donnée peut présenter de légères variantes d'une espèce à l'autre. Ces différences sont dues à des mutations intervenues sur l'ADN. Au cours des générations, de nouvelles variantes des gènes peuvent ainsi apparaître. Plus des espèces sont éloignées du point de vue de leur parenté, plus les différences moléculaires sont nombreuses.

Les mammouths nains (00 min 50 s)

Lors de la déglaciation, des populations de mammouths se sont fait piéger sur une île. Les individus nains, plus adaptés à des conditions de vie avec peu de nourriture, ont été sélectionnés au profit des mammouths géants qui ont disparu, comme en témoignent les restes fossilisés sur cette île.

L'ibis de Cuvier (00 min 30 s)

Pour affirmer sa théorie de la fixité des espèces dans le temps, Cuvier va notamment s'appuyer sur le fait que les ibis trouvés dans les sépultures égyptiennes ne montrent aucune différence avec les espèces actuelles.

L'ibis de Lamarck (00 min 25 s)

Pour répondre à l'argument de Cuvier sur les ibis, Lamarck expliquait que, si les ibis n'avaient pas changé, c'est que le climat n'avait pas changé et que le temps écoulé était très court.

Phylogénie des rats (01 min 10 s)

L'étude des gènes permet de retrouver, grâce aux mutations, les dates de divergence entre deux espèces de rats africains. On a pu montrer qu'elles auraient divergées il y a environ 2 millions d'années.

Les forces évolutives (01 min 45 s)

Les mutations des gènes et la sélection naturelle expliquent l'évolution mais ce ne sont pas les seules causes. Le hasard a une forte influence sur la transmission de certains gènes d'une génération à l'autre.

LA PLACE DE L'HOMME

Homme et chimpanzé (00 min 20s)

Les squelettes entiers d'un homme et d'un chimpanzé côte à côte.

Bipédie simiesque (00 min 30s)

Un chimpanzé se déplace en position bipède.

Le bassin de Lucy (00 min 30s)

Le bassin d'un australopithèque gracile est comparé aux bassins d'un homme et d'un chimpanzé.

La position du crâne (00 min 30s)

La position du trou occipital n'est pas la même chez un chimpanzé, un homme ou un australopithèque.

Dents des singes et des hommes (01 min 40s)

Comparaison des différentes dents et des muscles masticateurs chez un homme et un chimpanzé.

Capacité crânienne (00 min 40s)

Comparaison de la taille et du développement du cerveau chez un homme et un chimpanzé.

Paroles (02 min 20s)

Jean-Jacques Hublin, directeur de recherche au CNRS, explique qu'on peut dater l'apparition du langage articulé par l'anatomie du système de phonation, par l'anatomie du cerveau et par le comportement de nos ancêtres.

Les mâchoires d'un paranthrope (01 min 00s)

Les mâchoires du paranthrope, qu'on appelait également à l'époque australopithèque robuste, montrent de très grosses dents typiques des végétariens et une insertion de muscles puissants, permettant les nombreux mouvements nécessaires à ce type d'alimentation.

Les dents d'un paranthrope (01 min 05s)

L'énorme taille des prémolaires et des molaires montre que les australopithèques mastiquaient beaucoup, alors que les incisives sont peu développées, ce qui laisse penser que leur alimentation était faite de racines ou d'autres produits du sol relativement coriaces.

L'usure de l'émail (00 min 40s)

Les aliments laissent des traces caractéristiques sur l'émail que l'on peut étudier au microscope électronique. Ainsi, on a pu montrer que les dents d'australopithèques possèdent des traces d'alimentation végétarienne (feuilles et fruits) mais aussi animale.

L'épaisseur de l'émail (02 min 15s)

L'étude de l'épaisseur de la couche d'émail permet de montrer des liens de parenté entre la lignée des australopithèques et la lignée humaine. Mais elle permet aussi d'isoler des espèces qui semblaient proches de ces lignées.

Approche chromosomique (02 min 20s)

Les chromosomes des hommes et des différents singes peuvent être comparés finement et révéler l'ordre de séparation de ces espèces. On reconstitue un « arbre » qui montre, en particulier, qu'hommes, chimpanzés, bonobos et gorilles proviennent d'une même population ancestrale.

Darwin, le singe et l'homme (00 min 45s)

Pour Darwin, l'Homme a subi les mêmes évolutions que les autres êtres vivants. Cela a entraîné de nombreuses critiques de sa théorie.

Le buisson humain (04 min 30s)

Que savait-on en 1850, en 1900 et en 1975 de l'évolution humaine ? Et qu'en sait-on aujourd'hui ? Jean-Louis Heim, professeur au MNHN, donne quelques pistes. L'animation finale est inspirée du livre de Pascal Picq (voir « Ressources »).

La question des origines (01 min 00s)

Depuis Darwin, on pensait que l'Homme descendait de singes, que l'on imaginait semblables à des singes actuels. Puis, on a supposé que les ancêtres des grands singes vivaient dans les forêts, à l'ouest de la vallée du Rift africain, alors que les ancêtres des Hommes seraient quant à eux apparus dans les régions sèches situées à l'est du Rift. Mais on a trouvé depuis des ancêtres des Hommes à l'ouest.

Découvertes récentes (03 min 35s)

La séparation des espèces ancestrales des hommes à l'est du Rift et des grands singes à l'ouest ne peut être maintenue : on a trouvé des australopithèques, les plus anciens « pré-humains », à l'ouest. Cinq espèces d'australopithèques sont connues. Elles ont coexisté : l'évolution des ancêtres de l'Homme est « buissonnante ».

Les forces évolutives (01 min 45s)

Les mutations des gènes et la sélection naturelle expliquent l'évolution, mais elles ne sont pas les seules causes. Le hasard a une forte influence sur la transmission de certains gènes d'une génération à l'autre.

Chimpanzéisation ? (01 min 45s)

Les ancêtres des hommes et des singes se tenaient peut-être debout et avaient peut-être la face arrondie. Les chimpanzés, issus d'un ancêtre bipède, seraient alors devenus quadrumanes !

Les débuts de l'élevage (01 min 30s)

Il y a 10 000 ans, au Proche-Orient, l'Homme a d'abord domestiqué le bouquetin et le mouflon, à l'origine des races de la chèvre et du mouton actuels. Puis, ce fut le tour de l'aurochs et du sanglier, à l'origine des races du bœuf et du cochon actuels. L'Homme est alors devenu éleveur.

La domestication des animaux (01 min 35s)

L'Homme a sélectionné parmi des animaux sauvages ceux qui pouvaient s'élever facilement sans agressivité vis-à-vis des populations.

OUTILS ET MÉTHODES

Des mammouths dans la glace (00 min 35 s)

Des bisons ou des mammouths congelés et momifiés ont pu être extraits des glaces de Sibérie.

Biologiste de terrain (02 min 25 s)

Dans une population de mouettes tridactyles, les femelles s'accouplent souvent avec un mâle différent de celui avec lequel elles élèvent leur couvée. Pour en savoir la cause, Étienne Danchin, biologiste, capture les mâles et mesure les paramètres physiques qui pourraient intervenir dans le choix des femelles comme la couleur du fond de la gorge.

La méthode Cuvier (02 min 00 s)

Cuvier est l'inventeur de l'anatomie comparée. Il comparait notamment l'anatomie des grands quadrupèdes actuels et fossiles.

