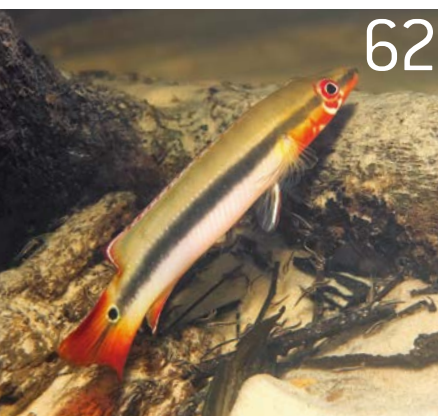


52 **ARCHÉOLOGIE** Qui a détruit la cité biblique de Hatsor ?

Amnon Ben-Tor

La conquête par les Hébreux de la « Terre promise » a-t-elle vraiment eu lieu ? Les fouilles de l'ancienne Hatsor, en Israël, éclairent cette grande question de l'archéologie biblique et brossent le tableau de l'une des principales cités de la région à l'âge du Bronze.



62 **PORTFOLIO** Plongée dans les eaux douce de Guyane

Frédéric Melki

Comme d'autres régions tropicales, la Guyane française abrite une faune et une flore très riches. Avec près de 450 espèces, ses poissons d'eau douce forment l'un des groupes les plus diversifiés – un univers aussi spectaculaire que méconnu.

70 **HISTOIRE DES TECHNIQUES** Comment on a sécurisé la carte à puce

Jean-Jacques Quisquater et Jean-Louis Desvignes

Dans les années 1980, on s'est aperçu que la carte à puce n'était pas sans faille. Un mariage avec la cryptographie, domaine alors en pleine renaissance, s'imposait d'urgence...

Rendez-vous

78 **Logique & calcul**

Est-il vrai que $0,999... = 1$?

Jean-Paul Delahaye

Certaines approches tentent de soutenir rigoureusement que $0,999... < 1$, afin d'éviter la non-unicité des développements décimaux.

84 **Science & fiction**

Seul sur Mars, un manuel de survie

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

86 **Art & science**

Un jardin qui coule de source

Loïc Mangin

89 **Idées de physique**

Dompter la vague avec une planche

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



92 **Question aux experts**

Boire de l'alcool fait-il grossir ?

Bernard Schmitt

94 **Science & gastronomie**

Toxique, le pain complet ?

Hervé This

96 **À lire**

98 **Bloc-notes**

Les chroniques de Didier Nordon

SCIENCE.fr

LETTRE D'INFORMATION



Ne manquez pas
la parution
de votre magazine
grâce à la NEWSLETTER

- Notre sélection d'articles
- Des offres préférentielles
- Nos autres magazines en kiosque



Recevez gratuitement la lettre d'information en inscrivant uniquement votre adresse mail sur www.pourlascience.fr

CREATIVE
AWARDS
2016

by SAXOPRINT

Grand Prix du Jury des Creative Awards 2016, un concours organisé avec le soutien de l'imprimeur



#FishForward

1 POISSON SUR 5 EST ISSU DE LA PÊCHE ILLÉGALE.
CETTE ACTIVITÉ MET EN PÉRIL LES OCÉANS ET LES PÊCHEURS.
IL EST URGENT D'AGIR. Protéger les océans, c'est sauver notre planète.

