

RAPPORT SUR L'ÉPREUVE « SCIENCES ET SOCIÉTÉ »
Phase d'admission
Licence Agro et Vét
Session 2024

Le rapport détaillé établi en 2022 et disponible sur le site du SCAV s'applique parfaitement à la session 2024 pour l'épreuve « Sciences et société ». Dix exemples d'articles proposés en 2024 ont été mis en ligne.

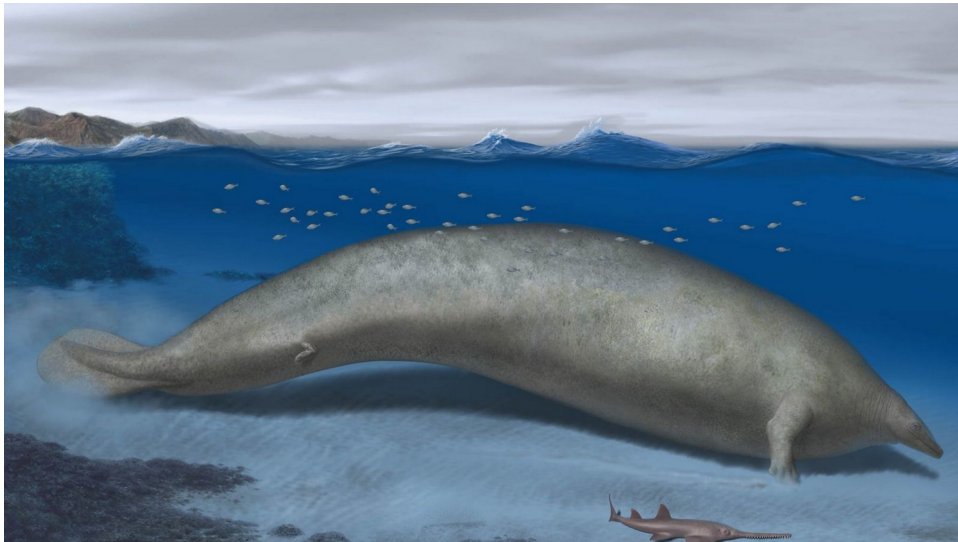
Le jury souhaite mettre les candidats en garde contre une mauvaise préparation de l'épreuve : acquérir un savoir-faire et une technique, dans le cadre d'enseignements préparatoires, peut s'avérer utile pour apprendre à identifier le type d'un article, d'éventuels éléments de rhétorique, etc. En revanche, il en va autrement pour l'acquisition de la culture scientifique qui permet, d'une part, de porter un regard critique sur l'article et, d'autre part, de proposer un développement bien en rapport avec le sujet. Un enseignement préparatoire ne suffit pas et ce sont, sur plusieurs années, la lecture de revues de vulgarisation, l'écoute de podcasts de France Culture, etc. qui permettent de mettre en place les fondations qui soutiendront un discours solide.

Sans qu'il puisse en être certain, faute de pouvoir interroger les candidats sur ce point, le jury a eu l'impression d'entendre plusieurs candidats « trop préparés », qui avaient peut-être en tête des développements fournis sur de nombreux sujets et qui ont essayé de « placer » à mauvais escient l'un de ces développements. C'est une stratégie contraire à l'esprit scientifique, une stratégie qui est généralement mal perçue par le jury et qui peut conduire à de grandes déconvenues : elle semble être parfois adoptée par des candidats qui présentent par ailleurs des qualités.

Découverte : la baleine bleue ne serait pas l'animal le plus lourd de tous les temps

Un nouveau fossile découvert au Pérou suggère que la baleine bleue, qui a longtemps détenu le titre d'animal le plus imposant de tous les temps, pourrait bien avoir été battue par une autre baleine préhistorique : *Perucetus colossus*.

Riley Black, *National Geographic*, 03 août 2023



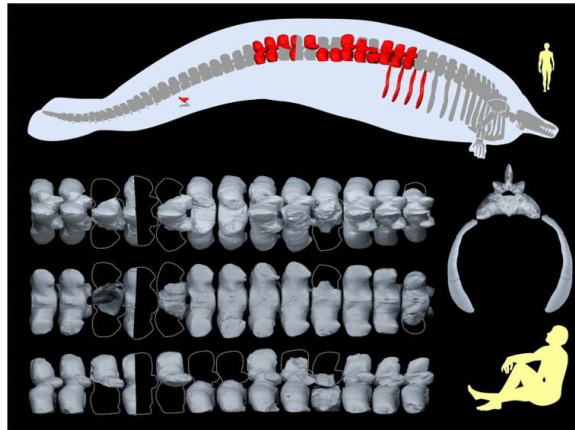
La baleine préhistorique Perucetus colossus est ici représentée dans son habitat côtier

La baleine bleue, qui peut atteindre les 30 mètres de long et peser plus de 200 tonnes, a longtemps détenu le titre de plus grand animal de tous les temps. Cela pourrait toutefois changer : des paléontologues ont découvert un immense cétacé plus petit, mais peut-être encore plus lourd, qui nageait le long des côtes du Pérou préhistorique, il y a plus de 37 millions d'années.

Baptisée *Perucetus colossus* par l'équipe du paléontologue Giovanni Bianucci de l'Université de Pise, cette baleine pourrait bien avoir dépassé les 300 tonnes. Ce mastodonte d'environ 18 mètres de long a été décrit cette semaine dans la revue *Nature*.

C'est en 2010 que Mario Urbina, paléontologue à l'Université nationale de San Marcos et coauteur de l'étude, a mis au jour le squelette partiel dans la roche de la vallée d'Ica, dans le sud du Pérou. La découverte n'a pas été immédiatement impressionnante aux yeux des scientifiques, les os étant si gros qu'ils ressemblaient davantage à d'énormes rochers qu'à des fossiles.

« Au début, il a dû convaincre les autres membres de l'équipe que ce qu'il avait trouvé était en réalité un fossile, à cause de sa forme étrange », se souvient Eli Amson, coauteur de l'étude et paléontologue au Musée national d'histoire naturelle de Stuttgart, en Allemagne. Lorsque les chercheurs ont examiné de fines sections de fragments provenant du site, les pièces étranges se sont bel et bien révélées être des os, et les équipes de terrain ont passé les dix années suivantes à dégager le colosse de la roche.



Reconstruction du corps et du squelette de *Perucetus colossus*.
Les os retrouvés sont ici colorés en rouge.

20 Au total, les fossiles exhumés de la vallée d'Ica comprennent treize vertèbres, quatre côtes et une partie de la hanche. L'anatomie des os, ainsi que la période à laquelle la baleine nageait au large des côtes sud-américaines, indiquent que l'espèce était un parent de *Basilosaurus*, une baleine entièrement aquatique qui possédait un long museau rempli de dents perçantes et tranchantes. En comparant les os connus de *Perucetus* avec des squelettes plus complets
25 de baleines vivantes et fossiles, Amson et ses collègues ont pu estimer la taille de cet ancien géant.

Bien qu'elle ne soit pas remarquablement longue, *Perucetus* était probablement très lourde. Les fossiles retrouvés présentent des signes de pachyostéosclérose étendue, une condition qui se caractérise par des os épais et denses et qui a été observée chez les lamantins et chez
30 d'autres baleines primitives. Ces os denses permettent aux mammifères marins d'être suffisamment lourds pour rester immergés sans pour autant être trop lourds pour remonter à la surface.

« S'il a un corps trop dense, l'animal coule au fond de l'eau et doit dépenser de l'énergie en permanence pour remonter », explique Amson. Pour compenser la lourdeur de leurs os, les
35 mammifères marins doivent posséder suffisamment de tissus flottants, comme les muscles et la graisse : ils peuvent ainsi flotter facilement dans la colonne d'eau sans dépenser d'énergie superflue pour remonter ou redescendre. « Nous avons utilisé le rapport entre le tissu squelettique et tous les autres tissus connus chez plusieurs espèces vivantes de mammifères marins pour estimer la masse corporelle totale de *Perucetus* », détaille Amson. Selon le
40 paléontologue, la baleine aurait pesé entre 93 et 370 tonnes. Si le poids de *Perucetus* atteignait le point le plus lourd de ces estimations, cela en ferait l'animal le plus imposant ayant jamais vécu à notre connaissance.

Le fait que *Perucetus* ait appartenu à un groupe éteint de baleines dont les proportions corporelles différaient de celles des baleines qui vivent aujourd'hui contribue également à
45 compliquer ces estimations. Ces baleines préhistoriques étaient probablement plus légères pour leur longueur que les baleines modernes, ajoute Pyenson. « Les estimations qui dépassent les 300 tonnes me paraissent difficiles à croire ; même l'estimation la plus basse de 60 à 80 tonnes est spectaculairement élevée. »

Même si *Perucetus* ne s'avère pas plus massif que la baleine bleue, ce cétacé était tout de
50 même un géant pour son époque. « Ce qui est clair, c'est que cet animal était énorme, et il

semble que sa masse corporelle ait été relativement proche de celle de la baleine bleue, même si elle n'était pas disposée de la même façon », affirme Travis Park, chercheur spécialiste des baleines au Musée d'histoire naturelle de Londres, qui n'était pas non plus impliqué dans la nouvelle étude.

55 Jusqu'à présent, les scientifiques pensaient que les baleines avaient commencé à atteindre des tailles gigantesques il y a seulement cinq millions d'années, lorsque des changements dans la circulation océanique ont permis le développement d'animaux filtreurs plus imposants, qui pouvaient désormais se nourrir de quantités abondantes de krill et d'autres aliments planctoniques. Le groupe de baleines auquel *Perucetus* appartenait était toutefois
60 constitué de prédateurs actifs, qui se nourrissaient généralement de proies plus grosses comme les poissons.

« Cette découverte montre que nous avons sous-estimé le pic de taille des baleines anciennes qui a eu lieu à la fin de l'Éocène », admet Pyenson. Si c'est bien le cas, il faudrait alors déterminer comment *Perucetus* était capable d'attraper suffisamment de nourriture
65 pour alimenter son énorme corps.

Un régime alimentaire encore mystérieux

Si les scientifiques ont beaucoup appris sur ce grand cétacé, ils n'ont pas encore déterminé à quoi ressemblait son mode de vie. Un corps aussi imposant nécessitait sans nul doute d'énormes quantités de nourriture, mais le contenu de cette nourriture demeure inconnu.
70 « La tête de *Perucetus* est un mystère complet », affirme Amson.

Néanmoins, la masse corporelle particulièrement élevée de l'animal laisse entrevoir quelques régimes alimentaires possibles. Contrairement à la famille des *Basilosauridae* à laquelle elle est apparentée, et dont les individus poursuivaient leurs proies dans les océans, selon Amson, *Perucetus* ne semble pas avoir été une nageuse agile ; dans ce cas, elle n'aurait
75 donc pas pu chasser des proies rapides telles que les poissons. Il est également peu probable qu'elle se soit nourrie de plantes, car aucune baleine herbivore n'a été identifiée à ce jour.

Le grand mammifère se nourrissait peut-être dans les profondeurs, de proies comme des palourdes et de crustacés. La découverte d'un crâne avec des dents permettrait de résoudre la question, note Park, car « si *Perucetus* se nourrissait de nombreuses proies benthiques à
80 coquille dure, son crâne et ses dents y étaient probablement adaptés. »

Pour le moment, les experts ne peuvent que tenter de deviner ce qui composait le régime alimentaire de l'animal. « Bien qu'il ne s'agisse que de spéculations, ma théorie préférée est que *Perucetus* était un charognard qui se nourrissait des carcasses d'autres grands animaux », confie Amson.

