

morphologie et entraîne une flambée d'étoiles.

Ces deux phénomènes expliqueraient la forte densité de galaxies bleues. Une formation d'étoiles plus élevée par le passé fait que les galaxies sont alors plus bleues et plus lumineuses, ce qui permet d'observer un plus grand nombre de galaxies de faibles masses. Si la coalescence est importante durant la vie d'une galaxie, les observations profondes doivent révéler un nombre de galaxies beaucoup plus important que ce qu'une simple extrapolation à partir de la densité locale le laissait supposer.

ÉLOIGNEMENT ET ÂGE DES GALAXIES

Pour dater les galaxies, ce qui est indispensable pour connaître leur évolution, on mesure leur distance, les deux données étant reliées par l'expansion de l'Univers : en observant les galaxies lointaines, on observe le passé. La mesure du décalage vers le rouge d'une galaxie (et donc de sa distance) nécessite dix fois plus de temps que l'enregistrement d'une image ; cette mesure est trop longue pour être systématiquement appliquée.

Fin 1992, notre groupe franco-canadien commence un sondage spectroscopique avec le télescope de 3,6 mètres de diamètre Canada-France-Hawaii. Grâce à la nouvelle technique multi-spectrale (qui consiste à enregistrer l'émission lumineuse d'une centaine de galaxies en une pose), notre équipe a mesuré l'éloignement de 600 galaxies lointaines en un temps record. Les galaxies les plus lointaines sont vieilles de six à sept milliards d'années. L'étude de cette population ancienne permet de retracer l'histoire des galaxies.

La luminosité des galaxies les plus bleues diminue d'un facteur trois en six milliards d'années. En revanche, pour les galaxies plus rouges, on observe peu de changements de luminosité sur une période analogue, ce qui dénote que leur âge est supérieur à la moitié de l'âge de l'Univers. Des observations conjointes, réalisées à l'aide du télescope spatial Hubble, montrent que les galaxies bleues les plus anciennes ont des formes plus torturées, indicatrices d'importantes interactions et de flambées localisées d'étoiles. La coalescence de petites galaxies avec des galaxies beaucoup plus massives a été très fréquente par le passé. Les traces de phénomènes plus violents, comme la rencontre de deux galaxies, chacune de masse comparable à celle de notre Voie lactée, sont, elles aussi, souvent observées.

Olivier LE FÈVRE
DAEC, Observatoire de Paris-Meudon

Photos révélatrices

Les bébés ressemblent à leur père.

Comme il ressemble à son père ! Quand les parents ou amis prononcent cette phrase rituelle, ils savent qui est le père. Qu'en serait-il s'ils l'ignoraient ? La ressemblance est-elle patente ? Des psychologues de l'Université de San Diego l'ont évaluée en montrant à des volontaires des photographies fournies par 22 familles. Les enfants avaient été photographiés quand ils avaient 1, 10 et 20 ans et leurs parents, quand l'enfant avait un et 20 ans. Les 122 volontaires devaient appairer les photographies de l'enfant avec une mère ou un père choisi parmi trois photographies de femmes ou d'hommes (et où figurait effectivement la mère ou le père).

Les enfants de 10 et 20 ans ne ressemblaient pas davantage à leurs parents qu'à des personnes prises au hasard. Les enfants de un an ne ressemblent pas à leur mère. En revanche, les appariements de photographies d'enfants de un an et de leur père sont corrects une fois sur deux (un appariement aléatoire ne serait juste qu'une fois sur trois, puisqu'il fallait choisir entre trois photos).

Pourquoi les enfants de un an (fille ou garçon) ressemblent-ils à leur père, plus qu'à leur mère ? Selon les psychologues responsables de l'étude, cette ressemblance spécifique aurait un avantage adaptatif pour le bébé : si la mère est sûre que l'enfant est d'elle, le père ne l'est pas. La ressemblance renforcerait l'instinct du père, rassuré sur sa paternité : reconnaissant l'enfant, il s'occuperait davantage de lui. Reste une question : quel est le handicap pour les enfants dont le père n'est pas celui que l'on pense, et qui représenteraient environ 10 pour cent des nouveau-nés ?