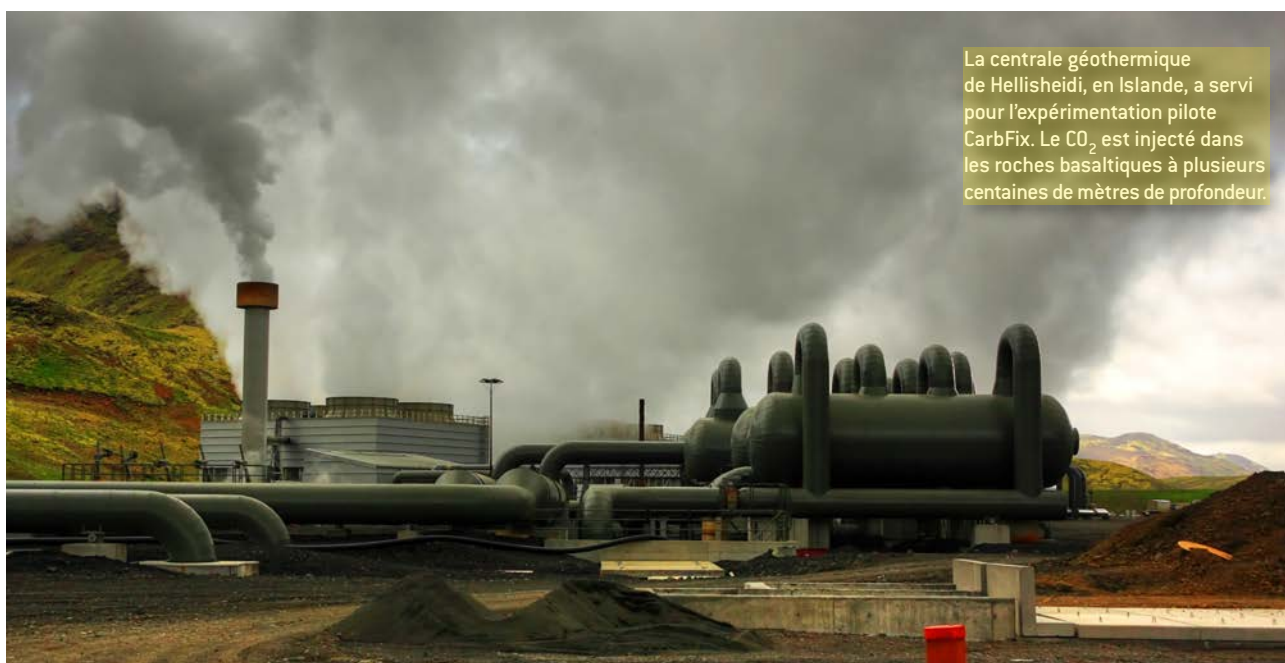


Actualités

Géochimie

Séquestrer de façon sûre et rapide du gaz carbonique

En Islande, CarbFix, une expérimentation pilote de séquestration du dioxyde de carbone, a montré qu'une fois ce gaz injecté dans des roches basaltiques, il se transforme définitivement en roches stables en deux années seulement.



La séquestration géologique, c'est-à-dire le stockage de gaz dans des couches géologiques imperméables, fait partie des méthodes de lutte envisagées contre la hausse de la concentration atmosphérique du dioxyde de carbone (CO₂), principal responsable du réchauffement climatique planétaire. La sûreté à moyen et long termes de cette séquestration est un enjeu industriel majeur en raison du risque de fuites accidentelles. Or l'expérimentation CarbFix en Islande, dirigée par Juerg Matter, de l'université de Southampton, en Grande-Bretagne, a permis la transformation de centaines de tonnes de CO₂ en roches carbonatées inertes en seulement deux ans.

On envisage généralement la séquestration du CO₂ dans d'anciens gisements d'hydrocarbures épuisés (des poches constituées de roches étanches) ou dans des aquifères profonds, c'est-à-dire des roches fortement poreuses qui ne communiquent pas avec les aquifères de surface constituant les nappes phréatiques. On injecte alors le gaz à haute pression, sous une forme dite supercritique. Mais dans ces conditions, le risque de relargage accidentel reste présent pendant des centaines d'années, le temps nécessaire pour que le CO₂ se minéralise, c'est-à-dire s'associe à d'autres éléments et se transforme en roches stables.

Dans le cas de l'expérience CarbFix, menée en 2012, le choix

s'est porté sur une injection de CO₂ dans des roches basaltiques (issues du refroidissement rapide du magma). « Cela fait une vingtaine d'années qu'on sait que le basalte présente les caractéristiques nécessaires pour entraîner une minéralisation beaucoup plus rapide », précise Steve Peuble, chercheur au laboratoire de géologie de Lyon. Roche poreuse, ultrabasilique, riche en fer, magnésium, et calcium, le basalte permet à la fois une bonne diffusion du gaz, mais aussi la réaction acido-basique qui transforme le CO₂, substance acide, en carbonates inertes et stables.

Première expérimentation menée *in situ*, CarbFix a consisté

à injecter environ 220 tonnes de gaz carbonique issues d'un site industriel voisin dans du basalte entre 400 et 800 mètres de profondeur. Afin de limiter le risque de fuite vers la surface, important en raison de la fracturation naturelle de la roche et de la faible profondeur de l'expérimentation, les scientifiques ont choisi de dissoudre le gaz dans de l'eau avant l'injection. Cela permet également d'accélérer la formation des carbonates, puisque les ions métalliques issus des roches se dissolvent aussi dans cette eau injectée et réagissent ainsi plus facilement avec le gaz carbonique.

Les besoins importants en eau limitent cette séquestration

Archéologie

Tuerie de Parisiens néolithiques en Alsace

Mains brisées, crânes défoncés, bras coupés... À Achenheim, dans la banlieue de Strasbourg, une équipe de l'Inrap a découvert une fosse remplie de restes humains témoignant d'un épisode d'une extrême violence survenu il y a plus de 6 200 ans. Philippe Lefranc, qui a dirigé les fouilles, nous présente cette macabre découverte et la commente.

essentiellement aux sites côtiers : l'eau représentant 95 % de la masse injectée lors du processus, une centrale électrique émettant annuellement 40 000 tonnes de CO₂ nécessiterait l'équivalent de près de 800 piscines olympiques. En revanche, l'eau utilisée ne devrait pas polluer l'environnement, selon Steve Peuble : « Comme le CO₂, l'eau se retrouve piégée dans le basalte, car il est surmonté par une couche de hyaloclastites, des roches imperméables. Et en cas de remontée accidentelle, elle n'est de toute façon pas polluée par le procédé. »

Deux ans après, les mesures effectuées dans le puits principal comme dans les puits de contrôle montrent qu'au moins 95 % du gaz carbonique injecté ont été convertis en roches carbonatées, dont la stabilité se compte en centaines de milliers d'années.