85 Les futures découvertes permettront sans doute de mieux comprendre ce que faisait cette baleine dans les océans préhistoriques, et pourquoi elle a eu besoin de développer un squelette aussi épais. Si l'une de ces baleines inhabituelles a été découverte, il est probable qu'il en existe d'autres.

Même si de nouvelles découvertes fossiles ont permis de mettre en évidence certains des
90 moments charnières de l'évolution des baleines, selon Pyenson, « nous n'avons pas encore découvert tous les nombreux types de baleines qui ont existé à travers l'Histoire ».

Les exclus de l'eau des pays riches

Marie Tsanga-Tabi, chercheure en sciences de gestion, UMR GESTion Territoriale de l'Eau et de l'environnement (GESTE), *Sésame INRAe*, mai 2022

Il aura fallu plus d'une quarantaine d'années marquées par des conférences internationales, des journées mondiales, des débats au sein des arènes onusiennes, européennes et nationales jusqu'à des contentieux portés devant les tribunaux pour que, enfin, en France, les politiques publiques du droit à l'eau¹ soient légalisées en décembre 2019. Impensée de l'action publique des pays riches, la prise en compte de l'accès à l'eau des populations pauvres se diffuse malgré des sociétés modernes modelées par la croyance en la technoscience et la logique de l'accès marchand.

Inaccessible eau potable

Appréhender pleinement et à sa juste mesure la question sociale de l'eau dans les pays riches exige de la situer. Elle se pose en effet dans un contexte où la majeure partie des populations est raccordée à un réseau d'eau potable et d'assainissement. Une desserte qui, à l'échelle européenne, culminait à 94 % en 2015, faisant de l'usage domestique de l'eau un geste banalisé de la modernité.

Toutefois, depuis le début des années 1970, une nouvelle forme de pauvreté concernant les biens et services essentiels change la donne. Pour une frange croissante des populations, l'eau potable est devenue un bien inaccessible, sous l'effet notamment d'une cherté accrue. Ainsi, en France, alors que la facture d'eau moyenne des ménages avoisine 1 % du revenu disponible, celle des ménages dits « pauvres en eau » dépasse les 3 %, taux considéré par convention comme seuil d'inaccessibilité à cette ressource. Les conséquences ne sont pas anodines : si la France, depuis la loi Brottes² d'avril 2013, interdit les coupures ou la réduction du débit pour factures impayées, tel n'est pas le cas dans d'autres pays. À ces situations de privation insupportables sur les plans sanitaire, psychologique et social, se greffe une foule grandissante d'exclus de l'eau, résidant dans des logements privés de confort sanitaire ou sans domicile fixe. En France, ce sont ainsi 235 000 personnes sans abri ou vivant en bidonvilles qui sont exposées aux conséquences sanitaires du manque d'eau. En Belgique, dans la métropole de Bruxelles, on compte 100 150 personnes, raccordées ou pas au réseau d'eau public, concernées par les problèmes d'accès à l'eau, soit l'équivalent de 8,2 % de la population totale. Aux États-Unis, l'enquête de 2017 sur les logements américains montre que 6,5 % des ménages ont subi des coupures d'eau pour défaut de paiement.

... et des gestes d'hygiène impossibles en temps de pandémie

La pandémie de Covid-19 a amplifié le phénomène, ajoutant à la précarité économique les risques accrus de contamination et de propagation, faute de pouvoir appliquer les mesures d'hygiène, en clair pouvoir se laver les mains aussi souvent que possible. Dès lors, plusieurs pays ont dû prendre des mesures inédites. Aux États-Unis, quelque 483 villes et 35 États ont

1 C'est à la Conférence des Nations Unies sur l'eau, à Mar del Plata en 1977, que, pour la première fois, le droit à l'eau est défini au niveau international : « Tous les peuples, quels que soient leur stade de développement et leur situation économique et sociale, ont le droit d'avoir accès à une eau potable dont la quantité et la qualité soient égales à leurs besoins essentiels. »

2 La loi Brottes n° 2013-312 du 15 avril 2013 visant à préparer la transition vers un système énergétique sobre et portant aussi diverses dispositions sur la tarification de l'eau.

35 ainsi imposé des moratoires sur les coupures d'eau. En Angleterre et au Pays de Galles, premiers pays européens à avoir interdit les coupures en 1999, des millions de personnes se sont retrouvées en 2020 dans l'incapacité de régler leurs factures. Les compagnies d'eau anglaises ont alors accepté d'étendre l'aide financière et sociale existante. En France, pour faire face à l'épidémie, la ville de Paris a installé, notamment, des rampes à eau à proximité
40 des bidonvilles et des camps de migrants. Ainsi, la pandémie a fait resurgir jusque dans les pays développés l'importance vitale de l'eau potable, non seulement pour des motifs de santé publique mais aussi pour le maintien de la vie et de la dignité des populations précaires.

Et pourtant, la question sociale de l'eau reste un angle mort

45 Le statut des services publics d'eau, même s'il est rattaché à la catégorie « industrielle et marchande », n'en relève pas moins du registre de l'action publique. Pour cela, il s'appuie sur un corpus de lois et de textes réglementaires. À la suite de la loi Brottes qui a ouvert la voie à la tarification sociale de l'eau, une quarantaine de collectivités locales ont expérimenté des politiques publiques du droit à l'eau entre 2014 et avril 2021. Elles ont ainsi
50 donné corps au principe introduit par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006 : « Chaque personne physique, pour son alimentation et son hygiène, a le droit d'accéder à l'eau potable dans des conditions économiquement acceptables par tous. »

Une brèche ouverte mais qui peine à faire exister la question sociale comme un enjeu en soi du management de la « citadelle technique » de l'eau : un modèle de gestion rationalisée,
55 verrouillé par des contraintes réglementaires, juridiques et budgétaires difficilement lisibles pour l'utilisateur. De fait, les solutions sont toujours majoritairement pensées selon un mode curatif, se contentant de compenser les conséquences de la cherté de l'eau mais sans remettre en question la politique tarifaire : en France, l'utilisateur paie l'eau à son prix de revient (très variable d'un territoire à l'autre) qui recouvre le financement des services de
60 distribution et d'assainissement. En fait, restent indéterminés les critères d'une eau économiquement abordable pour les ménages pauvres³, la connaissance de leurs usages en eau et la définition du volume essentiel à la vie⁴. De même, la participation de ces ménages à l'énoncé et aux solutions du problème à résoudre, ou encore les critères d'évaluation de l'efficacité sociale des mesures expérimentées ne font pas encore partie des variables
65 d'action de ces politiques publiques. Au sein des collectivités expérimentatrices du droit à l'eau, rendu officiel par la loi du 27 décembre 2019 relative à l'engagement dans la vie locale et à la proximité de l'action publique, très peu (le Dunkerquois, le syndicat départemental de Vendée, Saint-Paul-lès-Dax et Frouard) ont mis en place une tarification sociale qui cible les ménages pauvres. Huit autres, dont Nantes Métropole et Grenoble-Alpes Métropole, ont
70 choisi de distribuer une allocation eau annuelle qui ramène la facture d'eau des ménages pauvres juste en dessous du seuil de 3 % mais ne règle pas le problème du caractère inéquitable de l'accès au service. In fine, si les ménages pauvres raccordés au réseau ne subissent plus de coupure depuis 2015, les inégalités d'accès à l'eau perdurent au point que certains d'entre eux ont recours aux bains municipaux ou aux bornes fontaines pour éviter
75 de payer des factures inabordables. Par ailleurs, les ménages en habitat vétuste sont aussi

3 Le critère de l'eau économiquement acceptable, posé par l'article 1er de la loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques et qui prône que « chaque personne physique, pour son alimentation et son hygiène, a le droit d'accéder à l'eau potable dans des conditions économiquement acceptables par tous », n'est toujours pas décliné sur un plan opérationnel.

4 Hormis le syndicat d'eau dunkerquois qui a fixé à 80 m³ par ménage le volume d'eau essentiel correspondant à la 1^{re} tranche de son tarif domestique.

confrontés à des problèmes de fuite d'eau qui les enferment dans des cycles d'impayés, et une partie non négligeable des foyers pauvres en eau continuent de payer leurs factures d'eau au même prix que les ménages non pauvres.

Savoir être et savoir-faire du service public

- 80 Les problèmes d'accès à l'eau dévoilés dans les pays riches sont un révélateur des liens d'interdépendance croissants qui se tissent entre l'écologique, l'économique et le social de tous les systèmes de production de biens et services à l'ère de l'Anthropocène. Outre la crise économique, notre actualité révèle combien les effets du changement climatique impactent en premier lieu les conditions de vie des populations vulnérables. Le premier défi de la prise
- 85 en charge de la question sociale de l'eau réside dans une prise de conscience renouvelée de ces interdépendances par les acteurs politiques et les managers. Or la vision industrielle et marchande du service et le déficit de gestion démocratique de la « citadelle technique » sont un obstacle à ce renouvellement. Lequel remet à l'ordre du jour les valeurs fondamentales et essentielles de l'eau pour la société et réinterroge le référentiel de la performance des
- 90 politiques publiques de l'eau. C'est probablement par le recours aux valeurs de l'universalisme de l'accès à l'eau, de la solidarité, de la cohésion sociale, du sens de la responsabilité politique et du service public que s'opérera le mieux cette prise de conscience. Le deuxième défi réside dans la capacité des acteurs de l'eau à incarner ces valeurs publiques. Cela implique des savoir-être et des savoir-faire non techniques indispensables à
- 95 la gestion d'un bien dont le caractère « commun » est de plus en plus invoqué comme motif au retour en force de la remunicipalisation des services publics d'eau en France.

De la brebis Dolly au singe rhésus : une brève histoire du clonage

Lluís Montoliu, *The Conversation*, 25 janvier mars 2024

Nous venons d'apprendre le clonage d'une nouvelle espèce de primate, un singe rhésus (*Macaca mulatta*). Ce travail a été réalisé par une équipe de chercheurs en Chine, le même laboratoire qui, il y a six ans, avait déjà démontré le clonage d'une autre espèce de primate : le macaque mangeur de crabe. C'est à ce jour les deux seules espèces de primates clonées.

5 Dolly, une star de la science

Cette recherche, ainsi que le mot clonage font immédiatement penser à la brebis Dolly. Si vous demandez à n'importe qui dans la rue s'il connaît Dolly, je suis sûr que la plupart répondront par l'affirmative, car ils ont certainement entendu parler du premier animal cloné à partir de cellules adultes. Cela n'arrive qu'à un petit nombre de recherches scientifiques : les rares qui parviennent à franchir le seuil de l'intérêt spécialisé et à atteindre l'ensemble de la société. Selon moi, il y a un avant et un après dans la popularisation de la science avec Dolly.

La publication dans le magazine *Nature* de la naissance de Dolly, en février 1997, a provoqué une multitude de réactions et d'articles, des plus sensés et raisonnables aux plus imaginatifs, craignant que le clonage animal n'atteigne l'homme, ce qui a été rapidement interdit et ne s'est pas produit.