INSTITUT DE CALCUL MATHÉMATIQUE



L'Institut de Calcul Mathématique annonce le premier numéro de la "Lettre de l'ICM", qui paraîtra tous les trois mois et sera consacrée à des informations et à des débats à propos de la recherche mathématique et de ses applications. Sont concernés : les étudiants, à partir de la maîtrise, et les chercheurs.

Au sommaire du premier numéro, daté 1er janvier 1996 :

- Éditorial, par Bernard Beauzamy
- Les problèmes du mathématicien dans une Université non scientifique, par Jacqueline Fleckinger
- Les mathématiques vont-elles survivre ? Commentaires sur un article de V.I. Arnold
- Les processus mentaux de la création, par Gustave Choquet
- Nouvelles diverses
- Page culturelle

Au sommaire du deuxième numéro (parution au 1er avril) : Un dossier sur l'emploi en mathématiques

Abonnement annuel :
100 francs pour quatre numéros



Institut de Calcul Mathématique
37, rue Tournefort
75005 PARIS
Tél : 47-07-52-92
Fax : 48-07-83-97

Reconstitutions

En combinant tomographie, dessin assisté par ordinateur et stéréolithographie, on reconstitue des fossiles anciens sans les manipuler.

Nos connaissances sur l'évolution de l'homme reposent essentiellement sur des comparaisons de squelettes fossiles rares et incomplets. Leur reconstitution est un puzzle dont un grand nombre de pièces font défaut. De plus, la plupart des ossements sont si friables qu'on risque de les endommager lorsqu'on les dégage de leur gangue de roche, qu'on procède à des moulages d'empreintes ou qu'on les manipule lors d'une reconstitution.

Aussi nous avons mis au point une collaboration entre l'Institut d'Anthropologie et l'Institut d'Informatique de l'Université de Zurich pour développer et valider des méthodes assistées par ordinateur. Ces méthodes permettent d'extraire du peu de matériel fossile disponible un maximum d'informations sans recourir à la manipulation physique des échantillons. Elles reposent sur la combinaison de trois techniques : la tomographie assistée par ordinateur, l'imagerie sur ordinateur et la stéréolithographie.

La tomographie assistée par ordinateur, utilisée en médecine, est parfaitement adaptée au relevé des structures osseuses. Les ossements sont éclairés par un faisceau de rayons X qui les traverse par tranches successives. Les données accumulées sont traitées par ordinateur pour engendrer l'image complète.

Toutefois les images tomographiques telles qu'elles apparaissent sur l'écran ne sont pas très parlantes, et leur exploitation scientifique requiert le traitement de quantités énormes de données. Un

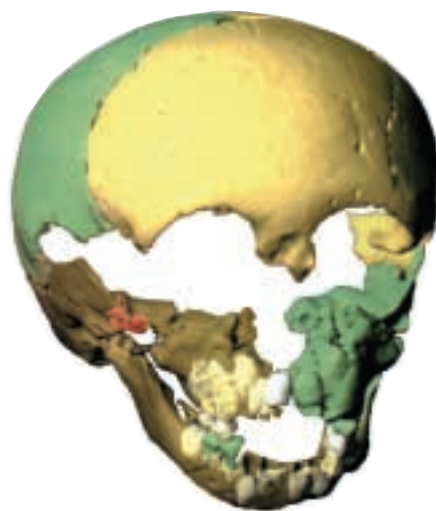
modèle solide est plus expressif, donc plus utile. La stéréolithographie permet de les reconstituer. Cette méthode, couramment utilisée par les ingénieurs pour créer des prototypes réels à partir d'éléments conçus par ordinateur, consiste à polymériser et durcir couche par couche une résine liquide par un rayonnement laser à ultraviolets. Cette technique n'est qu'une variante de haute technologie de la construction de maquettes de paysages à partir de couches de carton.

