# La dé-extinction des espèces :

# Une entreprise souhaitable?



Joachim Peladan Violette Lanneau Federico Garcia Loris Megy Narjis El Amraoui Rania Fathi Thomas Foliard Mathis Bourdin

2023

Cette publication a été réalisée par des étudiants en troisième année du cycle ingénieur de Mines Paris PSL Research University. Il présente le travail réalisé dans le cours intitulé « Descriptions de controverse », qui a pour objectif d'introduire les étudiants à l'univers incertain de la recherche scientifique et technique et de les sensibiliser aux enjeux de la participation citoyenne.

Mines Paris décline toute responsabilité pour les erreurs et les imprécisions que peut contenir cet article. Vos réactions et commentaires sont les bienvenus. Pour signaler une erreur, réagir à un contenu ou demander une modification, merci d'écrire à la responsable de l'enseignement : madeleine.akrich@mines-paristech.fr.

## Introduction

Serait-on sur le point de faire du scénario de « Jurassic Park »1 une réalité ? C'est la question qui nous vient à l'esprit quand on s'intéresse au projet phare de la startup américaine Colossal<sup>2</sup>: ramener à la vie le mammouth laineux, disparu il y a 4000 ans. Cette entreprise, fondée en 2020 par le généticien renommé George Church, ambitionne en effet d'utiliser les récents progrès de la génétique pour ressusciter des espèces disparues. Dans le monde académique, ce programme de « dé-extinction » crée des interrogations et suscite des critiques. De quoi parle-t-on exactement quand on parle de dé-extinction ? Quelles sont la faisabilité technique et l'intérêt d'une telle ambition ? Que faire d'individus « dé-éteints » ? Plus généralement, quel rapport entre l'Homme et la nature transparaît au travers de telles initiatives?

Ce sujet, par son côté très technique et par sa nouveauté, est peu connu du grand public, et les débats sont principalement concentrés dans la sphère académique. Cependant, la dé-extinction intéresse de nombreuses spécialités, comme la biologie, la génétique, la conservation ou l'éthique par exemple (voir figure 1b).

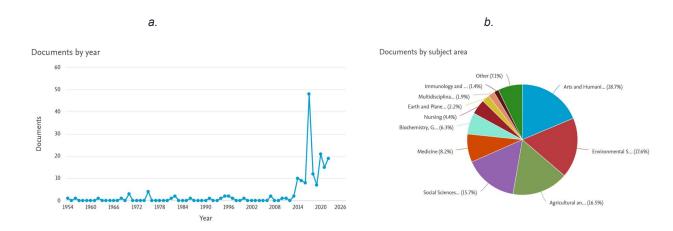


Figure 1 : Statistiques sur les 178 articles référencés sur Scopus contenant "de-extinction" dans leur titre, mots clés ou abstracts. (a) Nombre de documents du corpus par année. (b) Répartition des documents par domaine.

Source : Base de données Scopus

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Jurassic Park. (2022). In Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Jurassic\_Park&oldid=199379531

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> https://colossal.com/

#### Naissance des débats

Le sujet de la "dé-extinction" a pris de l'importance au sien de la communauté scientifique à partir de mars 2013 (voir figure 1a) grâce à une série de conférences diffusées en direct lors de l'événement TEDxDeExtinction<sup>3,4</sup>, accueilli par la National Geographic Society qui a simultanément publié un article sur la dé-extinction dans son magazine<sup>5</sup>. L'événement est organisé par Revive & Restore<sup>6</sup>, organisation de conservation à but non lucratif fondée en 2012 par Stewart Brand et Ryan Phelan, qui y annonce son projet phare de dé-extinction, "The Great Passenger Pigeon Comeback" (Le Grand Retour de la Tourte Voyageuse). La dé-extinction a été présentée comme un moyen d'annuler les extinctions historiques en restaurant de nouvelles versions d'espèces disparues dans leurs anciens habitats. Cette idée a alors déclenché des débats éthiques, sociaux et technologiques dans les médias, parmi les scientifiques lors d'événements publics et même lors de symposiums spéciaux dans le cadre de conférences universitaires, comme nous l'a expliqué en entretien M. Ian, professeur de génétique à l'université Stanford.