Pour Steve Peuble, « la quantité exacte de CO₂ ainsi séquestrable reste à déterminer. Notamment, en précipitant, le CO₂ peut réduire petit à petit les pores de la roche et finir par boucher le puits. Et une autre réaction chimique, la serpentinisation, qui crée des sortes de filaments minéraux, peut aussi contribuer à ce phénomène. Néanmoins, l'expérience CarbFix montre d'ores et déjà qu'il est aujourd'hui envisageable d'absorber les milliers de tonnes de gaz produites chaque année par les sites industriels installés à proximité de couches basaltiques. Rien qu'en Islande, les estimations de stockage sont comprises entre 2... et 2 000 gigatonnes ».

Martin Tiano

J. M. Matter et al., *Science*, vol. 352, pp. 1312-1314, 2016

Qu'avez-vous découvert dans un silo désaffecté au milieu du village néolithique fortifié d'Achenheim ?

Philippe Lefranc : Nous avons trouvé six squelettes d'hommes polyfracturés dont les cadavres ont été jetés en vrac, accompagnés par quatre bras gauches coupés au niveau de l'humérus.

De quelle époque s'agit-il ?

Ph. L. : Les artefacts mêlés à la terre de remplissage indiquent que le dépôt date de 4400-4200 avant notre ère.

Quelle culture occupait l'Alsace à cette époque ?

Ph. L. : Le groupe de Bruebach-Oberbergen. Ce groupe est un héritier direct de la culture à céramique linéaire (5700-5000), à l'origine du courant de néolithisation danubien, avec ses maisons de bois et pisé, ses grandes nécropoles, sa céramique, ses haches polies...

Y avait-il quelque chose de particulier concernant ce groupe ?

Ph. L. : Rien, sinon qu'il traversait une période troublée. Chose unique en Alsace, le village, dont la fosse occupait d'ailleurs le centre, était entouré par une grande enceinte défensive.

Pourquoi ?

Ph. L. : On peut juste faire remarquer que le groupe de Bruebach-Oberbergen était à l'époque sur le point d'être remplacé par un autre

groupe de culture danubienne venant du Bassin parisien.

Des « Parisiens » étaient-ils à la conquête de l'Alsace ?

Ph. L. : Peut-être, mais les guerres « primitives » ne sont pas de conquête. On peut juste supposer que l'arrivée d'étrangers a exacerbé les tensions, provoquant des raids entre communautés. Du reste, deux pointes de flèches ont été trouvées au contact de l'un des squelettes, ce qui suggère un combat.



Philippe Lefranc, archéologue du Néolithique à l'Inrap

Y a-t-il d'autres possibilités ?

Ph. L. : Une autre serait que l'homme en question, comme les autres captifs, ait été amené au village pour y être massacré. C'est l'interprétation qui prévaut étant donné que, comme l'a montré Fanny Chenal, qui étudie ces restes, tous les défunts ont été poignardés, ont eu le crâne éclaté, le bassin brisé, les phalanges écrasées... bref, tant de blessures pour la plupart mortelles qu'elles ne peuvent résulter que d'un déchaînement de violence en partie *post mortem*.

Donc une violence ritualisée ?

Ph. L. : Oui, c'est ce que rend vraisemblable la comparaison ethnologique avec les pratiques amérindiennes. Les Iroquois, par exemple, ramenaient des captifs pour les torturer toute une nuit avant de les exécuter. Outre ces trophées vivants, d'autres Amérindiens prélevaient des scalps ou des membres. À Achenheim, les bras gauches coupés constituent clairement des prises de trophées guerriers.

Pourquoi de tels rites ?

Ph. L. : Leur fonction, peut-on imaginer, est de terroriser l'ennemi, d'handicaper le guerrier ennemi lors de son voyage dans l'au-delà, mais aussi de renforcer l'identité du groupe en engageant chacun, du moins parmi les guerriers, dans le meurtre de l'autre. Très traditionalistes, les communautés néolithiques détestaient sans doute l'innovation et le changement, donc l'étranger qui les apportait. Comme chaque groupe faisait de même, il fallait s'allier pour survivre, ce qui se faisait par échange de femmes. Les nombreuses traces de violence que nous relevons suggèrent que la guerre était endémique. Pour tenter de préciser le sens de celle qui a eu lieu à Achenheim, nous allons analyser les gènes des défunts et tenter de déduire du strontium de leurs dents le lieu où ils ont grandi.

François Savatier