



mais recevant des précipitations relativement importantes pendant le chaud été austral. Cela favorise la formation de nombreux karsts, c'est-à-dire de terrains comportant de nombreuses grottes formées par la dissolution de roches telles que le calcaire, la dolomite et le gypse. Ces paysages comprennent des centaines de cavités, dont certaines prennent la forme de dolines, c'est-à-dire de puits en terrain plat. Ces dolines constituent des refuges pour de bons grimpeurs à la fois contre les prédateurs et contre la chaleur. Elles donnent aussi accès à de l'eau, qui manque toujours en surface sur les plateaux karstiques. L'eau circulant dans les réseaux souterrains est en outre fraîche et propre, ce qui limite les risques de développer des pathologies graves et leur cortège de diarrhées et, donc, de déshydratations sévères.

DES FALAISES ET DE PROFONDS RAVINS À PROXIMITÉ

Par ailleurs, à une vingtaine de kilomètres au nord de ce site se trouve le Magaliesberg, une chaîne de montagnes de 196 kilomètres de long et culminant à 1853 mètres. Ce massif est posé sur le même plateau que celui comprenant le Berceau de l'humanité, qu'il ne domine que de quelques centaines de mètres. Partout, il est entrecoupé de falaises, souvent hautes de plusieurs dizaines de mètres, et de *kloofs*, des ravins creusés par l'écoulement et pouvant atteindre une centaine de mètres de profondeur, où la concentration de l'humidité autorise une végétation plus luxuriante. Ces falaises reçoivent peu de lumière solaire directe et restent donc plutôt fraîches, même en été.

La région qui entoure le Magaliesberg a manifestement joué un rôle important pour les

Les omoplates de grands singes et d'humains mis en position anatomique. La cavité glénoïdale (flèche rouge) est orientée plutôt vers le haut chez les grands singes (a : orang-outan, b : gorille, c : chimpanzé) et chez *H. naledi* (d). Chez *Homo sapiens*, la cavité glénoïdale est orientée à l'horizontale (e).

BIBLIOGRAPHIE

E. Feuerriegel et al., **Upper limb fossils of *Homo naledi* from the Lesedi Chamber, Rising Star System, South Africa**, *PaleoAnthropology*, vol. 2019, pp. 311-349, 2019.

J. Hawks et al., **New fossil remains of *Homo naledi* from the Lesedi Chamber, South Africa**, *eLife*, vol. 6, article e24232, 2017.

K. Wong, **L'incroyable *Homo naledi***, *Pour la Science*, n° 464, pp. 60-69, juin 2016.

L. Berger et al., ***Homo naledi*, a new species of the genus *Homo* from the Dinaledi Chamber, South Africa**, *eLife*, vol. 4, article e09560, 2015.

P. Dirks et al., **Geological and taphonomic context for the new hominin species *Homo naledi* from the Dinaledi Chamber, South Africa**, *eLife*, vol. 4, article e09561, 2015.

homininés, puisque l'on trouve à proximité l'essentiel des sites à australopithèques d'Afrique du Sud. Or, étant donné l'aridité relative de cette région d'Afrique australe et, d'ailleurs, de l'Afrique de l'Est, ce qui nous étonne dans la présence d'une espèce humaine apparemment arboricole dans un milieu peu arboré devrait nous étonner autant s'agissant des australopithèques, dont les capacités arboricoles étaient grandes elles aussi. D'ailleurs, nombre de fossiles australopithèques retrouvés dans des cavités semblent dus à des chutes.

Il est donc raisonnable de supposer que l'adaptation à l'escalade d'*Homo naledi* correspondait à l'écosystème où il vivait, à savoir une région regorgeant de grottes et de falaises, non dénuée d'arbres en certains lieux tels que les *kloofs*. Ce milieu de vie était intéressant pour les animaux par son humidité dans une région souvent aride (particulièrement pendant les épisodes glaciaires), et il l'a été pour des australopithèques fortement arboricoles, qui avaient aussi sans doute de bonnes aptitudes pour escalader les rochers ou descendre dans les grottes où certains furent retrouvés; pour les mêmes raisons, il l'était aussi pour les grands prédateurs, qui devaient y chasser, mais sans pouvoir pénétrer dans les grottes en forme de puits aux entrées verticales.