En réaction à ces débats, un groupe de travail a été créé en avril 2014 sous les auspices de la Commission de la Sauvegarde des Espèces (CSE) de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et a été chargé de rédiger un ensemble de principes directeurs sur la création de substituts d'espèces éteintes au profit de la conservation<sup>7</sup>. Ce groupe de travail a été choisi pour représenter un large éventail d'expertises liées principalement à la conservation des espèces et leur motivation a été d'informer la CSE sur la faisabilité technologique rapidement émergente de la création d'un proxy d'une espèce éteinte. Le rapport est publié en 2016 et établit la première description détaillée de la déextinction, sans toutefois se positionner pour ou contre le concept de dé-extinction des espèces. Selon Philip Seddon, professeur en biologie en Nouvelle-Zélande ayant présidé la rédaction du groupement d'instructions et bonnes pratiques de la dé-extinction à l'UICN, ce rapport constitue un outil potentiel à la pratique de la dé-extinction dans une optique de restauration de la biodiversité, de stabilisation et de renforcement des écosystèmes<sup>8</sup>. L'objectif de cette publication est d'engager le dialogue dans la communauté scientifique ainsi que le débat public. Elle a en effet été un élément déclencheur qu'on identifie très clairement sur la figure 1a.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> De-extinction: Hubris or Hope?: Hank Greely at TEDxDeExtinction. 2013. https://www.youtube.com/watch?v=HuRk0V2LoMY (4 janvier 2023).

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> TEDxDeExtinction | TED. (s. d.). Consulté 4 janvier 2023, à l'adresse https://www.ted.com/tedx/events/7650

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> « Opinion: The Case for Reviving Extinct Species ». 2013. *Adventure*. https://www.nationalgeographic.com/adventure/article/130311-deextinction-reviving-extinct-species-opinion-animals-science (4 janvier 2023).

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> https://reviverestore.org/

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> IUCN SSC (2016). IUCN SSC Guiding principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> IUCN SSC (2016). IUCN SSC Guiding principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission

#### ■ Définition de la dé-extinction

Le rapport de l'UICN définit la dé-extinction en se basant sur le fait qu'aucune méthode actuelle ne permet d'obtenir une réplique fidèle d'une espèce disparue, en raison des différences génétiques, épigénétiques<sup>9</sup>, comportementales, physiologiques et autres. Le terme désigne donc selon l'UICN la création d'un substitut (ou proxy) d'une espèce éteinte via la production d'un équivalent fonctionnel capable de restaurer les fonctions ou processus écologiques qui auraient pu être perdus à la suite de l'extinction de l'espèce originale.

Bien que la grande majorité de la communauté d'experts s'accorde sur la définition proposée par l'UICN, comme c'est le cas pour l'équipe scientifique chez Colossal Biosciences<sup>10</sup>, des désaccords existent dans la littérature publiée concernant la dé-extinction, découlant elles-mêmes d'imprécisions sur les définitions d'espèce et d'extinction. Ben Novak, lead scientist chez Revive & Restore, soulève en 2017 que la fluidité de ces concepts bouleverse les paradigmes de conservation existants, et perturbe les débats sur la déextinction<sup>11</sup>. Au-delà des gradations usuelles (espèces, sous-espèces, populations distinctes, écotypes; fonctionnellement éteint, localement éteint, éteint à l'état sauvage, globalement éteint), il met en évidence la fluidité de ces concepts en s'appuyant sur la spéciation anagénétique<sup>12</sup> et l'hybridation<sup>13</sup>. Il se questionne sur le degré de changement nécessaire pour qu'une espèce soit considérée comme une espèce différente de sa forme historiquement reconnue, et notamment aux poids à donner à la génétique, au microbiome et au comportement de la population pour la définition de l'espèce. De ce fait, il souligne que la définition de la dé-extinction de l'UICN engendre une contradiction sur la définition d'une espèce : si l'on considère qu'un clone est un proxy d'une espèce éteinte, et donc membre d'une nouvelle espèce, alors que son génome est en tout point identique à celui de l'espèce éteinte sans nécessairement posséder les mêmes marqueurs épigénétiques, alors on peut considérer toute espèce dont les marqueurs épigénétiques ont été modifiés par l'activité humaine comme nouvelle, ce qui est absurde selon lui. Autrement dit, tant que l'ADN d'une espèce est conservé, on ne parle pas de dé-extinction. Il propose donc la définition suivante de la dé-extinction : le remplacement écologique d'une espèce éteinte par l'adaptation volontaire d'un organisme vivant à la fonction écologique de l'espèce éteinte en modifiant les phénotypes<sup>14</sup> au moyen de diverses techniques de reproduction.

Ceci n'est qu'un exemple de définition différente de la dé-extinction, et il existe diverses interprétations découlant de ce terme, dont la plupart ont été synthétisées par Helena Siipi, philosophe environnementale de l'Université de Turku, et Leonard Finkelman, philosophe en biologie, qui préfèrent à "dé-extinction" l'expression "biologie de la résurrection" <sup>15</sup>. Bien que ces derniers ne fassent pas autorité sur la question de la définition de la déextinction, leur travail reste néanmoins intéressant pour comprendre dans une certaine mesure le spectre sur lequel s'étend ce concept. Ils mettent en évidence 4 façons de définir la dé-extinction qui reviennent souvent dans la littérature :

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Relatif à l'hérédité de caractères, de modifications, d'informations qui ne sont pas portés par les gènes.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> https://colossal.com/

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Novak, Ben Jacob. 2018. « De-Extinction ». Genes 9(11): 548.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Processus d'extinction d'une espèce lorsqu'elle évolue vers une nouvelle espèce.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Croisement entre deux variétés d'une même espèce, entre deux espèces.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Ensemble des caractères apparents d'un individu

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Siipi, Helena, et Leonard Finkelman. 2017. « The Extinction and De-Extinction of Species ». *Philosophy & Technology* 30(4): 427-41.

