



© Shutterstock.com/Piotr Wawrzyniak

L'AVÈNEMENT DE L'ÈRE NUMÉRIQUE est l'une des modifications environnementales les plus importantes de l'histoire humaine. La plasticité cérébrale des adolescents leur offre une opportunité unique de s'y adapter.

■ BIBLIOGRAPHIE

L. Steinberg, *Age of Opportunity : Lessons from the New Science of Adolescence*, Houghton Mifflin Harcourt, 2014.

Qui sont les ados ?, *L'Essentiel Cerveau&Psycho*, n° 15, août-octobre 2013.

E. L. Dennis et al., *Development of brain structural connectivity between ages 12 and 30 : A 4-tesla diffusion imaging study in 439 adolescents and adults*, *NeuroImage*, vol. 64, pp. 671-684, 2013.

B. Strauch, *The Primal Teen : What the New Discoveries about the Teenage Brain Tell Us about Our Kids*, Doubleday, 2003.

Certaines interventions dites comportementales sont ainsi très efficaces contre les troubles obsessionnels compulsifs (TOC), qui, sinon, risquent de handicaper à vie le sujet. Elles consistent à déclencher le comportement obsessionnel, par exemple en exposant à la saleté quelqu'un qui se lave les mains toutes les cinq minutes, mais en modifiant peu à peu la réaction – ici en forçant le sujet à se savonner un peu moins. Comprendre que le cerveau est modifiable durant toute l'adolescence apporte l'espoir de redresser le cap en cas de problème. Arrêtons de croire que les jeunes sont des causes perdues !

En dehors des pathologies, il est aussi utile de ne pas oublier la plasticité du cerveau adolescent dans la vie quotidienne. Savoir que les fonctions exécutives préfrontales sont encore en construction, par exemple, peut aider les parents à ne pas réagir avec excès lorsque leur fille se teint subitement les cheveux en orange. L'espoir que son jugement évolue est fondé scientifiquement ! En outre, grâce à cette plasticité, un dialogue constructif avec les adolescents sur des sujets tels que les libertés et les responsabilités est susceptible d'influer sur leur développement.

Les recherches sur l'adolescence restent à approfondir. Elles manquent encore d'infrastructures, de financements et de

spécialistes, mais cela commence à changer avec les résultats acquis ces dernières années. La volonté est forte de minimiser les risques pour les adolescents et d'exploiter l'incroyable plasticité de leur cerveau.

Comment se traduira leur capacité d'adaptation face à l'une des modifications environnementales les plus importantes de l'histoire, à savoir la révolution numérique ? Lors des 20 dernières années, les ordinateurs, les jeux vidéo et les téléphones portables ont changé en profondeur la façon dont les adolescents apprennent, jouent et interagissent. Les informations sont aujourd'hui disponibles en masse, mais leur qualité est très variable. À l'avenir, la difficulté ne consistera pas à se souvenir des données, mais à savoir en évaluer une grande quantité de façon critique, y discerner celles que l'on cherche, en faire la synthèse et les utiliser pour résoudre des problèmes réels. Les éducateurs devraient confronter les adolescents à ces tâches, pour entraîner leur cerveau si plastique à répondre aux exigences de l'ère numérique.

La croisée des chemins

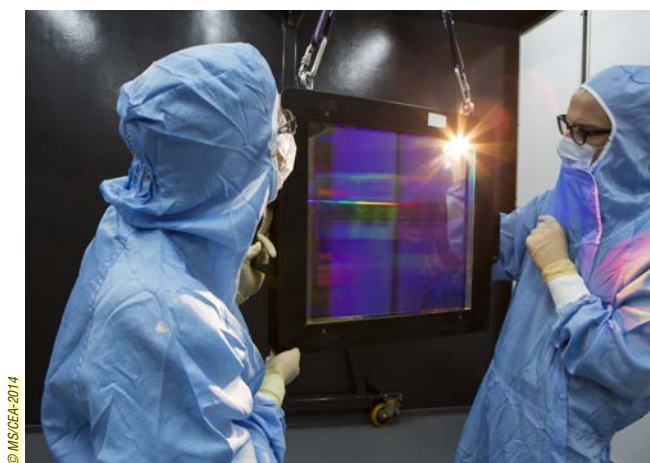
Plus généralement, la société pourrait exploiter davantage la passion et la créativité inhérentes à cette période de la vie. Elle devrait aussi se rendre compte que les années de l'adolescence sont un tournant, où l'on peut choisir le chemin de la citoyenneté pacifique, de la criminalité ou, dans de rares cas, de la radicalisation. Dans toutes les cultures, les adolescents sont les plus susceptibles d'être recrutés comme soldats ou comme terroristes, tout comme ils sont le plus facilement orientables vers les professions d'enseignant ou d'ingénieur. Une meilleure compréhension du cerveau adolescent pourrait également aider les juges et les jurés à prendre des décisions dans les procès criminels.