La brebis Dolly a été empaillée et peut maintenant être vue au Musée national d'Écosse à Édimbourg.

Ce qui est certain, c'est que l'équipe de chercheurs écossais du Roslin Institute à l'origine de ce travail a prouvé ce que Hans Spemann, embryologiste allemand et lauréat du prix Nobel, avait anticipé 70 ans plus tôt, lorsqu'il avait réalisé une expérience pour montrer que le
 20 noyau d'une cellule ne perdait pas ses composants lorsqu'il se transformait en une cellule plus spécialisée. Que tout noyau d'une cellule du corps d'un animal conservait la capacité d'entretenir à nouveau un développement embryonnaire complet, ce qui permettait d'obtenir un animal cloné. Au cours des années 1950 et 1960, plusieurs chercheurs ont
 25 démontré que le clonage était possible, en utilisant différentes espèces d'amphibiens. Les travaux de John Gurdon, un embryologiste britannique qui a utilisé des grenouilles africaines pour démontrer qu'il pouvait obtenir des animaux adultes à partir des noyaux des cellules intestinales de têtards, sont particulièrement remarquables. Cependant, le travail a été beaucoup plus long avec les mammifères. Il a fallu attendre plus de 30 ans pour que
 30 l'équipe de chercheurs dirigée par Ian Wilmut et Keith Campbell annonce au monde la naissance de Dolly.

Après 300 tentatives

La technique utilisée pour produire la brebis Dolly était relativement simple. Le matériel génétique d'un ovule a été vidé et le noyau d'une cellule adulte a été inséré. Après une étincelle électrique et l'implantation de l'embryon reconstruit dans l'utérus d'une femelle,
 35 un animal cloné a pu être obtenu avec un très faible rendement. Dolly a été la seule brebis née après près de 300 embryons reconstruits. Après le mouton, d'autres espèces de mammifères ont été clonées, en adaptant à chaque fois la méthode aux spécificités de la biologie reproductive de chaque espèce, ce qui était loin d'être simple. Les premières vaches et souris ont été clonées en 1998. Un an plus tard, c'était le tour de la première chèvre. Le
 40 premier porc cloné est né en 2000 et deux ans plus tard, c'était un chat et un lapin. En 2003, les premiers clones de rats et de chevaux ont été obtenus, tandis que le chien n'a été cloné qu'en 2005.

L'heure des primates

La crainte que la technique du clonage ne parvienne jusqu'à l'homme a progressivement
 45 perdu de son intérêt au fur et à mesure que l'on s'apercevait de la difficulté de l'essayer chez les espèces de primates (dont l'humain fait partie). En effet, ce n'est qu'en 2018 qu'une équipe de chercheurs chinois a annoncé le clonage du macaque crabier, la même équipe qui vient d'annoncer celui du singe rhésus. Tant dans l'expérience de 2018 que dans celle en cours, ce laboratoire fait état de très faibles efficacités de clonage, inférieures à 1 %. Ces
 50 résultats sont similaires à ceux obtenus avec Dolly, 27 ans plus tard. Cela confirme qu'il est possible de cloner des primates, mais la méthode reste très inefficace pour une éventuelle utilisation en recherche biomédicale. De plus, de telles expériences sur les primates non humains sont interdites en Europe, sauf si elles concernent des maladies très graves et mortelles qui nous affectent ou touchent ces espèces.

Une utilité limitée

À quoi a donc servi le clonage animal ? Tout d'abord pour étudier les premiers stades du développement embryonnaire des mammifères. En 2012, le prix Nobel de médecine a été décerné à John Gurdon, le cloneur de grenouille, et à Shinya Yamanaka, qui a déchiffré les

gènes nécessaires pour reprogrammer un noyau de n'importe quelle cellule en cellule souche. Le prix n'a pas reconnu les mérites de l'équipe écossaise responsable de Dolly, probablement en raison d'une série d'incidents malheureux et d'allégations entourant l'expérience, qui était destinée à être l'un des jalons du siècle. Le clonage d'animaux de ferme (vaches, moutons, chèvres, porcs, lapins...) a permis d'obtenir des animaux génétiquement modifiés d'une manière beaucoup plus simple et efficace, en utilisant des noyaux de cellules génétiquement modifiées précédemment qui ont donné naissance à ces animaux avec la même modification génétique. Les porcs actuellement utilisés pour la xénotransplantation ont été obtenus grâce au clonage. Et aussi de nombreux autres modèles animaux pour l'étude des maladies humaines dans d'autres espèces que la souris, qui était jusqu'alors l'une des rares à pouvoir être facilement modifiée génétiquement.

Cependant, la pertinence des techniques de clonage a considérablement diminué après 2013, avec l'apparition des outils d'édition de gènes CRISPR, capables de modifier le génome de n'importe quel animal d'une manière extrêmement simple et très efficace. Il n'était plus nécessaire d'utiliser des techniques de clonage sophistiquées et peu efficaces pour obtenir des animaux ayant subi certaines modifications génétiques : les outils CRISPR y parvenaient plus facilement et plus directement. Nous accueillons donc une nouvelle espèce dans le club des mammifères clonés : le singe rhésus, un primate comme nous. Mais une fois de plus, nous constatons la très faible efficacité de la technique, car il est difficile de la reproduire en dehors du laboratoire qui a réalisé cette percée. Dans ce cas, les chercheurs ont dû modifier à nouveau la méthode de clonage, en remplaçant les cellules de l'embryon qui donnera naissance au placenta, pour réussir. Cette dernière expérience ne fait que nous convaincre, une fois de plus, de l'inutilité, du caractère techniquement inabordable et éthiquement injustifiable, ainsi que de l'illégalité, d'une expérience de clonage sur des êtres humains.

L'agriculture face au réchauffement climatique : le retour des chasseurs-cueilleurs ?

Le changement climatique pourrait plonger dans l'extrême pauvreté entre 35 et 122 millions de personnes supplémentaires d'ici à 2030.

Pierre Le Hir, *Le Monde*, 17 octobre 2016



Un marché à moitié vide à Akuem, au Soudan du Sud, en octobre. Plus de la moitié des récoltes ont été perdues dans la région à cause des canicules, inondations et maladies. ALBERT GONZALEZ FARRAN / AFP

« Pour éliminer la faim et la pauvreté d'ici à 2030 tout en s'attaquant à la menace que constitue le changement climatique, une transformation profonde des systèmes alimentaires et agricoles sera nécessaire partout dans le monde. » C'est le message pressant délivré par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), dans l'édition 2016 de son rapport sur la situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, rendu public lundi 17 octobre.

Vis-à-vis du dérèglement climatique, le secteur de l'agriculture – dans son acception large regroupant cultures, élevage, pêche et foresterie – est à la fois victime et coupable. Il subit en effet de plein fouet, surtout dans les pays du Sud, les effets de la hausse des températures, des phénomènes climatiques extrêmes, des sécheresses, de la montée du niveau des mers, de l'acidification des océans, de la dégradation des terres et de la perte de biodiversité.

La sécurité alimentaire de la planète

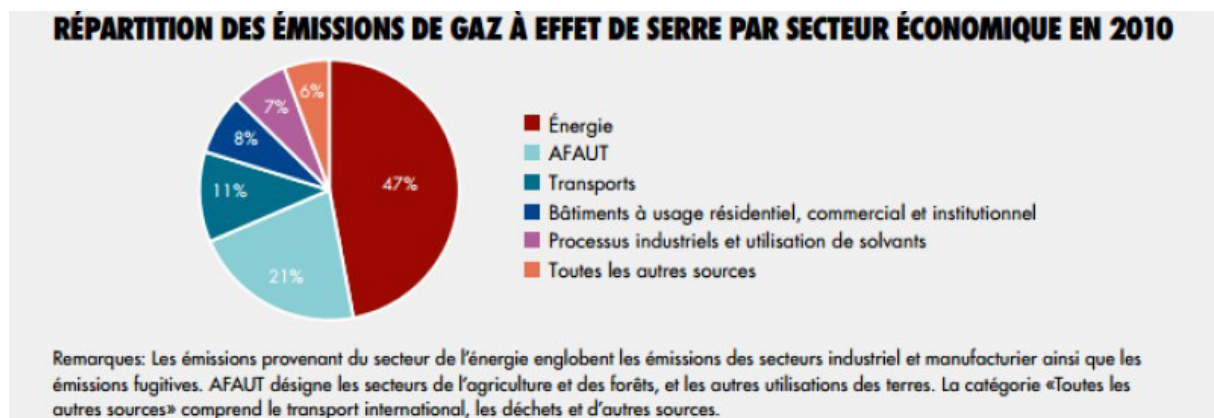
« Sans action immédiate, le changement climatique constituera une menace pour des millions de personnes qui risquent de souffrir de la faim et de la pauvreté », préviennent les auteurs. Ils estiment qu'« entre 35 et 122 millions de personnes supplémentaires pourraient vivre en situation d'extrême pauvreté d'ici à 2030, en grande partie à cause des effets négatifs du changement du climat dans les secteurs de l'agriculture ». Les populations les plus affectées seraient celles d'Afrique subsaharienne et d'Asie du Sud et du Sud-Est.

D'ici à 2030, les effets attendus du réchauffement sur le rendement des cultures, de l'élevage, des pêches et des forêts sont contrastés selon les régions, indiquent les rapporteurs. Ainsi, dans les zones tempérées, il est prévu une augmentation de la productivité du soja, du blé et des pâturages. Mais « au-delà de 2030, les effets négatifs du changement climatique sur les rendements agricoles s'accroîtront dans toutes les régions ». Aux pertes de récoltes vont s'ajouter désertification, risques d'incendie accrus, chute des ressources halieutiques...

Or, rappellent les auteurs, « en 2050, la demande alimentaire mondiale devrait avoir augmenté de 60 % au moins par rapport à son niveau de 2006, sous l'effet de l'accroissement de la population, de l'augmentation des revenus et de l'urbanisation rapide ». Il en va donc de la sécurité alimentaire de la planète. « Le changement climatique fait resurgir certaines incertitudes datant de l'époque où nous étions tous des chasseurs-cueilleurs, commente José Graziano da Silva, directeur général de la FAO. Nous ne pouvons plus garantir que nous récolterons ce que nous avons semé. »

Un cinquième des émissions humaines

Mais les activités agricoles dans leur ensemble sont aussi responsables d'environ un cinquième des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine.



Le secteur agricole, premier émetteur de gaz à effet de serre après l'énergie FAO

Cela principalement du fait de la fermentation entérique des ruminants, des déjections animales et des engrais, pour ce qui est des émissions directes de méthane et d'oxyde nitreux, mais aussi de la conversion des forêts en pâturages et en terres cultivées, pour ce qui concerne les rejets de gaz carbonique.

40 Malade d'un réchauffement dont elle est aussi l'une des causes, l'agriculture doit donc, à double titre, s'engager dans « *une transformation profonde* », estime la FAO. Celle-ci met l'accent sur la nécessité d'aider les petits exploitants des pays en développement, qui représentent 475 millions de foyers, à opérer une transition vers « *des pratiques durables de gestion des terres, de l'eau, de la pêche et des forêts* ». Ce qui ne doit pas exonérer l'agriculture intensive de se remettre également en question.