Nous avons aussi développé des logiciels réalisant, à partir des données tomographiques, des modèles tridimensionnels précis de fragments de fossiles que l'on pouvait manipuler de manière interactive à l'écran, mesurer, modifier si nécessaire, puis figer dans les répliques stéréolithographiques.

L'ENFANT DE NÉANDERTAL

Nous avons débuté nos recherches anthropologiques sur les fragments de crâne d'un enfant de Néandertal décédé depuis quelque 40 000 ans. Ces ossements ont été trouvés à Gibraltar et portent le nom du lieu de leur découverte, *Devil's Tower* (La Tour du Diable). Ce fossile est d'autant plus intéressant que seuls cinq fragments sont bien conservés et il n'était pas certain qu'ils provenaient du même individu.

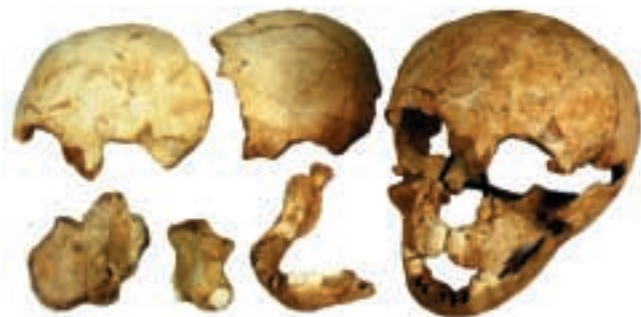
Avec la tomographie, nous avons reconstitué le crâne virtuel sur l'écran d'une station graphique (voir la figure 1). Au cours de ce processus, nous nous sommes efforcés de tirer le meilleur



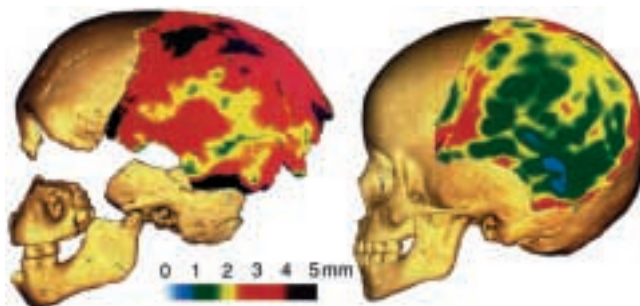
1. Reconstitution virtuelle du crâne de l'enfant de Néandertal découvert à *Devil's Tower* à l'aide de coupes tomographiques. Les fragments conservés (en jaune) ont été placés dans leur position correcte sur l'écran et les parties manquantes ont été complétées grâce à l'image-miroir des parties disponibles (en vert).

parti de l'ensemble des données tomographiques pour localiser les divers fragments dans leur position anatomique correcte. Les parties manquantes ont pu être reconstituées à partir de l'image-miroir de celles dont nous disposions, ce qui illustre les avantages du traitement des images : alors que dans le passé, les conservateurs passaient des semaines d'un travail manuel pénible et minutieux pour reconstituer une telle image-miroir tridimensionnelle, l'ordinateur les construit en quelques secondes.

La reconstitution du crâne débuta par la mâchoire inférieure : grâce à une opération de chirurgie virtuelle, nous avons pu compléter la branche gauche manquante du maxillaire et implanter des copies symétriques des molaires de lait gauches sur la partie droite. Nous avons alors placé la mâchoire supérieure gauche munie de ses dents ainsi que son image-miroir. Un point reste encore impossible



2. Répliques des fragments du crâne de l'enfant de *Devil's Tower* obtenues par stéréolithographie d'après les données de la tomographie (à gauche), et reconstitution par ordinateur du crâne (à droite).



3. Cartographie d'épaisseur des os de l'enfant de *Devil's Tower* (à gauche) et d'un enfant actuel de même âge (à droite). Les os du fossile néandertalien sont nettement plus épais.