Concernant les adolescents eux-mêmes, les nouvelles connaissances en neurosciences devraient les encourager à solliciter leur plasticité cérébrale pour s'améliorer dans les domaines qui les intéressent. Ils ont une merveilleuse occasion de façonner leur propre identité et d'optimiser leur cerveau en fonction de leurs choix. Ils pourront ainsi naviguer au mieux dans un avenir numérique qui sera prodigieusement différent de ce qu'auront vécu leurs parents. ■

CEA

70 ans de recherche et d'innovation

Dossier réalisé en partenariat avec le CEA
Édition : Olivier Néron de Surgy - Graphisme : Ghislaine Salmon-Legagneur



À l'occasion de son 70^e anniversaire, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives présente, dans ce cahier spécial de *Pour la Science*, quelques-uns de ses grands chantiers de recherche et d'innovation technologique. Climatologie, imagerie médicale, lasers, nanotechnologies, réacteurs nucléaires... ces travaux sont à l'avant-garde de la science d'aujourd'hui.

sommaire

52 Une climatologie plurielle
Valérie Masson-Delmotte

56 Les NEMS en marche
Éric Ollier

60 Les systèmes nucléaires du futur
Christophe Béhar

65 Des lasers ultrabrefs
Philippe Martin

66 Mégajoule, laser de l'extrême
Pierre Vivini et Charles Lion

70 Mieux voir le corps
Régine Trebossen et Patrick Philippon

Une climatologie plurielle

Valérie Masson-Delmotte

Les recherches menées depuis 70 ans au CEA contribuent à mieux connaître le climat. Elles sont engagées dans des approches innovantes qui aideront à mieux anticiper les variations climatiques en appui aux politiques climatiques.

L'état des connaissances qui portent sur le changement climatique fait l'objet, depuis 1990, de rapports du Giec, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat. Leurs auteurs s'appuient sur les résultats de travaux de recherche pour effectuer tous les cinq ou six ans une synthèse critique sur les changements climatiques, leurs causes, leurs impacts et l'espace des solutions.

Les sciences du climat ont apporté des résultats majeurs et explorent de nouvelles voies de recherche. C'est grâce à ses savoir-faire en métrologie (la science de la mesure), en réseaux d'observation et en techniques de simulation que le CEA a pu s'engager tôt dans ce domaine.

Comme ses précurseurs (le Centre des faibles radioactivités, le Laboratoire de géochimie isotopique et le Laboratoire de modélisation du climat et de l'environnement), le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), dont le CEA est partie prenante, a apporté des contributions fortes à la compréhension du fonctionnement du climat et a participé à la rédaction des rapports du Giec. Ses résultats sont le fruit de voies de recherche ouvertes au cours des 70 dernières années :

Valérie MASSON-DELMOTTE est directrice de recherche CEA au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) à Saclay, près de Paris. Laboratoire mixte du CEA, du CNRS et de l'université Versailles-Saint-Quentin, le LSCE fera partie du département « Sciences de la planète et de l'univers » de l'université Paris-Saclay.



L'ANALYSE CHIMIQUE
d'un échantillon d'air préparée
au LSCE à Saclay.

l'application de méthodes physiques pointues, la surveillance de l'atmosphère et la modélisation du système climatique, dans le cadre de grands programmes scientifiques internationaux (*World Climate Research Programme, Past Global Changes, Global Carbon Project*, etc.).

Exploiter les archives naturelles

Le climat terrestre est aujourd'hui surveillé de manière intensive par des réseaux météorologiques et océanographiques, par des observations spatiales... Mais les données obtenues ne sont disponibles que depuis un temps court par rapport aux échelles de temps caractéristiques de la plupart des composantes du système climatique (voir le schéma page ci-contre) : 20 ans pour la circulation profonde de l'océan Atlantique, 40 pour l'extension de la glace de mer autour de l'Antarctique, 150 pour la température moyenne à la surface de la Terre... Or, connaître les variations climatiques antérieures est essentiel pour



savoir si un changement récent relève ou non de la variabilité naturelle du climat.

Une telle histoire donne aussi accès à des « expériences naturelles » sur les réponses du système climatique aux perturbations astronomiques, volcaniques ou tectoniques. Les résultats permettent de décortiquer le fonctionnement de ce système, ses rétroactions, ses points de bascule... et fournissent un banc d'essai pour tester des modèles de climat.