45 **L'action moins coûteuse que l'inaction**

Les auteurs n'ignorent pas l'ampleur et la complexité de la tâche, « *en raison du grand nombre de protagonistes impliqués, de la multitude de cultures et de systèmes de transformation alimentaire, ainsi que des différences d'écosystèmes* ». Mais aussi des difficultés d'accès des petits exploitants aux marchés, au crédit, aux services de vulgarisation agricole
50 ou aux informations météorologiques. Pour autant, il est selon eux possible de promouvoir des pratiques « *intelligentes face au climat* ».

Elles passent par une diversification des productions, une plus grande intégration associant cultures, élevage et plantation d'arbres, ou encore le recours à des engrais verts, mais aussi par la levée de freins juridiques et socioculturels qui pèsent notamment sur l'activité des
55 femmes, celles-ci représentant 43 % de la main-d'œuvre agricole dans les pays en développement.

Une chose est sûre : l'action est moins coûteuse que l'inaction. Les auteurs en veulent pour preuve l'exemple de l'Ouganda. Dans ce pays, une étude a montré que la perte de production animale et végétale due au changement climatique se chiffrerait entre 22 et
60 38 milliards de dollars par an (20 à 34 milliards d'euros) sur la période 2010-2050, alors que le budget nécessaire à l'adaptation du secteur agricole (systèmes d'irrigation plus efficaces, variétés de cultures améliorées, races animales mieux adaptées, facilités de crédit, etc.), serait de l'ordre de 650 millions de dollars par an (un peu moins de 600 millions d'euros) jusqu'en 2025. Un rapport coût-bénéfice indiscutable.

Le roquefort et le camembert en voie d'extinction ?

Les fromages hébergent une multitude de micro-organismes capables de transformer le lait. Sélectionnés par l'humain, ces ferments ne sont pas épargnés par les standards de l'industrie agro-alimentaire, au point que les fromages bleus ou le camembert pourraient disparaître.

Mehdi Harmi, *CNRS Le Journal*, 10 janvier 2024

Le bleu de Termignon est un inconnu. Ce fromage confidentiel, confectionné dans les Alpes françaises dans une poignée de fermes seulement, pourrait bien sauver la filière des fromages bleus, menacée de disparition par la standardisation des processus de production. La raison ? Ses moisissures bleu-vert caractéristiques proviennent d'une population
5 jusqu'alors inconnue de *Penicillium roqueforti*, le champignon impliqué dans la fermentation de tous les fromages bleus et persillés. Cette découverte est une petite bombe dans le monde du fromage.

« À ce jour, seules quatre populations de l'espèce de champignon *P. roqueforti* étaient connues dans le monde », raconte Jeanne Ropars qui, avec Tatiana Giraud et leur équipe du
10 laboratoire Écologie, systématique et évolution de Gif-sur-Yvette, ont réussi à séquencer le génome du micro-organisme responsable de la fermentation du bleu de Termignon.

« Deux populations "sauvages" impliquées dans le pourrissement des fruits et la décomposition de certains aliments et l'ensilage, et deux populations utilisées dans la fabrication des fromages », détaille la chercheuse. Sur les deux populations domestiquées,
15 l'une est utilisée par les seuls producteurs de l'appellation d'origine protégée (AOP) Roquefort, tandis que tous les autres bleus sontensemencés avec une seule et même souche de *P. roqueforti*.

Pour produire des fromages en grande quantité, les industriels ont sélectionné des souches de champignons correspondant aux cahiers des charges qu'ils se sont imposés. Les fromages
20 doivent être attrayants, avoir bon goût, ne pas arborer de couleurs déroutantes, ne pas produire de mycotoxines, ces toxines sécrétées par les champignons, et surtout pousser rapidement sur le fromage qu'ils se doivent de coloniser. Ce faisant, le secteur de l'agro-alimentaire a exercé une pression de sélection sur les champignons si grande que les fromages, non fermiers et non protégés par une AOP, présentent aujourd'hui une diversité
25 de micro-organismes extrêmement pauvre.

Des bleus à bout de souffle

« On a réussi à domestiquer ces organismes invisibles comme on l'a fait pour le chien, ou le chou, explique Jeanne Ropars. Mais il s'est produit pour les micro-organismes ce qu'il se produit à chaque fois qu'on sélectionne trop drastiquement des organismes, gros ou petits :
30 cela a entraîné une très forte réduction de leur diversité génétique. En particulier chez les micro-organismes, les producteurs n'ont pas réalisé qu'ils avaient sélectionné un seul individu et que ça n'était pas durable à long terme. » Les micro-organismes sont capables de se reproduire de manière sexuée et asexuée, mais c'est le plus souvent la voie asexuée, via la production de lignées clonales, qui a été privilégiée par les industriels pour les multiplier.

Résultat : ils ne peuvent plus se reproduire avec d'autres souches qui pourraient leur apporter du matériel génétique neuf, ce qui au bout d'un certain temps induit la dégénérescence de la souche en question.

« La population utilisée par l'AOP Roquefort a un peu moins pâti de cette sélection, et montre un peu plus de diversité », tempore Tatiana Giraud, qui indique y avoir identifié plusieurs souches différentes. Ce n'est pas le cas de la lignée clonale utilisée par le reste des producteurs, appauvrie au point d'être devenue quasi infertile. « Même les plus petits producteurs sont touchés, raconte la chercheuse. Car s'ils ont longtemps fait "pousser" eux-mêmes leur propre souche de *P. roqueforti*, ils ont désormais tendance à acquérir leurs ferments directement auprès des grands producteurs de spores qui fournissent toute l'industrie agro-alimentaire. »

Par conséquent, les champignons qui ont accumulé dans leurs génomes nombre de mauvaises mutations tout au long des multiplications végétatives finissent par devenir quasi infertiles, ce qui pèse lourdement sur la production des fromages. « C'est ce qu'il se passe lorsqu'on ne recourt plus du tout à la reproduction sexuée, la seule à même de compenser les mutations délétères grâce à l'introduction de nouveaux gènes, le fameux brassage génétique », explique Tatiana Giraud.

C'est là que le bleu de Termignon et sa population nouvelle de *P. roqueforti* entrent en scène : celle-ci pourrait en effet apporter aux producteurs la diversité génétique qui manque cruellement à leurs ferments, à condition de prendre le risque de la reproduction sexuée, créatrice de diversité certes, mais aussi d'une plus grande variabilité du produit fini.

Menace sur le camembert

Les fromages bleus sont certes menacés mais leur situation est encore bien loin de celle du camembert, qui lui est au bord de l'extinction. Car cet autre symbole du terroir français n'est inoculé que par une seule et même souche de *Penicillium camemberti* et ce partout sur Terre. Cette souche est un mutant blanc sélectionné en 1898 pour inoculer les bries puis les camemberts dès 1902.

Problème, cette souche est depuis uniquement répliquée par multiplication végétative. Jusque dans les années 1950, les camemberts présentaient encore à leur surface des moisissures grises, vertes, ou parfois orangées. Mais les industriels peu friands de ces couleurs jugées peu attractives ont tout misé sur l'utilisation de la souche de *P. camemberti albinos*, complètement blanche et de surcroît duveteuse. C'est ainsi que le camembert a acquis sa croûte immaculée caractéristique.

Ce faisant, année après année, génération après génération, la souche albinos de *P. camemberti* a perdu sa capacité à produire des spores asexuées, alors qu'elle était déjà dépourvue de reproduction sexuée. Conséquence, il est aujourd'hui très compliqué pour tous les industriels du secteur d'obtenir des spores de *P. camemberti* en quantité suffisante pour inoculer leur production du fromage normand.

Pire encore, quand dans le cas du roquefort l'AOP préserve une relative biodiversité microbienne, l'AOP du camembert impose au contraire aux fermiers et autres producteurs de n'utiliser que *P. camemberti*. Pour compenser cette dégénérescence, les producteurs n'hésitent pas à avoir recours à une deuxième espèce de champignons en complément de

P. camemberti, afin de pallier ses insuffisances : *Geotrichum candidum*, aussi sélectionné pour sa texture blanche et cotonneuse.

Quelles pistes, alors, pour sauver le camembert ? Faut-il revenir à une population « sauvage », proche de *P. camemberti*, et redémarrer un long processus de domestication ?

80 Pourrait-on imaginer avoir recours aux technologies d'édition génomique pour remédier à l'accumulation de mutations ou à la perte de gènes spécifiques de telle ou telle fonction d'intérêt ? « Il arrive que des industriels nous contactent pour savoir s'il serait possible de modifier un gène et ainsi permettre à une souche de sporuler en plus grande quantité, confie Tatiana Giraud, tout en expliquant que cela ne saurait constituer une solution : l'édition

85 génomique est une autre forme de sélection, or c'est de la diversité apportée par la reproduction sexuée entre des individus aux génomes différents dont on a aujourd'hui besoin. »

L'espèce proche génétiquement de *P. camemberti*, nommée *Penicillium biforme*, est aussi présente sur nos fromages car naturellement présente dans le lait cru, et montre une

90 diversité génétique et phénotypique incroyable. On pourrait donc imaginer inoculer nos camemberts et bries avec du *P. biforme*. Si les amateurs veulent pouvoir continuer à manger du fromage, ils vont devoir apprendre à aimer la diversité des goûts, des couleurs et des textures, parfois au sein d'une même production. Et si notre patrimoine gustatif avait tout à y gagner ?

Vers un vaccin fabriqué en serre

Junji Nishihata, *Communication de l'université McGill, Montréal*, 20 mai 2020



Alors que les Canadiens sont confinés depuis plus de deux mois pour prévenir la propagation de la COVID-19, une chose semble certaine : cette situation ne prendra fin que lorsqu'un vaccin sécuritaire et efficace sera mis au point.

Les histoires de vaccins contre le coronavirus prolifèrent sur l'Internet presque aussi rapidement que le SARS-CoV-2, le virus responsable de la COVID-19. Selon les dernières données, 115 laboratoires dans le monde travaillent à la recherche d'une solution. Mais combien de temps faudra-t-il pour y parvenir ?

Professeur à la Division de médecine expérimentale de la Faculté de médecine de l'Université McGill, le docteur Brian Ward, est bien conscient du défi que cela représente, ayant déjà participé à l'élaboration de vaccins et de médicaments pour des pandémies appréhendées, dont l'épidémie de grippe porcine qui a sévi en 2009-2010 et l'éclosion du virus Ebola en Afrique occidentale en 2014-2015.

Des vaccins fabriqués dans des plantes

Depuis 2009, le docteur Ward est médecin-chef chez Medicago Inc., une entreprise de Québec qui utilise des techniques faisant appel aux plantes pour mettre au point et produire des vaccins et des anticorps monoclonaux. Née en 1999 d'un partenariat entre l'Université Laval et Agriculture Canada, cette société fermée fait partie des entreprises qui s'emploient à mettre au point un vaccin contre le SARS-CoV-2.

À ses débuts, la société se concentrait sur une méthode de production utilisant de la luzerne transgénique (aussi appelée *Medicago sativa*, d'où le nom de l'entreprise). Par la suite, elle s'est tournée vers *Nicotiana benthamiana*, une plante australienne cousine du tabac, relativement facile à manipuler et pouvant faire l'objet d'une agro-infiltration – un procédé qui permet de produire une grande quantité de protéines sans soumettre la plante à une modification génétique.