Ainsi, par adaptation à ce milieu de vie riche mais dangereux, *H. naledi* aurait acquis une bonne aptitude à l'escalade. Se mettre en hauteur est une stratégie intéressante, car trois à quatre mètres suffisent pour se protéger des prédateurs, d'autant que l'on pouvait y retrouver de la fraîcheur. Les Nalédiens auraient été des arboricoles occasionnels, mais surtout des grimpeurs de bloc. Cette espèce se serait spécialisée dans un mode de vie dont la sécurité tenait à la capacité à prendre très vite de la hauteur. À la même époque, *Homo sapiens* vivait aussi en Afrique australe; de plus grande stature, ces humains auraient mis davantage sur la mobilité, afin d'exploiter un territoire bien plus vaste, et sur un effet de groupe amplifié par leur armement efficace face aux prédateurs.

Pendant trop longtemps, on voyait l'évolution comme une succession linéaire de formes: dans le cas des humains, on imaginait la séquence *Homo habilis*, *H. erectus*, *H. neanderthalensis*, *H. sapiens*... Cette vision est remplacée aujourd'hui par celle d'une évolution buissonnante, caractérisée non seulement par une certaine tendance à l'homogénéisation des formes grâce aux échanges culturels et génétiques, mais aussi, *a contrario*, par la persistance de formes isolées dans un environnement particulier exigeant un mode de vie spécialisé. Ces formes isolées et spécialisées incluent *H. floresiensis* et *H. luzonensis*, mais également *H. naledi*. ■

L'ESSENTIEL

> L'utilisation des plastiques est aujourd'hui massive et engendre une quantité énorme de déchets persistants et nocifs.

> De nombreux travaux visent à développer des matériaux véritablement recyclables et biodégradables pouvant remplacer les plastiques classiques, en particulier pour les emballages.

> Ces matériaux innovants ne pourront résoudre qu'une petite partie du problème des plastiques.

> Les efforts doivent surtout porter en amont sur la réduction de la consommation de plastiques non indispensables.

L'AUTRICE



NATHALIE GONTARD
directrice de recherche à l'Inrae,
à Montpellier, au sein de l'unité Iate
(Ingénierie des agropolymères
et technologies émergentes)

Que faire des emballages plastiques?

Les plastiques, dont les emballages représentent une forte proportion, finissent pour la plupart en déchets persistants. Une pollution massive qui prend de plus en plus d'ampleur et que l'on tente de juguler en mettant au point des procédés de recyclage et des matériaux biodégradables.

Facile à mettre en forme, bon marché, léger, résistant, aisément disponible, le plastique s'est imposé depuis la seconde moitié du xx^e siècle dans notre quotidien et dans tous les secteurs d'activité: aéronautique, bâtiment, vêtements, sport, automobile, électronique, etc. Pour produire, transporter, conserver et commercialiser nos aliments, l'agriculture et l'industrie agroalimentaire occupent dans ce tableau une place très importante: elles représentent aujourd'hui environ 40% de la consommation de plastique.



A young boy, shirtless and wearing camouflage shorts, is seen from behind, crouching on a beach. He is surrounded by a massive pile of plastic waste, including bottles, bags, and other debris. He is holding a large, white, crumpled plastic bag, possibly collecting the trash. The beach is covered in a thick layer of garbage, and the ocean waves are visible in the background.

Une plage aux Philippines. Les deux tiers des 9 milliards de tonnes de plastiques produits depuis que ces matériaux existent se retrouvent aujourd'hui sous la forme de déchets présents partout sur la planète.

On produit dans le monde près de 400 millions de tonnes de plastiques vierges chaque année. Nous consommons au moins l'équivalent de notre poids corporel par personne et par an de plastique. Et ce n'est qu'une moyenne mondiale. Le chiffre est parfaitement corrélé au PIB d'un pays, ce qui signifie que, par exemple, les Français figurent parmi les plus gros consommateurs de ces matériaux.

Et la production continue d'augmenter. Les chiffres issus des sources les plus fiables, telles que la Banque mondiale, l'Agence européenne pour l'environnement ou encore l'équipe de Jenna Jambeck, à l'université de Géorgie, aux États-Unis, montrent que la production de plastique a été multipliée par vingt au cours des cinquante dernières années, et qu'elle devrait encore doubler dans les vingt prochaines années.