La méthode Lamarck (01 min 25 s)

Lamarck étudiait les invertébrés fossiles en les rapprochant des espèces actuelles.

Électrophorèse et morphométrie (03 min 30 s)

On peut rechercher les points communs et les différences entre des espèces voisines de souris grâce à l'étude des protéines sanguines, grâce à l'électrophorèse ou, encore, grâce à l'étude des paramètres physiques ou biométriques.

Arbre phylogénétique (01 min 10 s)

L'étude des gènes permet de retrouver, grâce aux mutations, les dates de divergence entre deux espèces de rats africains. On a pu montrer qu'elles auraient divergées il y a environ 2 millions d'années.

Séquençage (04 min 30 s)

L'étude de la comparaison des gènes permet de retrouver des liens de parenté entre des espèces de poissons. Ces gènes sont d'abord dupliqués après isolement de l'ADN, puis les différentes copies sont séparées par électrophorèse. De la sorte, on peut reconstituer leur séquence et les comparer à d'autres gènes. Ainsi la tanche est-elle plus proche du goujon que de la carpe.

Approche chromosomique (02 min 20 s)

Les chromosomes des hommes et des différents singes peuvent être comparés finement et révéler l'ordre de séparation de ces espèces. On reconstitue un « arbre » qui montre, en particulier, qu'hommes, chimpanzés, bonobos et gorilles proviennent d'une même population ancestrale.

L'usure de l'émail (00 min 40 s)

Les aliments laissent des traces caractéristiques sur l'émail que l'on peut étudier au microscope électronique. Ainsi a-t-on pu montrer que les dents d'australopithèques possèdent des traces d'alimentation végétarienne (feuilles et fruits) mais aussi animale.

L'épaisseur de l'émail (02 min 15 s)

L'étude de l'épaisseur de la couche d'émail permet de montrer des liens de parenté

entre la lignée des australopithèques et la lignée humaine, mais elle permet aussi d'isoler des espèces qui semblaient proches de ces lignées.

L'analyse des faunes (03 min 00s)

L'inventaire des faunes fossiles de deux grottes périgourdines met en évidence un changement climatique que nos ancêtres ont connu.

À qui appartient cet os ? (03 min 20s)

Le travail de l'archéozoologue permet de savoir si un os trouvé sur un site appartient à un animal sauvage et donc qu'il provient de la chasse ou, s'il appartient à un animal domestique, qu'il provient d'un élevage.

Du dépôt au gisement (02 min 35s)

Enfouis dans la vase et le sable après la mort de l'animal, les os se sont imprégnés de matière minérale : ils se sont fossilisés et se trouvent pris dans la roche consolidée. On peut voir actuellement comment un tel enfouissement se produit, avec des os de mammifères pris dans les dépôts d'une rivière. La couche qui contient les os de dinosaures fossiles a été recouverte par d'autres strates. Puis, la rivière Aude s'est installée, a creusé progressivement sa vallée et le gisement s'est trouvé délogé.

Un gisement de dinosaures (01 min 10s)

Dans les couches sédimentaires du Languedoc, des chercheurs extraient des os et des œufs fossiles des dinosaures *Ampelosaurus*, *Rhabdodon* et *Velociraptor*.

Les œufs des dinosaures (00 min 45s)

Des œufs de dinosaures, pondus près de la rivière en période sèche, ont été recouverts au moment des crues. Ils se sont trouvés fossilisés et pris dans la roche.

Fossilisation (01 min 10s)

Des restes d'animaux et de végétaux, enfouis dans des sédiments en formation, peuvent y laisser leur empreinte ou être moulés intérieurement. La matière minérale de l'environnement se substitue progressivement aux matières d'origine. Des restes d'êtres vivants peuvent aussi se trouver pris dans la résine ou dans la glace.

Fossile stratigraphique (00 min 55s)

La brève durée d'existence et la bonne répartition géographique de certaines espèces fossiles font de ces espèces des outils utiles au géologue. Ils permettent en effet de comparer avec assez de précision l'âge de sédiments parfois éloignés. D'autres fossiles sont davantage utiles par les renseignements qu'ils donnent sur leurs anciennes conditions de vie.

Datation relative (01 min 00s)

Dater les sédiments les uns par rapport aux autres est rendu possible par la présence d'espèces fossiles à brève durée d'existence. La superposition des strates correspond à l'ordre de leur dépôt, donc permet aussi de les dater de façon relative.

Datation absolue (01 min 00s)

Grâce à la radioactivité naturelle et à la désintégration des éléments qu'elles

contiennent, on peut donner un âge aux roches, âge exprimé en millions d'années par exemple.

Reconstituer le milieu (02 min 35 s)

Au laboratoire, on reconstitue les os fossiles, on les compare avec des ossements actuels. On détermine aussi des fossiles de petites tailles : en particulier des dents de poissons, de crocodiles... Associés à des fossiles végétaux apparentés à des espèces actuelles de climat chaud, ces fossiles permettent de reconstituer l'environnement dans lequel les dinosaures évoluaient et pondaient leurs œufs. Il est bien difficile de déterminer quelle espèce de dinosaure a pondu les œufs fossiles que l'on a ramassés.

La sarigue de Cuvier (00 min 35 s)

Grâce à son excellente connaissance de l'anatomie des vertébrés actuels, et en ne dégagant que quelques os du gypse de Montmartre, Cuvier a pu prédire qu'il s'agissait d'un marsupial.

L'analyse des micrométéorites (01 min 35 s)

Les micrométéorites tombées sur Terre contiennent des argiles et des acides aminés. Combinés à l'eau des océans, ces éléments suffisent à produire des molécules conduisant à la vie.

Expériences dans l'espace (01 min 35 s)

Pour savoir si les acides aminés nécessaires à la vie peuvent provenir de l'espace, une contre-expérience a été tentée : la mission spatiale franco-russe PERSEUS a exposé des acides aminés terrestres aux conditions régnant dans l'espace.

SUGGESTIONS PÉDAGOGIQUES AU COLLÈGE.....

La partie des programmes « Histoire de la vie, histoire de la Terre » – ou, dans un futur proche, « Histoire de la Terre, évolution des êtres vivants » – est destinée à faire surgir les premiers éléments des notions relatives à l'évolution de la vie. Il s'agit aussi de montrer que l'histoire de la vie peut être corrélée à quelques événements majeurs de l'histoire de la Terre. Cette partie des programmes de collège constitue un aboutissement. Elle s'appuie sur de nombreux acquis des élèves, dont les rudiments de classification élaborés en classe de 6^e et, bien sûr, tout ce qui concerne « Les roches, archives du passé », roches dans lesquelles gisent les fossiles des êtres vivants qui ont peuplé la planète au cours des temps géologiques.