- 25 « Cela fonctionne comme n'importe quel autre système recombinant, explique le docteur Ward, sauf qu'au lieu d'utiliser des bioréacteurs dont les réservoirs en acier inoxydable de 1000 litres sont remplis de cellules de bactéries, de mammifères ou d'insectes, nos bioréacteurs sont des plantes. »

Une course contre la montre

- 30 « Nos travaux progressent très bien, et nous travaillons aussi vite que possible, affirme le chercheur. Nous nous affairons actuellement à procéder aux tests requis sur les animaux, notamment les importantes études de provocation sur les singes, et nous élaborons les trois phases des essais cliniques. Nous avons bon espoir de pouvoir commencer les essais sur les humains au début de l'été. »

- 35 L'entreprise a déjà commencé à évaluer des lieux où mener les études sur le vaccin, dont le Centre d'études de vaccins du Centre universitaire de santé McGill. Étant donnée la vitesse à laquelle les choses avancent, il est probable que les premières données sur l'efficacité chez le singe et sur l'innocuité et l'immunité chez l'humain soient présentées d'ici la fin de 2020.

- Toutefois, certains points importants doivent être éclaircis. Par exemple, quelle est la dose
40 de vaccin requise et combien de doses sont nécessaires pour que le corps soit suffisamment immunisé ? Le vaccin devra-t-il contenir un adjuvant, une substance souvent ajoutée aux vaccins pour augmenter la réaction du système immunitaire ? Quel adjuvant serait le plus indiqué pour un vaccin contre le SARS-CoV-2 ?

- Point encore plus important : le vaccin ne doit pas accentuer le problème, un phénomène
45 souvent appelé immunopotentialisation de la maladie. Cela se produit lorsque le vaccin déclenche une réaction immunitaire qui peut aggraver la maladie lorsque la personne vaccinée est par la suite exposée au vrai virus. C'est ce qui est arrivé avec le premier vaccin contre le virus respiratoire syncytial mis au point dans les années 1960, qui a entraîné une exacerbation de la maladie chez les enfants et a grandement ralenti les efforts de recherche
50 d'un vaccin adéquat pendant des années. D'autres vaccins mis au point plus récemment se sont également soldés par des échecs semblables.

- Medicago a conçu son vaccin et planifié ses études menées auprès des animaux et des humains de façon à diminuer les risques que l'immunopotentialisation de la maladie se produise. Mais, selon le docteur Ward, les efforts visant à éviter de tels risques ne sont pas
55 aussi importants dans tous les projets de mise au point d'un vaccin. « Nous pensons que c'est une erreur », soutient-il. Le chercheur a aussi constaté que bon nombre des articles portant sur les vaccins potentiels qui circulent sur l'Internet proviennent de laboratoires qui n'ont pas de réelle capacité de production.

Les enjeux de la production

- 60 En ce qui a trait à la capacité de Medicago, Brian Ward explique que l'entreprise pourrait produire jusqu'à deux millions de doses par mois à son installation de Québec. Elle exploite également une deuxième installation à Raleigh, en Caroline du Nord, qui pourrait produire de 10 à 12 millions d'unités par mois (pourvu qu'une dose unique d'une quantité se situant entre 3,75 et 7,5 microgrammes soit suffisante pour déclencher une bonne réaction chez la
65 plupart des gens). Si on se fie à ces chiffres potentiels, l'entreprise pourrait répondre assez rapidement aux besoins en matière de vaccination du Canada. Cependant, ces mêmes

chiffres indiquent clairement que d'autres vaccins seront nécessaires pour combattre l'infection à l'échelle mondiale.

« Il ne s'agit pas d'une situation où un seul vainqueur l'emporte », fait remarquer Brian Ward à propos de la course mondiale qui s'est engagée pour la découverte d'un vaccin. « Il y aura fort probablement une douzaine de vaccins viables qui seront raisonnablement efficaces et sécuritaires. » Mais, à l'heure actuelle, on ne sait toujours pas comment ces doses seraient distribuées et qui paierait la facture.

En ce qui concerne la distribution, le docteur Ward sonne l'alarme. « Si on décide de vacciner 7,8 milliards de personnes, on doit commencer à se pencher sur des questions sociales importantes, dont l'équité. Dans un avenir très rapproché, il y aura certainement de profondes inégalités entre les pays riches qui ont les moyens de produire le vaccin et les pays qui en sont dépourvus. »

Des plantes comme bioréacteurs

L'agro-infiltration consiste à inverser de jeunes plantes et à en plonger les feuilles dans une solution contenant *Agrobacterium tumefaciens*, une bactérie qui infecte naturellement les plantes en « injectant » une partie de son matériel génétique (c'est-à-dire son ADN) dans leurs cellules. Dans la plateforme de production de Medicago, la bactérie est modifiée pour qu'elle soit moins nuisible à la plante et pour injecter de l'ADN qui stimulera la production d'une ou plusieurs protéines virales – dans le cas présent, la protéine spicule du SARS-CoV-2.

Lorsque la plante est immergée dans cette solution bactérienne, un aspirateur est appliqué sur ses racines, forçant la plante à se compresser comme une éponge. Lorsque l'aspirateur est relâché, les feuilles prennent de l'expansion et absorbent le liquide jusque dans leur structure cellulaire. L'ADN désiré est ainsi introduit, un processus appelé transfection. Les plantes sont ensuite transférées dans une serre où chacune de leurs cellules commence à produire des milliers de copies de la protéine spicule. Celles-ci s'assemblent naturellement en trimères (trois protéines réunies) qui se déplacent vers la surface de la cellule.

Une fois regroupés à la surface, les trimères traversent la membrane cellulaire de la plante et forment spontanément de petites sphères ou vésicules appelées pseudoparticules virales qui sont libérées de la cellule. Ces petites pseudoparticules ont à peu près la même taille que le virus SARS-CoV-2, mais ne contiennent pas de matériel génétique viral; elles ne peuvent donc pas se répliquer ni causer d'infection. Toutefois, du point de vue du système immunitaire humain, ces pseudoparticules « ressemblent » à s'y méprendre au vrai virus. De plus, on peut les extraire assez facilement de la plante grâce à la simple digestion du matériel de la paroi cellulaire et aux processus de purification normalisés du secteur. Le résultat : un candidat vaccin hautement purifié qui contient presque exclusivement la protéine spicule visée.

« Lorsqu'on la compare à d'autres plateformes vaccinales, la production à partir de plantes est relativement "propre". Par exemple, dans le cas de vaccins contre l'influenza fabriqués dans des œufs ou des cultures de cellules de mammifères, de nombreuses protéines d'origine cellulaire hors cible se mélangent aux protéines virales recherchées. Dans le cas du système à partir de plante de Medicago, il n'y a pratiquement rien d'autre dans le vaccin, parce que nous n'avons pas besoin de briser les cellules », conclut Brian Ward.

L'irrigation du maïs représente-t-elle un quart de l'eau douce consommée en France ?

La députée Aurélie Trouvé (LFI) a provoqué de vives réactions en affirmant que le maïs irrigué consommait 25 % de l'eau douce. Si le chiffre exact est difficile à estimer, l'ordre de grandeur est correct.

Les décodeurs, *Le Monde*, 24 avril 2023



Un champ de maïs dévasté en raison de la sécheresse, près de Lyon (Auvergne-Rhône-Alpes), le 24 août 2022

Interrogée, le 14 avril, sur la question du partage de l'eau lors de l'émission « Extra local », sur Public Sénat, la députée La France insoumise (LFI) de la Seine-Saint-Denis Aurélie Trouvé, ingénieure agronome de formation, a critiqué la culture du maïs, en déplorant que « 25 % de l'eau consommée en France est consommée par la culture du maïs ».

- 5 Le raisonnement de Mme Trouvé est relativement simple : l'agriculture représente 57 % de la consommation de l'eau en France, et « la moitié des surfaces irriguées le sont pour le maïs ». Ce qui équivaut à un quart de la consommation totale.

Ce calcul a été vivement critiqué pour son simplisme, voire qualifié de mensonger, notamment par la journaliste du quotidien *L'Opinion*, Emmanuelle Ducros, sur Twitter. Elle

- 10 y déplore un « chiffre sorti de nulle part et totalement faux », et propose un contre-argumentaire pour dénoncer un « bobard ».

Eau prélevée vs eau consommée, une nuance de taille

M^{me} Ducros, qui n'a pas répondu à nos sollicitations, explique dans ses tweets que seul un quart des cultures est irrigué, suggérant que la députée LFI a fait la confusion entre ce

15 chiffre et la part d'eau consommée. Elle ajoute ensuite que l'irrigation agricole représente seulement 9 % des prélèvements en eau douce en France.

Mais la journaliste a vraisemblablement confondu deux notions :

- le prélèvement, qui désigne le fait de soustraire un volume d'eau aux milieux aquatiques, et qui inclut à la fois l'eau restituée à ces milieux et celle qui ne l'est pas ;
- 20 • la consommation, qui désigne uniquement la part de l'eau prélevée qui n'est pas restituée aux milieux aquatiques.

En 2019, dernière année pour laquelle on dispose de chiffres, 31,5 milliards de mètres cubes d'eau douce ont été prélevés en France, et l'irrigation représente bien 9 % de ce total, comme en attestent les statistiques officielles (datant de 2017).

25 Mais la part de l'agriculture dans la consommation d'eau (61,5 %) est nettement plus élevée que sa part dans les prélèvements (10 %), puisqu'elle consomme environ 80 % de l'eau qu'elle prélève, d'après le service des données et des études statistiques (SDES) du gouvernement. Ce n'est pas le cas pour d'autres usages, comme le fonctionnement des centrales nucléaires ou l'alimentation des canaux, qui prélèvent de grandes quantités d'eau
30 mais les restituent quasi intégralement.

On estime classiquement qu'environ 90 % de l'eau consommée par l'agriculture l'est pour l'irrigation. Le reste (10 %), sert à l'abreuvement du bétail et au nettoyage des installations. Le poids réel de l'irrigation dans la consommation de l'eau en France a donc été, en 2019, d'environ 54 %.

35 La part du maïs dans ce total est, elle, plus difficile à estimer. On distingue trois types de culture de maïs en France : le maïs grain, dont on récolte l'épi qui contient la céréale (50 % de la surface totale en 2020), le maïs fourrage, dont on récolte puis broie la plante avant de la stocker en silo (47 %) et le maïs semence (3 %).

Selon l'Agreste, le service statistique du ministère de l'agriculture, le maïs, tout type
40 confondu (grain, fourrage, semence), représente 39 % des surfaces irriguées en France en 2020. Compte tenu de ses besoins en eau par hectare de culture, il ne semble pas déraisonnable de penser que l'irrigation du maïs pèse pour un peu moins de la moitié du volume d'eau consommé par l'irrigation en France.