Depuis les années 1950, l'industrie mondiale a ainsi produit plus de 9 milliards de tonnes de plastiques, dont seulement 0,5 milliard ont été incinérées. Qu'est devenu le reste ? Plus généralement, que deviennent les plastiques après usage ?

ENVIRON 60 % DES EMBALLAGES S'ACCUMULENT DANS L'ENVIRONNEMENT

En Europe, et selon les données de Plastics Europe, l'association européenne des producteurs de matières plastiques, sur les quelque 20 millions de tonnes de plastiques utilisés annuellement pour l'emballage (alimentaire et non alimentaire), 34% sont incinérés et contribuent à la production d'énergie, mais aussi à l'émission de gaz à effet de serre et à la pollution de l'air, 16% sont enfouis sans aucune mesure permettant d'éviter leur dégradation puis leur dispersion dans les sols, 10% ne sont pas répertoriés et probablement perdus dans la nature, 32% sont recyclés vers des objets qui ne seront pas eux-mêmes recyclés ensuite ou qui seront envoyés vers des pays moins regardants, et seront donc jetés à plus ou moins longue échéance et distance de leur lieu de consommation (voir la figure page 49).

Au mieux, seuls 5% des emballages plastiques sont réellement recyclés en «boucle fermée», c'est-à-dire pour produire un objet similaire en tout point à celui d'origine. Le reste, hormis ce qui est incinéré, constitue un vertigineux réservoir de microplastiques et nanoplastiques en devenir.

En effet, le principal problème du plastique, outre celui des additifs potentiellement nocifs qu'il contient et qui sont susceptibles de migrer par exemple dans nos aliments (voir l'article de Jean-Baptiste Fini dans ce numéro), est qu'il ne s'intègre pas dans l'un des grands cycles biogéochimiques de la nature. Il ne se solubilise pas comme le font les métaux, la pierre ou le verre, pour reminéraliser les eaux

et les sols. Il n'est pas non plus digéré par les microorganismes du sol, contrairement aux matériaux d'origine naturelle (papier, carton, coton, cuir...). Le plastique ne fait que se fragmenter peu à peu, en quelques dizaines ou centaines d'années, en microparticules puis nanoparticules.

DES MICROPARTICULES QUI SERONT DE PLUS EN PLUS ABONDANTES

Ces microdéchets voyagent facilement, se chargent en polluants, s'invitent dans les océans, l'eau de surface, les sols, l'air respiré, les aliments. Cette lente fragmentation est aujourd'hui déjà bien palpable, alors que seule une toute petite partie des déchets plastiques accumulés a eu le temps de se dégrader. On retrouve ainsi des micro- et nanoplastiques jusque dans les zones les plus reculées de la planète, des fosses océaniques aux glaciers de l'Arctique. On les retrouve aussi tout près de nous, dans les eaux courantes ou les aliments, et jusque dans nos organes.

Par exemple, en 2021, Alessandro Svelato, de l'hôpital San Giovanni Calibita Fatebenefratelli, à Rome, et ses collègues ont décelé une contamination aux microplastiques dans quatre des six placentas humains qu'ils ont étudiés. Kieran Cox et ses collègues, à l'université de Victoria, au Canada, ont estimé en 2019 que nous absorbons près de 50 000 microparticules de plastique par an *via* notre alimentation ; selon la méta-étude de Thava Palanisami, de l'université de Newcastle, en Australie, et ses collègues, on en absorbe en moyenne jusqu'à 5 grammes par semaine, l'équivalent d'une carte bancaire !

QUELQUES CHIFFRES

Production mondiale de plastiques :
368 millions de tonnes en 2019, dont environ 40 % pour les emballages (359 millions de tonnes en 2018, 2 millions de tonnes en 1950)

Production cumulée depuis le début du XX^e siècle :
9 milliards de tonnes

Plastiques encore en usage aujourd'hui :
2,5 milliards de tonnes

Cumul des plastiques incinérés (1950-2015) :
0,5 milliard de tonnes

Cumul des déchets plastiques (1950-2015) :
6 milliards de tonnes

Sources : Plastics Europe et R. Geyer *et al.*, *Science Advances*, vol. 3, e1700782, 2017

Chacun absorberait en moyenne jusqu'à 5 grammes de plastique par semaine

Par ailleurs, de nombreuses études ont montré que, en s'accumulant dans un organisme, les microplastiques engendrent des phénomènes inflammatoires, de stress oxydatif et des déséquilibres métaboliques. L'impact