FOSSILES, FOSSILISATION, RECONSTITUTION : L'ANIMAL ET LE MILIEU DE VIE

Dans un premier temps, on utilisera quelques extraits concernant les fossiles, dans la partie du programme « Évolution des paysages : roches, eau, atmosphère, êtres vivants » (ou « Évolution des paysages au cours du temps »). Plusieurs séquences permettent aux élèves de comprendre comment des restes d'êtres vivants peuvent se retrouver pris dans une roche, telles qu'**Un gisement de Dinosaures (0)** et **Du dépôt au gisement (0)**. Les élèves construiront un schéma retraçant les différentes étapes de la transformation d'un ossement en fossile inclus dans une roche. Si nécessaire, d'autres documents permettent de développer la notion de fossilisation, tels que **Fossilisation (0)**, **Des mam-mouths dans la glace (0)** et **Les trilobites (V)**. S'ajoutent éventuellement des indications sur le mode de vie des animaux dont les restes nous sont parvenus, plus ou moins transformés : la séquence sur **Les trilobites (V)** présente d'inté-ressantes images, qui permettent de saisir la relation entre l'animal vivant (tel qu'on l'imagine) et le fossile qu'il laisse à la postérité. Des séquences montrent aussi la reconstitution morphologique qu'il est possible de réaliser à partir des restes d'un animal, telles que **Reconstituer le milieu (0)**. Comme son titre l'in-dique, cette dernière suggère la relation que l'on peut établir entre un être vivant et son milieu.

Les élèves rédigeront un court texte expliquant comment, d'après le film, des dents de crocodiles et des restes de végétaux ont permis de reconstituer l'envi-ronnement dans lequel vivaient les dinosaures du Languedoc. Le rapprochement que l'on peut établir entre des formes fossiles et des formes actuelles équivalentes fournit donc des indications sur d'anciens milieux de vie. **La forêt houillère (V)** en donne brièvement un exemple.

Tous ces documents seront utilisés soit pour établir ces notions dans la partie «Évolution des paysages», soit pour les réactiver quand débute la partie du programme «Histoire de la vie, histoire de la Terre». Le film entier **La vallée des dinosaures** (partie **Le temps d'une histoire**) – d'où proviennent nombre d'extraits cités ci-dessus – sera utilisé, en le subdivisant, pour effectuer cet indispensable réinvestissement des acquis quand débute la partie «Histoire de la vie, histoire de la Terre», et se révélera certainement motivant. En effet, une problématique surgira à l'issue de l'utilisation de ce film, et les dinosaures constitueront le support d'une entrée en matière stimulante et efficace. Le travail de reconstitution présenté dans le film conduira naturellement à s'interroger sur d'autres disparitions possibles. Il s'agira alors de rechercher des traces d'autres groupes d'animaux – voire de végétaux – actuellement disparus. Les élèves seront ainsi amenés à constater l'apparition et la disparition de groupes et d'espèces. Pour ce faire, il sera judicieux de comparer les faunes qui ont existé à deux périodes différentes, dans un même milieu.

APPARITIONS, DISPARITIONS DES GROUPES

Comparaison de deux faunes marines

La présentation de deux faunes marines constitue un apport de données significatives pour constater les apparitions et les disparitions de groupes. Les propositions des manuels scolaires seront complétées et illustrées de façon attrayante par les extraits **Une mer au dévonien (V)** et **Une mer jurassique (V)**. Ces derniers présentent quelques exemples de la faune marine qui existait il y a 370 millions d'années, et de celle qui existait il y a environ 140 millions d'années. On situera «370 millions d'années» et «140 millions d'années» sur une frise représentant les temps géologiques. On établira un tableau comparatif des groupes d'animaux présents dans les mers il y a 370 millions d'années, il y a 140 millions d'années, et actuellement – naturellement, si l'on se situe au niveau de l'embranchement, il est difficile de constater des disparitions car les vertébrés, les arthropodes notamment, existent très tôt. Au dévonien, on trouve de nombreux animaux appartenant à des groupes à présent disparus. Par exemple, nous sont présentés : chez les vertébrés, un placoderme, un ostracoderme, un acanthodien, un sarcoptérygien ; chez les échinodermes, un crinoïde ; chez les mollusques, une goniatite ; chez les arthropodes, des trilobites. Mais des représentants de groupes actuels existent déjà : poissons cartilagineux semblables aux requins, poissons osseux, brachiopodes, coraux... Ceci fournira aussi l'occasion de réfléchir sur la diversité déjà existante. Au jurassique, d'autres «étranges» vertébrés sont présents : ichthyosaure, plésiosaure (ptérosaure, dans les airs),

ainsi que des mollusques céphalopodes (ammonites, bélemnites...). Bien sûr, nous retrouvons aussi des représentants de groupes actuels : chez les vertébrés, les crocodiles marins, les poissons osseux, les poissons cartilagineux ; des crustacés, semblables aux crevettes ; des mollusques bivalves et gastéropodes ; des échinodermes comme l'oursin... Une conclusion évoquant le renouvellement des formes animales au cours des temps géologiques sera alors rédigée par les élèves. Dans **La faune d'Ediacara (V)**, se révèle l'extraordinaire diversité des formes animales déjà présentes dès avant le primaire. Le début de l'extrait peut évoquer pour de jeunes élèves ce fantastique foisonnement d'animaux « bizarres » qui précède le primaire, et confirmer, à l'évidence, que les apparitions et les disparitions ont été nombreuses dans l'histoire de la vie – la fin de l'extrait, plus explicative, sera quant à elle et mieux adaptée à des élèves de lycée.

Trilobites et ammonites

Parmi les différents groupes présentés, il est possible d'en trouver qui constituent des objets d'étude particulièrement intéressants, parce qu'ils fournissent un support idéal pour construire la notion : « Des groupes apparaissent, se développent et disparaissent. » Il s'agit des trilobites et des célèbres ammonites.

Après avoir constaté la présence ou l'absence de certains groupes à différents moments, nous avons donc maintenant l'occasion d'aller « voir à l'intérieur d'un groupe » et de nous intéresser aux éléments qui le composent.

Les données concernant **Les trilobites (V)** sont simples et montrent la grande cohérence de ce groupe ainsi que, sa diversité (15 000 espèces). Elles signalent clairement son apparition et sa disparition au début (- 540 millions d'années) et à la fin du primaire (- 300 millions d'années). Les élèves rechercheront d'abord, surtout si on dispose de quelques échantillons de trilobites, les critères qui permettent d'inclure ce groupe dans celui des arthropodes. Puis, ils positionneront simplement son apparition et sa disparition sur une échelle des temps géologiques. Avec l'exemple présenté par **Les ammonites (V)**, le travail sera davantage développé. En effet, à l'apparition et à la disparition du groupe s'ajoutent la notion de renouvellement des espèces rencontrées (suggérée par la présentation de la collection d'Orbigny) ainsi que la notion de développement de la diversité, confirmée par un graphe qui relate les variations du nombre de genres d'ammonites au cours des temps géologiques. Un travail comparable à celui proposé pour les trilobites sera mis en place :

- classer ces fossiles en les comparant à des animaux actuels relativement proches : les nautilus, présentés dans le film. Trouver des arguments qui permettent d'affirmer qu'il s'agit de mollusques céphalopodes ;
- situer l'apparition et la disparition du groupe sur une échelle des temps géologiques, en utilisant les données : le groupe a vécu 135 millions d'années et s'est éteint il y a 65 millions d'années ;

- après le survol de la collection d'Orbigny et la présentation progressive des principales espèces rencontrées au cours des temps, arrêter l'image lorsque la collection est complète, et demander aux élèves de décrire par un court texte comment le groupe des ammonites semble avoir varié au cours du temps : on remarque que les espèces se renouvellent à l'intérieur du groupe ;
- un léger accroissement du nombre d'espèces est suggéré par ces mêmes images, mais il doit être confirmé. Présenté sans le son et arrêté à la fin de son déroulement, le graphe (qui fait suite dans le film) servira de supports aux élèves pour décrire ce que montre le recensement chronologique du nombre de genres d'ammonites. Repasser ce bref passage avec le son permettra une correction collective.