La paléoclimatologie acquiert de nouvelles informations à l'aide de « reconstructions » appuyées sur des enregistrements indirects, c'est-à-dire des empreintes physiques, chimiques ou biologiques (nommées *proxies*) laissées par les variations climatiques dans des milieux naturels tels que les sédiments des océans ou des lacs, les concrétions des grottes, les sols, les anneaux de croissance des arbres, les coraux et les glaciers, et en datant ces enregistrements. Elle recourt à une logistique antarctique ou maritime, avec notamment le navire océanographique *Marion-Dufresne*, et à des forages ou des carottages opérés avec

l'appui de l'institut polaire Paul-Émile-Victor. Elle s'appuie aussi sur des plateformes de laboratoire et leurs innovations en matière de datation et d'analyse ultra-précise de milliers d'échantillons. Certaines reconstructions sont ainsi réalisées à partir de la mesure de l'abondance de différents isotopes du carbone ou de l'oxygène, qui dépend des conditions climatiques présentes lors de la formation des dépôts étudiés. Un travail important, mené à l'aide notamment d'approches statistiques et de modélisations, porte sur la quantification des relations entre les paramètres mesurés sur les *proxies* et les variables climatiques.

Les recherches menées au CEA sur les archives naturelles ont apporté des clés pour caractériser et comprendre les variations climatiques les plus intenses ou brusques au cours du dernier million d'années, lors des transitions entre les périodes glaciaires et interglaciaires. Elles ont mis en évidence l'importance des interactions entre le climat, la circulation océanique, les calottes de glace (et donc le niveau des mers) et le cycle du carbone, tout particulièrement dans l'océan Austral. Appréhender correctement le rôle de ces interactions dans les variations climatiques passées et futures reste néanmoins un grand défi. Un nouveau projet de forage dans les glaces antarctiques, *Beyond Epica*, vise à comprendre les mécanismes de la

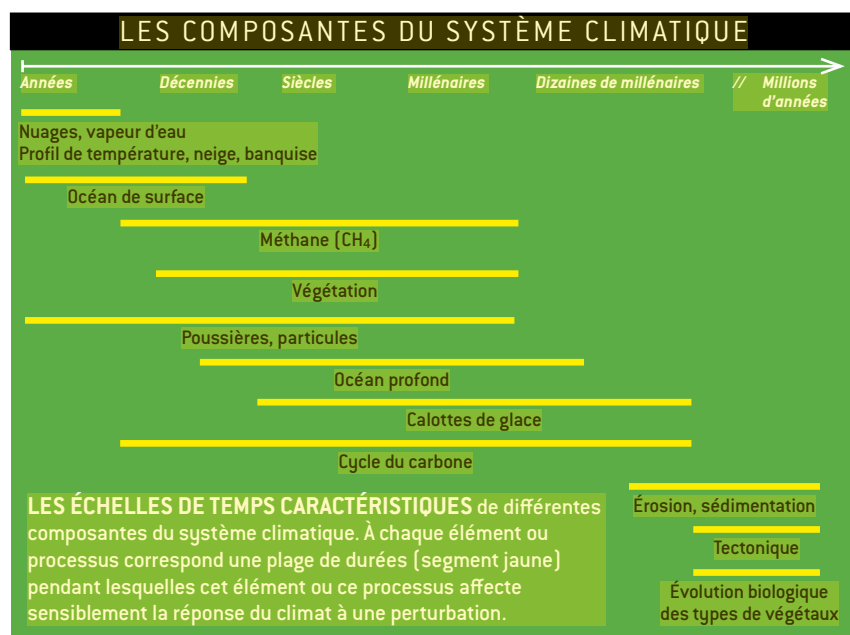
dernière grande réorganisation du climat, il y a environ un million d'années, marquée par une augmentation de l'amplitude et de la durée des glaciations par rapport aux périodes antérieures.

Évaluer les modèles

Les informations issues de périodes clés de climats passés jouent un rôle déterminant dans l'évaluation de la confiance qu'on peut accorder aux modèles numériques, seuls outils qui permettent de prédire l'évolution climatique future. Cette évaluation repose en effet sur la confrontation entre ces données et les résultats de simulations qui sont généralement effectuées à partir d'un climat moyen sur plusieurs siècles et « à l'équilibre ».

Les travaux en cours portent sur l'évaluation de la capacité des modèles à rendre compte correctement des aspects transitoires des variations climatiques passées, comme celles du dernier millénaire dues aux variations de l'activité des volcans et du Soleil, ou des instabilités les plus rapides intervenues lors des glaciations.

Le LSCE joue un rôle moteur dans le *Paleoclimate Modelling Intercomparison Project*, un programme de recherche international qui porte sur l'évaluation des modèles de climat par leur confrontation aux données paléoclimatiques. Un autre travail en cours



V. Masson-Delmotte, pour Nature, vol. 491 (2012)