Si les 25 % cités par Aurélie Trouvé relèvent d'un calcul rapide, l'ordre de grandeur est le
45 bon. Le chiffre réel se situe probablement entre 20 % et 24 %, même s'il est difficile de le déterminer avec précision. Et comme l'analyse Marc Dufumier, agronome et professeur honoraire à AgroParisTech, contacté par *Le Monde* : « *Ce n'est pas tant le chiffrage global du litrage qui importe que la question de l'origine de l'eau : est-ce de l'eau de pluie ou est-ce qu'on a été la puiser ?* »

50 **Les besoins en eau du maïs concentrés en saison sèche**

Les cultivateurs de maïs vantent souvent les qualités de cette plante qui ne nécessite que peu d'eau pour se développer. C'est vrai : le maïs est une plante dite « en C4 », dont la photosynthèse est très efficace et permet de perdre moins d'eau que d'autres plantes. Selon des données du CNRS citées fréquemment par le monde agricole, 1 kilogramme de maïs
55 grain nécessite environ 454 litres d'eau pour être produit, quand l'orge en nécessite 524, le

blé et la pomme de terre 590, le soja 900 et le riz pluvial 1 600. Le maïs fourrage ne consomme qu'environ 238 litres d'eau par kilogramme produit.

Le problème n'est pas tant que le maïs consomme beaucoup d'eau que la période où il la consomme, car c'est une plante estivale : ses semis sont mis en terre entre avril et mai, et sa
 60 croissance intervient entre juin et août, une période de l'année où la plante est particulièrement sensible au stress hydrique et où les précipitations sont les plus faibles, alors que la ressource en eau est la plus rare. *« Le vrai problème du maïs, c'est d'exiger de l'eau en été. C'est une plante tropicale, et sous les tropiques les saisons chaudes c'est la saison des pluies. Chez nous, les saisons chaudes sont les saisons où il pleut le moins »*, commente
 65 Marc Dufumier.

C'est la raison pour laquelle le maïs a de gros besoins en irrigation : en 2021, selon l'Agreste, 35,1 % des surfaces cultivées de maïs grain ont été irriguées, contre 4,8 % des surfaces de blé et 4 % pour les autres céréales. Le maïs fourrage, lui, est faiblement irrigué car cultivé dans des régions moins sèches : en 2020, seul 6,1 % de sa surface totale a été irriguée.

70 **L'irrigation, clé du rendement de la culture de maïs**

Irriguer le maïs a un intérêt économique majeur pour les agriculteurs. En moyenne, entre 2016 et 2021, le rendement du maïs grain non irrigué était de 9,23 tonnes par hectare, contre 10,95 tonnes par hectare pour le maïs grain irrigué, soit un gain de 18,6 %. En 2020, ce gain de rendement a permis de produire environ 1,2 million de tonnes de maïs en plus.

75 Une telle irrigation n'est néanmoins pas sans conséquences. Les sous-bassins du sud-ouest du pays (Mayenne-Sarthe-Loir, Charente, les côtiers aquitains et charentais), où est cultivée une bonne partie du maïs grain, sont particulièrement vulnérables au stress hydrique estival. *« Ils recèlent de faibles ressources en eau renouvelables, tout en faisant face à une forte consommation estivale »*, note un rapport du SDES de 2021. Dans ces bassins, l'agriculture
 80 consomme plus de 90 % de l'eau disponible en été et *« est essentiellement destinée aux cultures céréalières, majoritairement le maïs »*, note le rapport.

Le réchauffement climatique et l'augmentation de la fréquence des sécheresses en France risquent d'aggraver la situation en engendrant des conflits d'usage autour de l'eau douce dans ces territoires si cette irrigation se poursuit au même niveau. La moyenne des
 85 ressources en eau douce a déjà décliné de 14 % entre 1990 et 2018, et cette baisse risque de se poursuivre. L'augmentation des températures va favoriser l'évaporation, notamment pendant la saison de recharge des nappes phréatiques qui s'étale de septembre à février, ce qui risque de l'écourter significativement.

De nouvelles projections climatiques parues à l'automne 2022 montrent que le
 90 réchauffement pourrait atteindre + 3,8 °C d'ici à la fin du XXI^e siècle. *« Il est certain qu'un tel réchauffement va entraîner des canicules plus fréquentes, longues et sévères, un assèchement important des sols et une forte baisse des ressources en eau »*, notait alors Julien Boé, directeur de recherche (CNRS) au Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique, et l'un des auteurs de l'étude.

Peut-on apprendre à vivre autrement avec les animaux ?

Émilie Dardenne, *The Conversation*, 22 novembre 2023

Peut-on inclure les animaux dans nos façons de vivre et de penser, dans la communauté morale et politique, mais aussi, simplement, dans la façon de les regarder, de les prendre en compte, de les avoir en estime ? Voici quelques questions que j'explore dans mes dernières recherches, après avoir été sollicitée par différents acteurs et différentes actrices de la vie publique. Vous est-il déjà arrivé en pleine nature de vouloir prendre une photographie d'animal ? C'est ce que font quelques fois des touristes, sans penser au stress alors imposé aux animaux. Ce type de pratiques peut hélas prendre un tour funeste : récemment, sur les falaises du Pays de Galles, un poulain a fait une chute mortelle juste après sa naissance, alors que des touristes au comportement inconséquent avaient poussé sa mère trop près du bord, pour une simple photo. Ces comportements font réagir, car la plupart des gens, dans les sociétés occidentales contemporaines, ne pensent plus qu'il est ainsi acceptable de causer la mort d'un poney sauvage pour un vulgaire selfie.

Afin d'accompagner les changements de regard sur les non-humains et d'aider à faire évoluer positivement les relations entre les êtres humains et les autres animaux, je propose une nouvelle approche : la zoinclusivité, au cœur d'un ouvrage récemment paru aux PUF.

Partant du principe que la condition animale, notamment celle qui se déploie sous la tutelle humaine, est largement améliorable, je m'appuie sur la notion de « vivre-ensemble », sur la volonté de construire un avenir commun. Cherchant à dépasser le tout ou rien qui caractérise parfois les approches des relations entre les êtres humains et les autres animaux, et polarise le débat autour de l'opposition « viandards » contre véganes, la zoinclusivité s'adresse à celles et ceux qui ne veulent pas laisser les animaux sur le bord du chemin. Elle propose une approche progressive afin d'agir favorablement et rapidement pour les animaux, pour tenter de dépasser le décalage entre les idées, qui leur sont majoritairement favorables, et les pratiques, car les mauvais traitements à leur encontre persistent largement

La zoinclusivité, qu'est-ce que c'est ?

La zoinclusivité est une forme d'animalisme, puisqu'elle contribue à valoir les intérêts des animaux non humains. Mais elle est plus précise que l'animalisme qui, en tant que concept, est peu défini. Il recouvre des organisations généralistes, comme la Fondation 30 millions d'amis et d'autres qui sont consacrées à des secteurs particuliers (animaux d'élevage pour L214, animaux de compagnie pour la SPA, etc.). Certaines sont d'orientation abolitionniste et visent donc la fin de l'exploitation animale, d'autres sont « welfaristes » et visent plutôt l'amélioration des conditions des animaux sous la tutelle humaine. Le paysage animaliste français est donc très varié. L'approche zoinclusive évite de s'appuyer sur le concept de « bien-être animal » qui est devenu, par ses usages et mésusages, une notion sociotechnique, une façon de rationaliser l'exploitation du corps des animaux. Les taux élevés de morbidité et de mortalité dans les élevages intensifs l'illustrent bien, ainsi que la faim que certains animaux subissent ou encore les densités élevées d'individus qui impliquent des restrictions de mouvement et agissent sur la qualité de vie des animaux.

Pour les poulets élevés pour leur chair, par exemple, la réglementation fixe les densités à 33 kg de poids d'animaux par mètre carré de bâtiment, soit l'équivalent de 17 poulets par mètre carré. Mais des dérogations sont possibles, qui augmentent la densité d'oiseaux, déjà très élevée. Celle-ci peut alors atteindre 42 kg d'animaux par mètre carré.

La zoonclusivité se distingue aussi du véganisme. Bien que ce terme désigne un mouvement de justice sociale en faveur des animaux, de par son étymologie, le mot anglais « vegan » renvoie aux pratiques alimentaires. Le véganisme représenterait la racine et l'aboutissement de la démarche végétarienne. La zoonclusivité, elle, invite à faire ce qu'on peut, en admettant une gradation : c'est-à-dire qu'elle admet qu'on adopte un régime végétarien ou flexitarien. Enfin, cette notion diffère de l'antispécisme, qui souligne l'importance de la notion d'espèce dans laquelle les individus sont catégorisés et indique une opposition à la discrimination sur ce critère, par le préfixe « anti ». La zoonclusivité vise moins à prescrire des changements qu'à accompagner les groupes ou les individus humains qui veulent déjà adapter leurs pratiques.

Le constat de départ

Les attentes concernant la condition animale sont grandissantes dans notre pays :

- 75 % de la population estime que la politique du gouvernement n'est pas suffisamment engagée en faveur de la protection des animaux.
- 73 % est favorable à une interdiction du recours à l'expérimentation animale dans un délai de dix ans.
- 87 % soutient la limitation de la durée de transport d'animaux vivants.

Si les attitudes évoluent, les comportements sont plus lents et difficiles à changer, pour des raisons liées aux systèmes juridiques et politiques, au pouvoir des lobbys, aux habitudes de langage, aux normes et à la psychologie sociale. C'est là que les acteurs et actrices du monde éducatif, politique et économique peuvent intervenir pour participer à la transition zoonclusive.

Quel objectif ? Quelle portée ?

Avec la zoonclusivité, ce sont les groupes ou les individus humains qui le souhaitent qui interviennent pour adapter leurs pratiques aux non-humains. L'idée est de répertorier des outils pratiques. J'en donne ici deux exemples, l'un au niveau individuel, et l'autre au niveau de la politique de la ville. De nombreuses autres actions zoonclusives, applicables à différents niveaux, sont détaillées dans l'ouvrage.

Considérer les animaux dans l'alimentation

La zoonclusivité incite à considérer les animaux dont les corps et les sécrétions sont utilisés pour fabriquer ce que l'on consomme : chair, cuir, œufs, laits, miel, graisse, poils, etc. Les personnes végétariennes et végétaliennes s'inscrivent dans la zoonclusivité, de même que les personnes flexitariennes qui font un pas vers un régime sans produits d'origine animale. En effet, du point de vue des animaux, tout ce qui permet de diminuer la quantité de souffrance, de violence est une bonne chose. Une personne flexitarienne qui diminue drastiquement sa consommation de viande et de poisson, et se montre soucieuse de l'origine

des produits consommés contribue à diminuer la demande pour la chair animale. Elle a donc
 80 une attitude zoonclusive (le régime le plus zoonclusif demeurant le régime végétalien).