En utilisant des extraits pris dans **Le livre de pierre** (partie **Le temps d'une histoire**), on reprendra l'exemple des ammonites à des fins d'évaluation : **Une mer au crétacé (V)** et **La crise crétacé-tertiaire (V)** serviront de supports à un questionnement concernant l'existence du groupe des ammonites : indiquer ce qui permet de le rattacher à un groupe qui existe actuellement, dater sa disparition...

À ce stade de la progression (ou bien dans un chapitre ultérieur), on pourra corréler l'histoire de la vie, dont on commence à se faire une idée, à l'histoire de la Terre, sur laquelle quelques connaissances ont été établies dans une partie précédente.

La présentation des **Trilobites (V)** donne comme exemple *Olenellus* qui vivait il y a 530 millions d'années au niveau de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud, de l'Écosse et de l'Irlande, et non dans le reste de l'Europe où l'on trouve plutôt *Redlichia*. Les géologues en déduisent qu'« il y a 530 millions d'années, Amérique du Nord, du Sud, Écosse et Irlande étaient proches, mais séparés du reste de l'Europe ».

Des acquis sur le déplacement des plaques seront alors réinvestis. Sans entrer dans les détails des causes possibles de la crise crétacé-tertiaire, il est possible d'évoquer l'incidence de phénomènes planétaires sur l'existence des espèces. Pour ce faire, on présentera **La crise crétacé-tertiaire (V)**, selon le tableau qui en est rapidement brossé à la fin du **Livre de pierre** (partie **Le temps d'une histoire**). Et si l'on souhaite faire une incursion (prudente) chez les dinosaures, **Iguanodon et compagnie (V)** permet d'observer quelques beaux spécimens. Il s'agira de satisfaire la curiosité des élèves – certains commentaires dépassent toutefois le niveau du collège et peuvent être occultés. Rappelons que le film entier **La vallée des Dinosaures** (partie **Le temps d'une histoire**), s'il n'a pas déjà été montré à d'autres fins, pourra également évoquer ce groupe qui passionne les élèves.

Dès lors, on s'interrogera sur la formation de nouvelles espèces, avec la filiation entre les groupes.

FILIATIONS ENTRE LES GROUPES

Pour aborder cette question, la comparaison d'éléments du plan d'organisation de membres de vertébrés incite fortement à supposer une origine commune, une hypothétique « espèce ancestrale » des vertébrés. Cette comparaison conduit à affirmer que les groupes de vertébrés dérivent les uns des autres.

Les homologues entre membres de vertébrés sont fréquemment illustrées dans différents extraits. Elles amèneront les élèves à une comparaison des différents segments de ces membres, en reportant sur des schémas des couleurs codifiées, montrant d'évidentes correspondances entre parties de membres.

Archéoptéryx

L'approche de formes dites intermédiaires, comme **Archéoptéryx (E)**, permettra de pousser plus loin la réflexion, en évoquant des parentés possibles entre groupes de vertébrés. On établira une liste des caractères d'oiseau et une liste des caractères de dinosaure d'archéoptéryx. Puis, on indiquera quelle parenté entre des groupes de vertébrés est suggérée par ces observations : par exemple, entre caractères de dinosaures et caractères d'oiseaux, on trouve archéoptéryx, oiseau par ses plumes ; archéoptéryx suggère fortement la parenté entre ces deux groupes, mais ne se trouve pas pour autant en position de filiation directe des oiseaux actuels. Cette approche permettra d'aborder avec profit la lecture d'un arbre phylogénétique des vertébrés. Remonter dans le temps conduit à s'interroger sur l'origine des différents groupes d'êtres vivants. C'est une origine commune qui explique leurs parentés. Les **Stromatolites (V)** sont de très anciens fossiles, qui s'apparentent aux bactéries. Pour autant, ils ne constituent pas les ancêtres de tout le monde vivant.

Les ancêtres du cheval actuel

Comme nous l'avons vu en considérant les ammonites, à l'intérieur d'un groupe, les espèces se succèdent. La ressemblance entre espèces qui se sont succédées nous conduit à penser que : « Les espèces se sont formées les unes à partir des autres : c'est l'évolution. »

Les élèves trouveront un exemple classique chez les ancêtres du cheval actuel, **Les ancêtres du cheval (E)**. Les ancêtres des équidés actuels nous fournissent l'exemple d'une succession d'espèces qui dérivent les unes des autres. La comparaison de pattes et de dents d'espèces voisines suggérera des étapes de cette filiation, tout en gardant bien présent à l'esprit qu'il ne s'agit certainement pas d'éléments d'une simple lignée. L'objectif sera cependant de donner aux élèves l'idée d'une continuité dans les filiations entre espèces – même s'il est impossible de la reconstituer complètement !

En classe, on réalisera d'abord, à partir des moulages présents dans les collections du laboratoire (ou à partir de dessins), un travail comparatif de la struc-

ture de membres d'ancêtres possibles du cheval actuel, avec le squelette du cheval lui-même. Ce travail débutera par l'étude de fossiles récents, puis se poursuivra par une recherche de similitudes et de différences avec un ou deux fossiles plus anciens. Cette activité prendra la forme d'un coloriage de segments homologues, assorti de questions destinées à attirer l'attention sur les similitudes et les différences. On pourra également construire un tableau comparatif portant sur quelques points de comparaison : taille relative, nombre de doigts... On repérera la succession chronologique des espèces présentées. Dès lors, l'enseignant reviendra sur la notion précédemment acquise : « À l'intérieur d'un groupe, les espèces se succèdent. » On suppose alors que les espèces présentées ont pu dériver les unes des autres. La classe visionnera ensuite **Les ancêtres du cheval (P)** et réalisera une courte synthèse sur ce sujet. La « tête » de l'ancêtre, *hyracotherium*, est présentée à côté de celle d'un cheval actuel. Un arrêt sur image permettra de s'attarder un instant sur leurs spectaculaires différences soulignées par le « et pourtant... » du commentaire. On demandera aux élèves comment, d'après eux, les scientifiques peuvent affirmer qu'il s'agit là d'espèces qui découlent l'une de l'autre... peut-être avec quelques intermédiaires ! Le travail effectué précédemment permettra d'envisager le raisonnement utilisé. La suite du film apporte quelques informations complémentaires (types de dents) sur lesquelles il n'est pas indispensable de s'attarder. On revoit des données concernant les pattes, confortant ainsi les acquis des activités précédentes. Enfin, la notion de lignée se trouve confrontée à l'image d'un « buisson », dans lequel le cheminement exact des successions d'espèces ne peut être vraiment établi. On rédigera un bilan sous forme d'un court texte.

La lignée humaine

Les données concernant la lignée humaine donneront lieu à une recherche de même type, aboutissant à la notion de filiation entre espèces. De nombreux extraits permettent d'aborder cette question. On donnera un éclairage sur ce sujet qui peut passionner tous les élèves, sans trop l'approfondir, dans la mesure où les faits concernant la lignée humaine seront abondamment repris au lycée. Au demeurant, la lignée humaine constitue aussi un objet d'étude tout à fait adéquat à ce niveau. Le positionnement de cette étude en fin de classe de 3^e permettra d'intégrer certaines données de génétique – par exemple ce qui concerne les caryotypes comparés de l'homme et du chimpanzé, avec **Approche chromosomique (H) (O)**.