à vérifier sur les ordinateurs actuels, aussi puissants soient-ils : le contact au niveau des dents. C'est pourquoi nous avons contrôlé l'ajustement de la dentition sur un modèle produit par stéréolithographie, tout comme le fait un dentiste sur un plâtre.

Nous avons visualisé les osselets de l'organe auditif. Ces derniers nous servirent de points de repère anatomiques précis et fiables pour placer correctement l'os temporal. Lors de l'étape suivante, nous avons ajusté l'os frontal avec l'os temporal gauche, et complété l'os temporal droit manquant. Puis nous avons placé la boîte crânienne ainsi reconstituée sur la base du crâne qui avait été reconstruite indépendamment. Les deux parties s'emboîtèrent au millimètre près, ce nous permit de conclure sans ambiguïté qu'elles provenaient d'un seul et même individu. Grâce à la technique stéréolithographique, nous avons matérialisé la reconstitution par ordinateur de notre crâne virtuel (*voir la figure 2*).

COMPARAISON MORPHOLOGIQUE

Nous avons utilisé cette méthode pour reconstituer deux autres crânes d'enfants de Néandertal qui avaient été découverts l'un en Belgique, l'autre en France. Dans ce cas, l'ordinateur nous fut d'un grand secours pour corriger les déformations des os par la roche environnante. Ce n'est qu'après cette étape que nous avons effectué les relevés anthropométriques permettant de comparer ces crânes à ceux d'enfants actuels.

On savait depuis longtemps que l'homme de Néandertal possédait des os plus épais que l'homme moderne. Mais comme l'épaisseur de l'os de la calotte crânienne est très variable, les mesures manuelles ne donnaient pas de résultats précis. Grâce à l'ordinateur, on a établi une cartographie de l'épaisseur de la couche osseuse permettant ainsi des comparaisons détaillées entre individus (*voir la figure 3*).

La morphologie crânienne de l'homme de Néandertal se différenciait nettement, dès l'âge de trois à cinq ans, de celle de l'homme moderne. Les reconstitutions montrent des détails morphologiques typiques de l'homme de Néandertal, tels que la mâchoire inférieure en saillie avec son menton arrondi, une partie frontale relativement courte et une forme générale de crâne plutôt oblongue. À notre avis, ces différences d'épaisseur des os et les autres détails anatomiques sont tellement marqués qu'ils imposeraient la classification de ces deux formes d'hominiens dans deux espèces différentes.

Christoph ZOLLIKOFER
et Marcia PONCE de LEON

Discrète séduction

Chez certains oiseaux tropicaux, les mâles parodent sous un éclairage qui donne à leurs couleurs un maximum de contraste.

Quelle facette de l'évolution Darwin n'a-t-il pas analysée? Citons-le : «D'autre part, j'admets volontiers qu'un grand nombre d'animaux mâles, tels que tous nos oiseaux les plus magnifiques, (...) ont acquis la beauté pour la beauté elle-même ; mais ce résultat a été obtenu par la sélection sexuelle, c'est-à-dire parce que les femelles ont continuellement choisi les plus beaux mâles». En liant le succès reproducteur des mâles à l'éclat de leurs couleurs lors de la parade amoureuse, Darwin expliquait l'évolution des plumages magnifiques de nombreuses espèces d'oiseaux tropicaux. Toutefois, si ces couleurs attirent les femelles sur les lieux de parade, ne risquent-elles pas d'attirer l'attention des prédateurs? Nous allons voir que, chez certains oiseaux, les couleurs et le comportement de parade ont évolué conjointement, conciliant séduction et camouflage.