*Zoonclusivité alimentaire, schéma proposé par l'autrice, extrait de
 Considérer les animaux, une approche zoonclusive.*

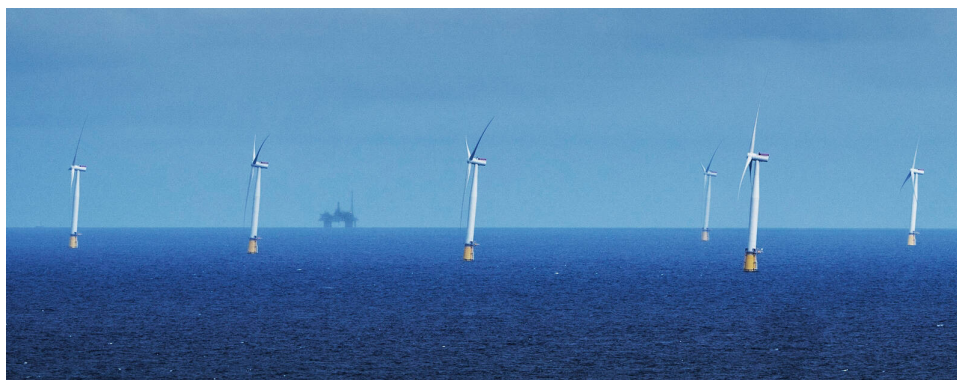
Considérer les animaux en ville

À peu près tout ce qui a à voir avec la condition animale et les relations
 anthropozoologiques se retrouve par ailleurs dans la politique de la ville, où beaucoup de
 choses sont possibles. On peut ainsi sensibiliser les parties prenantes : agents municipaux,
 85 citoyennes et citoyens de tous âges. Il est possible de viser un équilibre entre les activités de
 la ville, le bien-être humain et celui des autres animaux (en évitant par exemple les activités
 qui dérangent les animaux, tels les feux d'artifice. S'intéresser aux animaux de compagnie
 participe du même principe : cela implique par exemple de stériliser les chats errants, de
 développer les espaces accessibles aux chiens, de mettre en place une carte « j'ai un animal
 90 seul chez moi » (utile en cas d'imprévu qui empêche de rentrer chez soi). Il est aussi possible
 d'aménager des espaces publics différemment, par exemple de sanctuariser des espaces de
 biodiversité, comme à Cergy-Pontoise.

La ville peut encore prendre des positions claires sur les méthodes létales ou violentes visant
 à contrôler les effectifs d'animaux liminaires. Bordeaux s'engage par exemple à réguler les
 95 populations de pigeons de façon éthique et durable, en commençant par établir un
 moratoire sur les captures létales de ces oiseaux. Enfin, en terme d'objectifs collectifs, à
 l'échelle de l'école ou de l'entreprise, on peut déployer l'offre végétarienne dans la
 restauration collective, intégrer des clauses de protection animale dans les marchés publics,
 etc. La ville de Haywards Heath au Royaume-Uni a par exemple signé le « traité végétal » et
 100 invite ses habitants et habitantes à abandonner progressivement la consommation de
 produits d'origine animale, ceci afin de lutter contre le réchauffement climatique. Parmi les
 évolutions zoonclusives les plus importantes, on peut signaler, outre la végétalisation de
 l'alimentation, la transmission des connaissances sur les animaux et, sur le plan politique,
 l'interdiction des pratiques les plus dommageables et violentes pour les animaux. Il faudra
 105 aussi accompagner ces efforts de réglementations contraignantes et de moyens financiers, et
 humains, indispensables à leur mise en place.

La transition énergétique, problème à la source

Nicolas Celnick, *Libération*, 10 janvier 2024



Hywind Tampen en mer de Norvège, plus grand parc éolien flottant, alimente des plateformes pétrolières et gazières.

Charbon, pétrole, éoliennes... A chaque fois qu'une nouvelle source d'énergie apparaît, elle ferait augmenter l'usage de celles déjà existantes, selon l'historien Jean-Baptiste Fressoz, et rendrait la décarbonation impossible. Laissant la sobriété seule solution viable.

En matière de transition énergétique, il y a les pessimistes, qui soulignent par exemple que le monde n'a jamais consommé autant d'énergie qu'en 2023 et que cette croissance est toujours tirée par les fossiles, et les optimistes qui, comme le ministre des Transports, Clément Beaune, croient ferme dans l'arrivée des avions « zéro carbone » en 2050. Et puis, depuis quelques années déjà, il y a une poignée de chercheurs qui ont carrément abandonné l'idée de transition énergétique. Pour eux, il n'y en a jamais eu et il est assez probable qu'il n'y en aura jamais. L'idée est assez simple : les nouvelles sources d'énergie n'éliminent pas les anciennes. Le pétrole n'a pas remplacé le charbon, il est simplement venu s'y ajouter : le monde s'est mis à l'automobile et à l'essence, mais n'a pas pour autant arrêté de miner du charbon pour faire tourner les aciéries. Écrite ainsi, l'histoire semblait déjà mal embarquée. Et voilà qu'une analyse encore moins réjouissante arrive : non seulement les nouvelles sources d'énergie primaire (celle contenue dans la matière avant transformation) s'additionnent, mais en plus les nouvelles favorisent l'essor des anciennes. Même les renouvelables, présentées comme la panacée verte, suscitent une demande massive de bois, charbon et pétrole.

« Enterrer les forêts britanniques »

C'est la thèse que développe Jean-Baptiste Fressoz dans *Sans transition*. Une nouvelle histoire de l'énergie (Seuil, 2024), livre passionnant et érudit qui se propose de faire une «histoire de l'intrication et de l'expansion symbiotique de toutes les énergies». La particularité de la démarche de Fressoz, historien des sciences, des techniques et de l'environnement et chargé de recherche au CNRS, est de ne pas regarder les courbes de consommation d'énergie primaire en valeurs relatives, grâce auxquelles on pourrait se féliciter d'une croissance de 5 points des énergies renouvelables dans le mix de la production énergétique française entre 2012 et 2022. Il préfère s'arrêter sur les valeurs

absolues, soit les quantités d'énergie effectivement consommées. Cela lui permet d'observer
 25 qu'«après deux siècles de "transition énergétique", le monde n'a jamais brûlé autant de
 pétrole et de gaz, autant de charbon et même autant de bois» qu'aujourd'hui. Parler de
 volumes permet de battre en brèche le discours téléologique, simpliste, des transitions d'une
 source d'énergie à une autre : Fressoz rappelle ainsi qu'on abat trois fois plus de bois qu'il y
 a un siècle, et que la plus forte croissance de consommation dans l'histoire du charbon a eu
 30 lieu entre 1980 et 2010 (+300 %).

Pour comprendre où passent ces quantités croissantes de matières premières, il faut se
 plonger dans les techniques qui permettent l'exploitation de ces ressources. « Quand on
 considère la matérialité de leur production, les mots "pétrole" ou "charbon" deviennent
 problématiques », observe Fressoz.

35 Le charbon, réputé avoir sauvé les futaies d'Angleterre à partir de la fin du XVIII^e siècle, a
 en réalité eu pour conséquence « d'enterrer les forêts britanniques » : d'énormes quantités
 d'étais de bois étaient nécessaires pour soutenir les galeries et le front de coupe - le bois
 représentait le deuxième poste de dépenses des compagnies minières, après la main-
 d'œuvre. « En volume, la Grande-Bretagne consommait donc plus de bois pour son énergie
 40 en 1900 [à l'apogée de l'ère du charbon, ndlr] qu'à l'époque préindustrielle », remarque
 l'historien.

Le pétrole aurait ensuite remplacé le charbon ? C'est ce que défend l'historien anglais
 Timothy Mitchell dans le très populaire *Carbon Democracy*, où il explique que ce
 changement d'énergie aurait permis d'écraser des mouvements politiques (La Découverte,
 45 2013) : les mineurs, nombreux et fortement syndiqués, représentaient un pouvoir de
 nuisance plus fort que le peu de manutentionnaires qui n'avaient qu'à faire couler le pétrole
 le long de pipelines. Les gouvernements auraient ainsi préféré l'or noir pour en finir avec les
 grèves. Mais Mitchell oublie, au passage, de s'intéresser à la constitution de ces fameux
 pipelines : des (centaines) de kilomètres de tubes d'acier, épais d'une vingtaine de
 50 centimètres à l'origine, et de nos jours de près de 1,50 m.

Or l'acier est, aujourd'hui encore, pour plus des trois quarts fondu grâce à la combustion
 du... charbon. Si l'on intègre dans l'équation les pompes à pétrole (en acier), les camions-
 citernes (en acier), les navires (en acier), les usines de raffinage (en acier) et les voitures (en
 acier toujours), on comprend mieux comment l'arrivée du pétrole a signé la relance de
 55 l'extraction du charbon. L'industrie automobile à elle seule mobilise aujourd'hui près de
 15 % des flux mondiaux d'acier, sans compter que ces mêmes voitures roulent sur des routes
 historiquement coulées en béton - aux Etats-Unis dans les années 20, « il fallait environ une
 demi-tonne de charbon par mètre de route en béton », estime Fressoz.

Aujourd'hui, il en va de même pour les énergies renouvelables, parfois tout bonnement
 60 utilisées pour booster les fossiles (le plus grand parc éolien flottant inauguré en 2023 par le
 pétrolier norvégien Equinor sert à alimenter ses plateformes pétrolières). Et il ne faut pas
 non plus négliger les quantités de matières premières nécessaires à leur fabrication.

Dans la Ruée minière au XXI^e siècle. Enquête sur les métaux à l'ère de la transition (Seuil,
 2024), la journaliste Celia Izoard, qui a multiplié les enquêtes de terrain sur des mines
 65 extrayant des métaux de la transition, observe que l'idée de transition énergétique sert à
 imposer un « état d'exception minier », qui est « l'un des plus grands paradoxes de notre

temps : pour tenter de limiter les émissions carbone à l'origine du réchauffement [...] un coup d'accélérateur historique a été donné à l'une des industries les plus énergivores et toxiques que l'on connaisse. L'extraction et la métallurgie représentent près de 12 % de l'énergie consommée dans le monde ».

« Décroissance de la consommation »

Et encore, « ce n'est même pas le problème principal », prévient Jean-Baptiste Fressoz. Car il faut s'intéresser à ce qu'on fait de ces énergies : éoliennes et panneaux solaires permettent de décarboner la production électrique, mais ce n'est « que la première étape, la plus aisée », avertit l'historien. Un monde avec une électricité renouvelable reste dépendant de l'acier, du ciment, du plastique et des engrais azotés - des matériaux-clés qui sont autrement plus ardues à décarboner, et sont pourtant essentiels pour continuer à fabriquer les infrastructures dont dépend la société, routes, bâtiments et autres voies de chemin de fer.

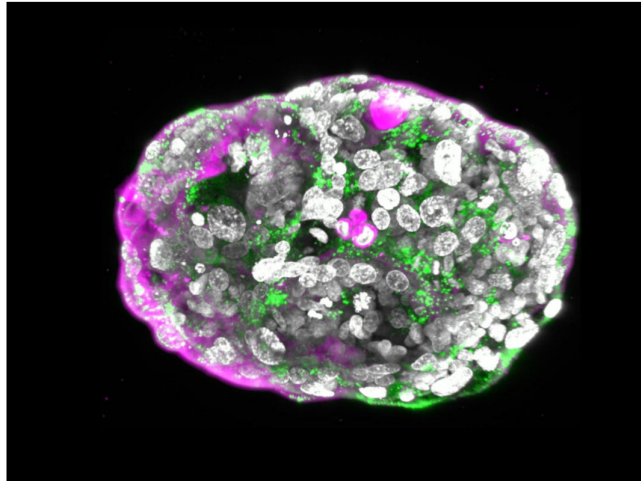
À n'en pas douter, la thèse de Fressoz va faire débat, tant elle invalide ce terme de transition omniprésent dans le débat public, quand bien même la notion de sobriété énergétique (qui pointe la nécessité de diminuer la consommation d'énergie) s'y fait de plus en plus entendre. Jean Pisani-Ferry, économiste mandaté par Emmanuel Macron pour proposer un rapport sur l'action pour le climat, justifie la nécessité de faire advenir une « nouvelle révolution industrielle » par le fait qu'il y aurait déjà eu des transitions énergétiques par le passé. De son côté, le groupe III du GIEC affirme, dans son rapport du printemps 2022 que « la transition énergétique pourrait avoir lieu bien plus rapidement que par le passé », avec le développement des énergies renouvelables. Si le concept de transition énergétique emmène sur une fausse route, c'est, d'après Fressoz, parce qu'il a initialement été mis au point aux Etats-Unis par des ingénieurs nucléaires qui ne s'intéressaient pas à l'histoire des énergies, mais voulaient démontrer que l'atome était la voie à suivre face à un supposé épuisement des hydrocarbures dans les années 70. « Le concept de transition décrit mal les transformations passées [...] parce que ce n'était pas son but : l'idée ne vient pas d'une observation empirique du passé mais de l'anticipation du futur », écrit-il.