Enfin, comme nous l'avons déjà évoqué, il importera d'établir une corrélation entre les événements principaux de l'histoire de la Terre et ceux qui marquent l'histoire de la vie.

Sans aborder de façon détaillée la notion de crise (**La crise crétacé-tertiaire (V)**) – qui sera vue dans le second cycle –, on montrera l'influence de la variation plus ou moins brutale de facteurs climatiques, sur les formes vivantes soumises à ces variations par exemple (**Changement de climat (V)**).

Les mouvements des continents expliquent de nombreux changements sur la planète: **Le globe au primaire (V)**, **Le globe au secondaire (V)**, **Le globe au tertiaire et au quaternaire (V)** (infographies). On présentera aux élèves un bref aperçu de l'histoire des théories de l'évolution: **Après le déluge** (partie **Le temps d'une histoire**) afin qu'ils mesurent l'étendue de leur nouveau savoir!

SUGGESTIONS PÉDAGOGIQUES AU LYCÉE

Le DVD présente l'avantage de possibles arrêts sur image, utiles pour mettre en évidence des structures ou bien pour décomposer un raisonnement. Il permet aussi de reprendre rapidement une séquence afin que l'élève puisse bien maîtriser son contenu.

LA PLANÈTE TERRE ET SON ENVIRONNEMENT, 2^{de}

Ils sont étudiés afin de faire percevoir à l'élève les dimensions dans l'espace, les durées et les mouvements. À cet effet, on utilisera les séquences **Le globe au précambrien (V)**, **Le globe au primaire (V)** et **Le globe au tertiaire et au quaternaire (V)**. Elles montrent comment la surface de la Terre a évolué au cours des temps géologiques du fait de la tectonique des plaques. On comparera ainsi cette grande variation de la surface terrestre à celle des autres planètes telluriques.

CELLULE, ADN ET UNITÉ DU VIVANT, 2^{de}

L'un des objectifs de cette partie du programme est de sensibiliser les élèves à la parenté entre les êtres vivants, à différentes échelles (ADN, cellule, organisme). On utilisera le film **Nos cousins les animaux** (partie **Le temps d'une histoire**), qu'on travaillera en extraits afin de soulever progressivement les problèmes. On commencera l'étude par la séquence **Ressemblance ? (P)** qui s'appuie sur des observations simples, voire des évidences dont il faut justement se méfier car elles sont trompeuses ! Dès lors, l'enchaînement avec la séquence **Gènes en communs (P)** s'imposera car la démarche est exactement inverse : qui peut soupçonner une parenté entre les insectes et les mammifères sur une simple observation ? Et pourtant ! C'est l'étude, récente, des gènes du développement qui permet d'affirmer ces liens. Enfin, puisque qui dit gène dit ADN, on verra comment la comparaison des ADN permet de construire un arbre montrant les parentés. L'exemple choisi concerne les téléostéens dont il est impossible, par la simple observation, de dire qui est parent avec qui, tant les ressemblances sont importantes. On expliquera d'abord la méthode utilisée, **Séquençage (O)**, dont on montrera les résultats : **Les cousins de la tanche (P)**. On s'appuiera, pour cette partie du programme, sur d'autres séquences du DVD telles qu'**Évolution**

moléculaire (P), Phylogénie des rats (P), Les ancêtres du cheval (P) et Iguanodon et compagnie (P). Enfin, le couplage avec des séances sur le logiciel Anagène (voir « Ressources ») permettra d'affirmer les connaissances et de confirmer la compréhension tout en variant les supports.

À l'issue de cette étude les élèves sauront donc répondre aux questions suivantes :

- pourquoi dit-on que des animaux, qui paraissent aussi éloignés les uns des autres, comme l'abeille, la drosophile, la souris et l'homme, présentent des points communs ?
- comment est contrôlé le développement embryonnaire ?
- comment peut-on construire un arbre montrant les liens de parenté entre les espèces ?

La construction d'un arbre phylogénétique n'est pas un objectif de la classe de 2^{de}, mais on proposera d'en comprendre le principe à partir des séquences visualisées, afin que l'élève comprenne pourquoi certaines espèces sont plus proches que d'autres.

LA PLACE DE L'HOMME DANS L'ÉVOLUTION, 1^{re} L, ES

Elle sera replacée dans la frise chronologique au niveau de la partie du programme « L'histoire de la vie », puis étudiée à partir des séquences de la partie **La place de l'Homme**.

On posera le problème de nos origines en étudiant l'évolution des théories sur l'évolution humaine et l'influence des découvertes de terrain, grâce à différentes séquences : **La question des origines (H)** et **Découvertes récentes (H)** notamment. En s'appuyant sur les acquis de génétique des élèves en 3^e ou en 2^{de} ainsi que sur la séquence **Approche chromosomique (H)**, on montrera ensuite que l'étude des caryotypes a permis d'émettre des hypothèses nouvelles sur l'origine de l'Homme.

Pistes de travail pour les élèves :

- établir un tableau qui fasse apparaître l'évolution des idées sur l'origine de l'Homme en montrant sur quel fait reposent ou reposaient les hypothèses ;
- pourquoi y a-t-il eu de nombreux changements sur les origines de l'Homme ces dernières années ?

Les extraits **Les mâchoires d'un paranthrope (H)**, **Les dents d'un paranthrope (H)** et **L'usure de l'émail (H)** illustrent l'évolution des modes de nutrition chez les ancêtres de l'Homme. Les arrêts sur images permettront de montrer facilement les marques d'usure sur les dents comme les éclats liés à l'alimenta-

tion riche en fruits secs ou bien les rayures dues aux grains de silice, abondants dans les herbes. On utilisera à cette occasion différentes mâchoires d'animaux disponibles dans les collections du laboratoire, afin de montrer la relation entre dents et alimentation.

La recherche des ancêtres de l'Homme entraîne une comparaison avec d'autres primates, comme les singes. Il est important que l'élève comprenne par exemple que les chimpanzés et les hommes sont des espèces actuelles qui montrent des liens de parenté; mais chacune d'entre elles résulte d'une évolution différente à partir d'un ancêtre commun hypothétique. Le singe n'est donc pas la forme non évoluée par rapport à l'homme.

À partir des différentes séquences **Bipédie simiesque (H)**, **Homme et chimpanzé (H)**, **Le bassin de Lucy (H)**, on montrera comment l'étude des restes fossiles (crânes, dents, bassin...) et leur comparaison avec les squelettes actuels ont permis de mettre en place des phylogénies possibles permettant d'aboutir à l'homme actuel. À cette occasion, le film **Après le déluge** (partie **Le temps d'une histoire**) enseigne combien la théorie de Darwin sur l'évolution des êtres vivants, et donc celle de l'Homme, a pu être réfutée par de nombreuses personnes.

Pistes d'exploitation pour les élèves :

- expliquez pourquoi l'étude des dents présente un intérêt pour comprendre l'évolution humaine et dites comment la denture a évolué au cours du temps;
- quelles sont les capacités crâniennes des différents crânes d'australopithèques et des différents individus du genre Homo ?
- montrez la relation entre cette évolution de la boîte crânienne et l'évolution de la parole;
- comment l'Homme a-t-il pu domestiquer les animaux et comment cette domestication s'est-elle traduite au niveau de la morphologie des animaux ?