La visibilité de l'oiseau pour ses congénères et ses prédateurs dépend de la composition de la lumière et de la façon dont son plumage réfléchit cette lumière (le «spectre de réflectance»). En se montrant dans des conditions de lumière spécifiques, le mâle tirerait le meilleur parti de son plumage lors de la parade et serait presque indécélable le reste du temps. Nous avons testé cette hypothèse chez trois espèces d'oiseaux qui vivent dans

la forêt tropicale en Guyane française : le coq-de-roche (orange, plumes jaunes, noires et blanches), le manakin à front blanc (noir tacheté de jaune, turquoise, blanc et orange) et le manakin à gorge blanche (noir à reflets bleu iridescent, taches blanches). Dans ces espèces, les mâles se regroupent sur des sites de parade pour séduire les femelles. Les mêmes sites sont utilisés pendant plusieurs générations. Les femelles, de coloration brune ou verdâtre, choisissent un mâle, s'accouplent sur des «arènes nuptiales», puis s'occupent seules de la construction du nid, de la couvaison et de l'élevage des jeunes.

Afin de comprendre comment ces oiseaux utilisent la lumière, nous avons noté les comportements de parade et leur fréquence dans différents environnements lumineux. Ces «qualités» de lumière sont déterminées par la couverture végétale, l'heure et l'état du ciel. Nous avons échantillonné la lumière à l'emplacement occupé par l'oiseau dans différentes conditions d'ensoleillement, puis nous avons comparé ces éclaircissements à ceux des abords du site de parade et de la forêt alentour. Enfin nous avons mesuré le spectre de réflectance de chaque élément coloré du plumage du mâle, ainsi que le spectre des éléments végétaux qui formaient l'arrière-plan.

La comparaison des spectres montre que les couleurs des mâles sont différentes de celles des fonds visuels, alors que celles des femelles et des jeunes sont proches de l'arrière-plan végétal. Alors que les femelles et les jeunes sont légèrement plus lumineux que l'arrière-plan, les mâles le sont beaucoup plus, à l'exception du mâle coq-de-roche. D'autre part, les taches de couleur des mâles sont soit très saturées, soit très lumineuses.

SE MONTRER PAR ÉCLIPSES

En outre, ces mesures révèlent que la visibilité des oiseaux varie beaucoup d'un environnement lumineux à l'autre. Par exemple, la parade des mâles coq-de-roche requiert un temps ensoleillé et la présence de petites taches de soleil sur leurs perchoirs. Cet éclairage n'existe qu'à certaines heures et résulte de l'architecture de la végétation au-dessus des arènes nuptiales. Les parades sont plus actives quand la tache de soleil n'illumine qu'une partie du corps orange du mâle : dans cette configuration, les flancs ornés de plumes jaunes sont éclairés alors que le reste du plumage demeure dans l'ombre. L'oiseau optimise ainsi les contrastes de luminosité et de couleur entre les éléments de son plumage ainsi que le contraste de chaque élément avec le fond.

Les mâles s'affrontent pour occuper cette position ; au cours de la journée, ils se déplacent le long de la branche pour rester au bord de la tache lumineuse ou coupent des feuilles pour que leur perchoir reste illuminé. L'accouplement a lieu au sol, dans l'ombre de l'arène : dans ces conditions spectrales, le mâle comme la femelle sont moins visibles et moins vulnérables. On observe des relations similaires entre couleur, lumière et parade nuptiale chez les deux autres oiseaux étudiés : aux heures et lieux de parade, la visibilité des femelles est minimale et celle des mâles est maximale à la distance où se tiennent les femelles. Les conditions lumineuses optimales varient d'une espèce à l'autre. Chez le manakin à front blanc, la parade se déroule dans l'ombre du sous-bois quand le soleil est masqué par les nuages : sa croupe turquoise se détache sur le reste du plumage.

En considérant les caractéristiques spectrales d'un milieu forestier, il est possible de prévoir les couleurs les plus utilisées dans cet environnement lumineux, et vice versa. De telles analyses «éclaircissent» les relations entre couleurs corporelles, comportements de parade, rythmes d'activité et microhabitat lumineux.

Marc THÉRY, Muséum d'histoire naturelle, CNRS URA1183
John ENDLER, Université de Californie



Lors de la parade, le mâle coq-de-roche se tient à la frontière d'une tache de lumière : le contraste est maximal entre les plumes jaunes éclairées et le reste du corps orange, dans l'ombre.