Si l'histoire qu'il propose aujourd'hui est nécessaire, c'est parce que la situation environnementale impose de penser autrement : plutôt que de miser sur des technologies inabouties pour rêver d'avions « net zéro », mieux vaudrait commencer à penser sérieusement les niveaux de consommation matérielle et la « répartition énergétique », conclut Fressoz. « C'est une thèse importante, dont on peut tirer deux enseignements », note l'historien des techniques François Jarrige. Première leçon, à destination des historiens : il faut cesser de considérer les énergies comme des technologies indépendantes les unes des autres, et intégrer à la recherche le fait qu'elles fonctionnent en symbiose. Deuxième point, à portée plus politique : « Le cœur du problème est matériel : c'est l'augmentation symbiotique de la consommation de matières. La conclusion qu'on tire de ce constat, c'est qu'il faut aller vers une décroissance de la consommation des flux de matière », poursuit Jarrige. Les récentes discussions à la COP 28, où l'idée d'une « transition hors » des énergies fossiles a été considérée comme une avancée idéologique majeure, restent encore assez loin de ces considérations. Mais il est permis d'espérer qu'une transition des mentalités (vers plus de sobriété) et, avec elles, des politiques publiques, soit un objectif plus réaliste à viser qu'une transition du mix énergétique.

Comment encadrer la recherche sur les modèles d'embryon

Les embryoides, issus de cellules souches, imitent le développement des premiers jours suivant la conception. L'Agence de la biomédecine propose une limite de vingt-huit jours de culture *in vitro*.

Hervé Morin, *Le Monde*, 17 octobre 2023



Modèle d'embryon cultivé dans le laboratoire de Jacob Hanna, correspondant à 12 ou 13 jours de développement d'un embryon humain.

Le 6 septembre, la revue *Nature* publiait une étude marquant une nouvelle avancée dans la fabrication *in vitro* de modèles d'embryons humains. L'équipe de Jacob Hanna (Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israël), l'une des plus en pointe dans ce domaine, décrit avoir pu cultiver jusqu'au stade treize-quatorze jours un cocktail de cellules souches embryonnaires humaines. Plongées dans le milieu adéquat, celles-ci se sont spontanément multipliées pour former une entité cellulaire dont la croissance imite celle d'un véritable embryon, mais aussi des tissus destinés à favoriser son implantation dans un utérus – opération qui n'a bien sûr pas été conduite.

Cette nouvelle publication illustre les progrès rapides dans la mise au point de modèles d'embryons humains, ou embryoides, susceptibles de se substituer dans des projets de recherche aux embryons issus de fécondations *in vitro*, et ne faisant plus l'objet d'un « projet parental ». Ces embryoides sont capables de se développer jusqu'à des stades de plus en plus avancés de l'organogenèse, c'est-à-dire la formation de structures différenciées permettant le développement de l'embryon. Pour accompagner ces percées successives et guider les équipes françaises impliquées dans ces travaux, le conseil d'orientation de l'Agence de la biomédecine a rendu public mercredi 11 octobre un avis sur ces modèles d'embryons, dont les caractéristiques se rapprochent de plus en plus de celles de véritables embryons humains.

Rappelons que ces derniers ne peuvent être cultivés en laboratoire à des fins de recherche au-delà de quatorze jours – une limite instaurée par la loi de bioéthique du 2 août 2021.

Cette même loi a posé que certaines recherches sur les cellules souches embryonnaires humaines (CSEh) ou les cellules souches pluripotentes induites (iPS), qui peuvent conduire à la formation d'embryoïdes, étaient soumises à déclaration auprès de l'Agence de la biomédecine, laquelle doit obligatoirement solliciter son conseil d'orientation pour avis.

- 25 C'est précisément ce qui s'est passé début 2023, lorsque l'équipe de Laurent David (université de Nantes) a interrogé l'agence sur un projet de culture, à partir de cellules iPS, de blastoïdes. Ceux-ci sont des modèles d'embryon et d'annexes (futur placenta et sac vitellin), nécessaires à l'implantation dans l'utérus. *« J'avais posé la question de la limite de temps, par souci de transparence, indique Laurent David. Nous ne voulons plus que soient*
- 30 *menées des recherches de type bébés Crispr »*, où la société est mise devant le fait accompli. Il fait référence à la naissance en Chine, fin 2018, de jumelles dont le patrimoine génétique avait été modifié en secret.

« Implantation *in vivo* proscrite »

- 35 *« Nous avons donné un accord jusqu'à quatorze jours pour ces blastoïdes, puis nous nous sommes autosaisis pour approfondir les recommandations, dans l'avis qui vient d'être publié »,* indique Jean-François Guérin, président du conseil d'orientation de l'Agence de la biomédecine et rédacteur de cet avis. Le texte propose *« d'autoriser les recherches sur des embryoïdes intégrés, notamment les plus complets (e.g. blastoïdes), jusqu'à un stade de développement équivalent au vingt-huitième jour du développement de l'embryon, avec arrêt*
- 40 *complet de toute expérimentation au-delà de ce stade »*. L'avis suggère de revisiter la question du consentement à ce type de recherches par les personnes qui font don de leurs embryons ou de cellules susceptibles de générer des cellules souches, potentielles sources d'embryoïdes.

- 45 *« Il y a une sorte de boîte noire entre le quatorzième jour et le début du deuxième mois de développement embryonnaire »,* rappelle Jean-François Guérin : les phénomènes qui permettent la bonne formation des organes ne sont pas explorés faute de pouvoir cultiver des embryons humains pendant cette période. Seules des coupes d'utérus obtenues au début du XX^e siècle, la collection Carnegie, donnent des bases de référence. Mais la dynamique des phénomènes en jeu reste opaque. *« Il n'est pas justifié de cultiver ces modèles au-delà de*
- 50 *vingt-huit jours, car (...) ils dérivent par rapport au développement physiologique et perdent donc leur pertinence et leur utilité scientifique et médicale »,* lit-on dans l'avis. Au-delà de ce premier mois, des modèles d'organes (organoïdes) pourraient se substituer aux embryoïdes *« selon le principe de subsidiarité, qui impose de choisir les moyens strictement nécessaires pour atteindre les objectifs poursuivis »*.

- 55 Enfin, *« les embryoïdes humains doivent être utilisés exclusivement pour des objectifs de recherche scientifique, insiste l'avis. Leur implantation in vivo doit demeurer proscrite, en conformité avec les recommandations de l'ISSCR »*. L'International Society for Stem Cell Research est une société savante qui devrait réactualiser prochainement ces recommandations émises en 2021.

- 60 *« Elles étaient incomplètes »,* estime Nicolas Rivron (Institut de biotechnologie moléculaire de l'Académie des sciences d'Autriche, Vienne), un des pionniers de l'étude des embryoïdes, qui a été sollicité comme conseiller scientifique par l'Agence de la biomédecine. Il se réjouit de l'initiative de celle-ci : *« Cela montre que les scientifiques prennent les devants pour*

développer un cadre éthique. » Il s'est aussi investi dans une réflexion collective qui a abouti à la publication en août dans *Cell* d'un article proposant un cadre éthique pour l'embryologie humaine. L'une des propositions concerne la définition de points de bascule qui conduiraient à considérer les embryoïdes comme des embryons. L'un d'eux serait la capacité d'embryoïdes animaux, implantés dans des espèces de plus en plus semblables à la nôtre, à former des fœtus allant jusqu'à terme, viables et fertiles.

L'article de *Cell* propose en outre une définition légale de l'embryon qui pourrait un jour englober les embryoïdes : soit « *un groupe de cellules humaines soutenues par des éléments remplissant des fonctions extra-embryonnaires et utérines qui, combinées, ont le potentiel de former un fœtus* ». L'avis français considère au contraire que les modèles embryonnaires humains « *ne peuvent pas, par essence, être équivalents à des embryons à ce jour* ». Il donne deux raisons : ces embryoïdes ont pour origine des cellules souches, et non une fécondation par la réunion de deux génomes portés par les gamètes parentaux. Ils ne sont pas issus d'un projet parental initial, comme dans le cadre des embryons donnés à la recherche.

« Des fenêtres incroyables sur le plan médical »

Cette divergence mise à part, on en est encore loin de pouvoir confondre la copie et l'original. « *Aucun modèle d'embryon n'a été capable de former un organisme*, rappelle Nicolas Rivron. *Ils deviennent désorganisés après quelques jours, et donc inutiles pour les sciences et la médecine.* »

Alfonso Martinez Arias (université Pompeu Fabra, Barcelone), qui a cosigné l'article de *Cell* avec Nicolas Rivron, salue l'avis de l'Agence de la biomédecine, « *le meilleur texte que j'ai lu sur le sujet* ». Lui-même a développé des gastruloïdes, des embryoïdes « non intégrés », privés de ce qui formerait la tête et le placenta. « *S'il est probable que le cap des vingt et un jours soit atteint assez rapidement, la semaine suivante sera difficile* », estime-t-il. Il souligne le très faible rendement dans la production des embryoïdes, et juge qu'« *à l'exception des travaux de Jacob Hanna, aucun ne devrait être considéré comme un modèle d'embryon* ».

Pour sa part, Jacob Hanna – dont l'objectif ultime serait de produire des tissus à des fins de médecine régénérative – estime prématurée l'idée d'imposer une durée maximale de culture des embryoïdes. « *C'est très limitant de n'aller que jusqu'à vingt-huit jours*, dit-il. *Je pense que nous devons atteindre la fin des stades d'organogenèse à cinquante jours. Cela nous donnera infiniment plus d'informations critiques.* »

« *Jacob est assez isolé sur ses positions*, note Nicolas Rivron. *Pour étudier l'organogenèse, les organoïdes offrent une alternative éthiquement moins chargée, et potentiellement plus précise sur le plan scientifique.* » Même si peu d'équipes sont encore concernées, « *les embryoïdes ouvrent des fenêtres incroyables sur le plan médical* », estime cependant Nicolas Rivron. Il cite les problèmes d'infertilité, de perte de grossesse, mais aussi la médecine préventive. « *Comprendre notre développement précoce peut avoir un impact énorme*, insiste-t-il. *On sait par exemple qu'il y a une corrélation très forte entre le développement du placenta et celui du cœur.* »

L'avis de l'Agence de la biomédecine n'a pas force de loi. Il faudra que le politique s'en empare. Mais pour Nicolas Rivron, il n'est peut-être pas urgent de le faire, pour éviter de figer les choses. « *Un cadre est là, on va pouvoir retourner à la paillasse, pour progresser pas à pas.* »