L'APPROCHE DU TEMPS EN BIOLOGIE ET EN GÉOLOGIE, 1^{re} S

Cette approche débute le programme et représente l'occasion de placer plusieurs événements importants. Grâce à l'accès rapide aux séquences, on replacera les grandes étapes de l'évolution géologique de la Terre en se servant de la partie **Histoire de la vie**. On parlera de la durée des phénomènes comme la formation des chaînes de montagnes (de l'ordre de 80 millions d'années) ou des phénomènes glaciaires (milliers d'années). L'histoire de la Terre a aussi été jalonnée d'événements biologiques importants tels que l'apparition de la vie qui sera abordée rapidement à partir des séquences **Soupe primitive (V)**, **Les débuts de la vie (V)**, **Origine de la vie sur Terre** (partie **Le temps d'une histoire**) ou bien l'apparition des premières formes de vie **Stromatolites (V)** ou des premières **Cellule[s] eucaryote[s] (V)**.

Des pistes d'exploitation possibles :

- quelles sont les hypothèses sur l'origine de la vie sur Terre ?
 - comment peut-on retrouver les premières traces de vie ?
 - comment et quand la sortie du milieu aquatique s'est-elle effectuée ?
 - comment et dans quelles conditions peut-on retrouver des traces d'êtres vivants ?
-

PARENTÉ ENTRE ÊTRES VIVANTS ACTUELS ET FOSSILES – PHYLOGENÈSE, ÉVOLUTION, T¹^e S

La recherche de parenté chez les vertébrés s'appuiera sur les acquis des élèves en classe de 2^{de}. On reprendra ainsi de nombreuses séquences extraites du film **Nos cousins les animaux** (partie **Le temps d'une histoire**) afin de réactiver leurs connaissances. La séquence **Ressemblance (P)** permet de poser le problème du choix des caractères pour rechercher les liens de parentés. Des caractères comme les nageoires paires des dipneustes peuvent être apparentées à des caractères paraissant éloignés comme les membres des tétrapodes. On arrive ainsi à la notion d'homologie, nécessaire à l'établissement de phylogénie. Pour toutes les notions abordées dans cette partie, on s'efforcera de diversifier les supports. Le DVD pourra compléter une étude en classe de moulages, de squelettes de différents animaux, ou bien une étude réalisée en groupes, après des recherches sur des sites accessibles sur Internet comme les dossiers du CNRS.

Les séquences **Séquençage (O)** et **Les cousins de la tanche (P)** montrent des techniques dont les résultats aboutissent à la construction d'un arbre phylogénétique. Ces études de comparaison complèteront celles qui seront réalisées avec les logiciels Anagène ou Phylogène (voir « Ressources »). La séquence **Phylogénie des rats (P)** montrera comment on a pu établir une phylogénie pour deux espèces actuellement bien distinctes.

La phylogénie chez les vertébrés sera illustrée en classe à partir d'exemples pris dans les collections de sciences des établissements (squelette, dissection...), mais aussi avec les séquences **La famille des lézards (P)** ou **Les pattes de la baleine (P)**. L'étude des caractères homologues entre différents squelettes fossiles ou actuels aboutira à la construction d'arbres phylogénétiques. L'utilisation du logiciel Phylogène permettra d'approfondir les connaissances sur la construction d'arbres phylogénétiques.

La séquence **Les ancêtres du cheval (P)** constituera une première occasion de montrer que l'évolution des êtres vivants s'est souvent faite de façon buissonnante, avec des branches qui s'éteignent et d'autres qui se diversifient au cours des temps.

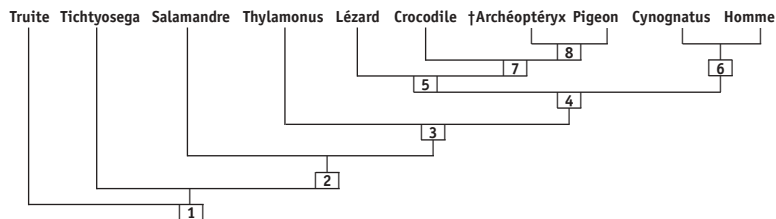
LES ÉTAPES DE L'ÉVOLUTION DE LA LIGNE ÉQUINE, d'après Bernard Le Vot (2001).		
	AMÉRIQUE	EURASIE
QUATERNAIRE (- 2 Ma)	EQUUS (H) *	EQUUS (H) * augmentation de la taille d'un mètre
PLIOCÈNE (- 8 Ma)	PLIOHIPPIUS (H) *	HIPPARION (H) * ARCHEOHIPPIUS (H) *
MIOCÈNE (- 23 Ma)	MERYHIPPIUS (H) *** PARAHIPPIUS ***	ANCHITHERIUM (H) ***
OLIGOCÈNE (- 34 Ma)	MIOHIPPIUS ***	MESOHIPPIUS ***
ÉOCÈNE (- 52 Ma)	EPIHIPPIUS ***	OROHIPPIUS ***
PALÉOCÈNE (- 65 Ma)		EOHIPPIUS **** ou HYRACOTHERIUM **** taille d'un lévrier
*Main à 1 doigt ***3 doigts ****4 doigts (H) = hypsodontie des dents jugales		

La lignée équine est un exemple classique qui pourra aussi être illustré en classe avec des pièces de squelette de cheval et parfois avec des moulages de fossiles. On montrera que cette notion de lignée peut être appliquée à tous les mammifères en regardant **L'évolution des mammifères (P)**. Puis, on montrera, avec la lignée humaine, que cette évolution est comme celle des autres êtres vivants : buissonnante.

La construction de phylogénie entraîne de nouveaux problèmes car certains groupes créés par l'Homme comme les poissons ou les reptiles ne sont pas monophylétiques mais paraphylétiques. En regardant la séquence **Une mer au dévonien (V)**, on demandera aux élèves pourquoi le scientifique n'emploie pas le mot « poisson » pour caractériser les vertébrés de cette époque. La recherche des caractères dérivés propres aux différents groupes permettra de mettre en évidence, au niveau de certains fossiles, des caractères intermédiaires. Ainsi, dans

la séquence **Archéoptéryx (P)**, on observera certains caractères qui peuvent parfois être interprétés comme ceux d'un ancêtre commun à certains groupes de dinosaures et d'oiseaux.

PLACE DE L'ARCHÉOPTÉRYX DANS L'ÉVOLUTION DES VERTÉBRÉS, d'après Guillaume Lecointre (2002).



Caractères dérivés

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 : Quatre pattes marcheuses | 5 : Astragale et calcanéum fusionnés |
| 2 : Deux vertèbres cervicales spécialisées | 6 : Une seule fenêtre temporale |
| 3 : Amnios | 7 : Fenêtre dans la mandibule |
| 4 : Deux fosses temporales | 8 : Plumes |
| | † : Fossile |

Les principales étapes de l'évolution des êtres vivants et la place de l'Homme seront replacées dans la frise chronologique au niveau de la partie **Histoire de la vie**.

Pour comprendre l'évolution des idées sur l'homínisation, il sera important de faire un peu d'histoire des sciences, afin d'observer comment une théorie peut progressivement se construire. Le film **Après le déluge** (partie **Le temps d'une histoire**), en entier ou en séquences, montre l'évolution des idées depuis la Bible jusqu'à nos jours, en mettant en évidence comment certaines d'entre elles, et notamment celles de Darwin, ont pu être combattues.

L'ÉTUDE DE L'HOMINISATION, 1^{re} S

On la réalisera à partir des mêmes séquences que celles étudiées en classe de 1^{re} L ou ES (voir la démarche ci-dessus). Les connaissances seront toutefois plus précises et plus poussées que dans ces deux niveaux. L'étude de la séquence **Bipédie simiesque (H)** illustre le mode de déplacement quadrupède des singes avec une bipédie temporaire. On observe notamment que les membres antérieurs reposent sur les phalanges lors du déplacement sur quatre membres. Les arrêts sur image avec différents angles de vue de la séquence **Homme et chimpanzé (H)** montreront les différences du squelette de l'homme par rapport à celui d'un chimpanzé, à savoir :

- une inclinaison de la tête du chimpanzé lié au trou occipital non central, un prognathisme important au niveau de la face, un volume crânien plus faible chez le chimpanzé, une cage thoracique plus développée, des membres antérieurs plus longs avec des grandes phalanges ;

- une colonne vertébrale à une courbure au lieu de cinq chez l'homme, un bassin plus long, des membres postérieurs fléchis.

Après avoir mis en place les caractères simiesques et humains, on passera à l'observation des fossiles d'australopithèques, avec la séquence **Le bassin de Lucy (H)** où l'on peut retrouver des caractères présents chez les chimpanzés ou chez les hommes. Ainsi, on établira des liens de parentés entre tous ces individus. Les autres séquences concernant les dents ou les crânes montrent que l'homínisation s'est faite progressivement. Ce sera donc l'occasion de réinvestir les acquis précédents sur l'évolution buissonnante, en regardant la séquence **Le buisson humain (H)**.

Parmi les grandes caractéristiques présentes (ou caractères dérivés) chez les individus du genre Homo, on compte la capacité d'avoir un langage articulé complexe : dans la séquence **Paroles (H)**, le chercheur du CNRS Jean-Jacques Hublin donne quelques arguments en faveur de l'existence d'un langage chez des personnes qui n'ont bien entendu pas laissé de messages enregistrés !

Chez l'homme moderne, on observe une sédentarisation qui s'accompagne d'une domestication des animaux afin de les élever, que l'on peut illustrer avec les séquences **Les débuts de l'élevage (H)** et **La domestication des animaux (H)**. On montrera que cette sélection d'animaux a influé sur l'information génétique, car certains allèles ont été éliminés au profit d'autres plus intéressants pour l'Homme.

STABILITÉ ET VARIABILITÉ DES GÉNOMES ET ÉVOLUTION, 1^{re} S

On illustrera comment, au cours de l'évolution des êtres vivants, certains gènes sont sélectionnés. Le film **Le choix de la mouette** (partie **Le temps d'une histoire**) montre comment le choix du mâle par la femelle mouette peut avoir des conséquences sur l'évolution de la fréquence de certains allèles favorables ou non.

Questionnaire pour les élèves :

-
- montrez comment le comportement des animaux peut influencer sur la fréquence des gènes au sein d'une population.
 - quelles sont les conséquences de ce comportement sur la pérennité de l'espèce ?
-

Afin de montrer comment l'environnement agit sur la fréquence des allèles chez les populations animales, on utilisera les extraits **L'escargot des haies (E)** et **Moustiques résistants (E)**. Il sera important de montrer que les allèles sélectionnés préexistent avant l'action du facteur de l'environnement. L'insecticide ne

rend pas certains moustiques résistant à celui-ci ! On s'appuiera également sur des collections de coquilles d'escargots échantillonnées dans des forêts.

Des pistes d'exploitation possibles :

- pourquoi l'étude des enclumes à grive présente-t-elle un intérêt dans l'étude de l'évolution de la fréquence des allèles au sein d'une population d'escargots ?
- cette sélection naturelle est-elle sous l'influence d'un seul facteur ?

La sélection de gènes intéressants pour l'Homme sera à nouveau abordée comme au cours de l'étude de l'évolution humaine. Avec **Recréer un aurochs (E)**, on montrera que la fréquence de certains gènes a évolué sous l'influence de l'environnement. **La domestication des animaux (H)** montre l'évolution de la fréquence de certains allèles sous l'effet d'une sélection liée à l'Homme.

COUPLAGE DES ÉVÉNEMENTS BIOLOGIQUES ET GÉOLOGIQUES AU COURS DU TEMPS, T^{le} S

Dans cette partie, on s'intéressera à certaines crises très médiatiques comme la crise crétacé-paléocène durant laquelle ont disparu de nombreux dinosaures ou de nombreux êtres vivant en milieu marin (ammonites, comme le montre la séquence **Les ammonites (V)**, *Globotruncana*...). Deux films, **La vallée des dinosaures** et **Le livre de pierre** (partie **Le temps d'une histoire**) illustreront ces aspects.

Quelques séquences, **Du dépôt au gisement (O)** et **Fossilisation (O)**, montrent comment un reste d'animal (ou d'êtres vivants) peut être fossilisé.

L'étude des foraminifères des marnes de Bidart (Pyrénées-Atlantiques) en travaux pratiques complétera ou précédera les informations apportées par le DVD. Elle montrera l'extinction massive et brutale d'organismes étudiés à l'échelle locale (marnes de Bidart) et à une échelle plus importante, grâce aux différents exemples vus dans les séquences du DVD. Ces phénomènes se sont déroulés soit dans le milieu océanique, soit dans le milieu continental. La libération des niches écologiques a permis l'émergence des autres espèces qui ont pu traverser ces périodes, telles que les mammifères après les dinosaures. Le DVD permet aussi d'approcher les différentes causes possibles pour la crise crétacé-paléocène (volcanisme, météorites...).

Enfin, on montrera que l'histoire de la Terre, au niveau géologique ou biologique, a été jalonnée de périodes d'événements importants, comme le montrent certains extraits pris dans la partie **Histoire de la vie**. À cette occasion, on verra que ces autres crises peuvent également être liées à des variations brutales des climats, telles que les fortes glaciations.

Des pistes d'exploitation possibles :

- quelles sont les traces des dinosaures que l'on peut retrouver au sein des gisements étudiés ?
- comment un squelette de dinosaure a-t-il évolué au cours du temps ?
- comment peut-on reconstituer le milieu où vivaient les dinosaures ?
- comment a-t-on pu montrer qu'en milieu marin une crise avait eu lieu à la fin du crétacé ?
- quelles sont les hypothèses sur l'explication de cette crise et sur quoi s'appuie-t-on pour les élaborer ?

DU PASSÉ GÉOLOGIQUE À L'ÉVOLUTION FUTURE DE LA PLANÈTE, T^{le} S (ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ)

Les climats passés seront reconstitués à partir d'indices laissés grâce aux fossiles. Les grandes glaciations ou les réchauffements seront abordées avec les séquences **Glaciations (V)** et **Changement de climat (V)**.

RESSOURCES

Livres

- CARON J.-M., GAUTHIER A., LARDEAUX J.-M. et al., *Comprendre et enseigner la planète Terre*, Ophrys, 2003.
- DANIEL Jean-Yves (dir.), BRAHIC André, HOFFERT Michel et al., *Sciences de la Terre et de l'Univers*, Vuibert, coll. « STU », 1999.
- FRÖHLICH François, SCHUBNEL Henri-Jean (dir.), *Les Âges de la Terre*, Muséum national d'histoire naturelle, 1999.
- LE GUYADER Hervé (dir.), *L'Évolution*, Belin, coll. « Bibliothèque pour la science », 1998.
- LECOINTRE Guillaume, LE GUYADER Hervé, *Classification phylogénétique du vivant*, Belin, 2001.
- LETHIERS Francis, *Évolution de la biosphère et événements géologiques*, Gordon and Breach, 1998.
- PICQ Pascal, *Au commencement était l'homme : de Toumaï à Cro-Magnon*, Odile Jacob, 2003.
- WILGENBUS David, BOUCHARD Jean-Marie, LÉNA Pierre (dir.) et al., *Graines de Sciences*, vol. 4, Le Pommier, 2002.

Logiciels

- *Anagène*, CNDP/INRP, coll. « Analyse de données, simulation... », 2003, réf. 755A0328.
- *Phylogène*, INRP, 2004 : version complète et gratuite sur le site de l'INRP, www.inrp.fr/Acces/biotic/evolut/phylogene/html/telechar.htm.
- PEREZ Pierre, GUCHEREAU Jean-Yves, *Lignée humaine* : logiciel gratuit téléchargeable sur le site <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/lycee/perez/evolution/ligsomm.htm>.

Cédéroms

- *Aux origines de l'homme*, Microfolies, 2004.
- *La Fin des temps glaciaires*, CRDP de l'académie de Grenoble, 2002, réf. 380M003E et 380M003M.
- PELHATE Jean-Michel, *Darwin et les Théories de l'évolution*, SFRS, 1997 : reconnu d'intérêt pédagogique par le ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie.

Sites internet

- <http://bd.educnet.education.fr/canalsvt/index.php3> : des pistes pédagogiques pour enseigner différents points de l'évolution, en utilisant le canal SVT.

- <http://tolweb.org/tree/phylogeny.html> : un site (en anglais) sur l'arbre phylogénétique du monde vivant.
- www.ac-nantes.fr/peda/disc/svt/classifs/index.htm : pour enseigner la classification des êtres vivants de la 6^e à la 1^{re}.
- www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/ et www.cnrs.fr/cw/dossiers/Origine/index.html : de très bons dossiers du CNRS sur l'« Évolution : de l'origine de la vie aux origines de l'homme » et « À la recherche des origines de l'homme... ».
- www.hominides.com/ (site français) et www.becominghuman.org/ (en anglais) : de bons sites sur les hominidés, avec les théories de l'évolution et du créationnisme, plusieurs dossiers, des chronologies, des références, des biographies...
- www.inrp.fr/Acces/biotic/evolut/accueil.htm : dossier de l'INRP sur la biodiversité et l'évolution, avec de nombreuses pistes pédagogiques, des logiciels et des données à télécharger.
- www.mnhn.fr/ : site du Muséum national d'histoire naturelle.
- www.scotese.com/sitemap.htm, www.ncdc.noaa.gov/paleo/paleo.html (en anglais) et www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s4/hist.continents.oceans.html (site canadien) : sur la tectonique des plaques et les paléoclimats, l'histoire des continents et des océans.

Série Histoires d'évolution

proposée par Jean-Baptiste de Panafieu
et Roger Foucher

Après le déluge

Auteur : Jean-Baptiste de Panafieu

Réalisateur : Christophe Barraud

© La Cinquième, CNDP, 1996

Nos cousins les animaux

Auteur : Jean-Baptiste de Panafieu

Réalisateur : Christophe Barraud

© La Cinquième, CNDP, 1996

Le choix de la mouette

Réalisateur : Pierre Combroux

© La Cinquième, CNDP, 1996

Une sélection bien naturelle (escargots

des haies, moustiques et insecticides)

Auteur : Pierre Combroux

Réalisateur : Jean-Baptiste de Panafieu

© La Cinquième, CNDP, 1997

Extraits de :

À belles dents

Auteur : Jean-Baptiste de Panafieu

Réalisateur : Nicolas Jouvin

© La Cinquième, CNDP, 1996

Chaud froid en Aquitaine

Auteur : Pierre Combroux

Réalisatrice : Bernadette Cazin

© La Cinquième, CNDP, 1996

Des animaux et des hommes

Réalisatrice : Bernadette Cazin

© La Cinquième, CNDP, 1996

Traces de pattes

Réalisatrice : Micheline Paintault

© La Cinquième, CNDP, 1997

Souris des villes, souris des champs

Réalisatrice : Bernadette Cazin

© La Cinquième, CNDP, 1996

Collection « Bâtisciences »

Hominisation

Auteur : Roger Foucher

Réalisateur : Jean-Paul Ravez

© CDDP de l'Essonne, 1995

Collection « In Situ »

Extraits de :

Biosynthèse en laboratoire, Évolution

moléculaire

© CNDP, CRDP Bretagne

Première cellules, Sortie des eaux

© CNDP, Le département d'enseignement

de la généralité de Catalunya

Fossilisation, Datation

© CNDP, CRDP Alsace

Série Histoires géologiques

Proposée par Roger Foucher

La vallée des dinosaures

Auteur : Agnès Zerwetz

Réalisatrice : Micheline Paintault

© La Cinquième, CNDP, 1998

Livre de pierre

Réalisateur : Jean-Baptiste de Panafieu

© La Cinquième, CNDP, 1999

Noir charbon

Auteur : Monique Fauré

Réalisateur : Bernard Losier

© La Cinquième, CNDP, 1999

Série Limites de recherche

Proposée par Philippe Tourancheau

Extraits de :

L'enfance de la terre

Réalisateur : Philippe Tourancheau

© La Cinquième, CNDP, 2000

La tête de l'ancêtre

Réalisateur : François Cardon

© La Cinquième, CNDP, 2000

La vie ailleurs

Réalisateur : Philippe Tourancheau

© La Cinquième, CNDP, 2000

Les plus anciens fossiles (stromatolites)

Réalisation : Bernard Favre

Coproduction CNRS Audiovisuel,

Muséum national d'histoire naturelle

Images A. Couté (MNHN), Gribouille

Séquences tournées au MNHN

La faune d'Ediacara, L'explosion

cambrienne, Les trilobites, Une mer au

dévonien, La crise permo-triasique,

Une mer au jurassique, Les ammonites,

Iguanodon et compagnie, Archéoptéryx,

L'évolution des mammifères,

Les ancêtres du cheval,

Le buisson humain, La sarigue de Cuvier

Réalisation : Mehdi Zergoun

Conception : Roger Foucher

Remerciements : Christian de Muizon,

responsable du département Histoire

de la Terre, MNHN ; Geneviève Boulinié,

Florence Labalette, service presse

MNHN ; Michel Brunet, UMR 6046

laboratoire de géochronologie,

biogéochronologie, paléontologie,

université de Poitiers ; Brigitte Senut,

MNHN et Ororrrin Eustace Gitonga

Community Museums of Kenya ;

Jean-Guy Michard, muséologue cellule

de rénovation des galeries de

Paléontologie et d'Anatomie comparée ;

Denys Prache, auteur concepteur de

L'océan des origines ; Philippe Coyault,

Océanopolis Brest ; Rita Hall,

SCI du noyer.

Images fixes : Néanderthal Mary

Evans/Keystone France ; Pithécanthropus

SPL/Cosmos ;

Extraits de : *L'empreinte des dinosaures,*

animation 3D et effets visuels Meteor

Studios, coproduction Gédéon

programmes/Espace vert/France 3/

France 5.

Dans le film *Le buisson humain,*

animation finale d'après le livre

de Pascal Picq *Au commencement*

était l'homme © Odile Jacob 2003.