- (i) la *réplication*, reprenant la définition de l'UICN en ce que les animaux créés par la biologie de la résurrection n'appartiennent pas à l'espèce originale mais en sont des copies;
- (ii) la *recréation*, dans le cadre de laquelle les animaux créés sont des membres de l'espèce originelle mais, malgré leur existence, l'espèce reste éteinte, ce qui est incompatible avec tous les concepts d'espèces connus;
- (iii) la *non-extinction*, de sorte que les animaux créés appartiennent à l'espèce d'origine qui, en fait, ne s'est jamais éteinte, ce qui peut être compatible avec la finalité de l'extinction, qui est la définition adoptée par Ben Novak;
- (iv) la *résurrection littérale*, selon laquelle la biologie de la résurrection réussit à inverser l'extinction par la création de nouveaux membres d'espèces qui se sont éteintes, ce qui présuppose la non-finalité de l'extinction et est compatible avec les concepts d'espèces phénétiques.

Ils soulignent qu'aucun concept d'espèce ou d'extinction n'est compatible avec tous les points de vue possibles sur la biologie de la résurrection et vice versa, et qu'ainsi les points de vue adoptés sur l'un déterminent ceux adoptés sur l'autre.

#### Organisation du débat

Ce terme entraîne donc une perception différente des enjeux et conséquences par les politiques et le public au sens large, et impacte ainsi l'avenir des stratégies de conservation des écosystèmes et de la biodiversité. Ainsi, en dehors des réflexions qu'il peut exister autour de la définition de la dé-extinction, il existe des problématiques autrement plus controversées, en particulier au sujet de la faisabilité de cette entreprise. Le présent article s'articule par conséquent autour des interrogations suivantes : la dé-extinction est-elle possible génétiquement parlant ? Si c'est le cas, la réintroduction d'espèces éteintes n'est-elle pas trop risquée ? Et quelles sont les conséquences de ces nouvelles technologies sur notre rapport à la Nature ?

# ■ Que peut la génétique?

Quelle que soit la définition exacte de la dé-extinction, le fait de ramener à la vie une copie d'un spécimen précédemment est encore un sujet de recherche. Trois techniques principales sont considérées par l'UICN¹6 comme des moyens possibles d'y parvenir : le rétrocroisement sélectif, qui consiste à reproduire les animaux descendants pour qu'ils présentent les caractéristiques d'espèces précédemment éteintes ; le clonage, qui permet d'obtenir des substituts génétiquement plus proches de l'espèce éteinte, mais qui nécessite des tissus correctement conservés et de nombreuses sources pour recréer une population ; et l'ingénierie des génomes, qui est plus difficile mais qui permet d'obtenir la reproduction génétique la plus fiable d'une espèce éteinte. Le choix entre ces méthodes dépend principalement des caractéristiques de chaque espèce considérée, ainsi que de la disponibilité en espèce proche et en matériel génétique.

Il faut aussi considérer que l'enjeu n'est pas la recréation parfaite du génome d'une espèce disparue, mais la création d'individus suffisamment proches, comme précisé dans la Note de Terminologie du rapport de l'UICN :

"The term "de-extinction" is misleading in its implication that extinct species, species for which no viable members remain, can be resurrected in their genetic, behavioural and physiological entirety. These guidelines proceed on the basis that none of the current pathways will result in a faithful replica of any extinct species, due to genetic, epigenetic, behavioural, physiological, and other differences. For the purposes of these guidelines the legitimate objective for the creation of a proxy of an extinct species is the production of a functional equivalent able to restore ecological functions or processes that might have been lost as a result of the extinction of the original species. Proxy is used here to mean a substitute that would represent in some sense (e.g. phenotypically, behaviourally, ecologically) another entity – the extinct form. Proxy is preferred to facsimile, which implies creation of an exact copy."

"Le terme "de-extinction" est trompeur dans la mesure où il implique que les espèces éteintes, c'est-à-dire les espèces dont il ne reste aucun membre viable, peuvent être ressuscitées dans leur intégralité génétique, comportementale et physiologique. Les présentes lignes directrices partent du principe qu'aucune des voies actuelles ne permettra d'obtenir une réplique fidèle d'une espèce disparue, en raison de différences génétiques, épigénétiques, comportementales, physiologiques et autres. Aux fins des présentes lignes directrices, l'objectif légitime de la création d'un substitut d'une espèce disparue est la production d'un équivalent fonctionnel capable de restaurer les fonctions ou processus écologiques qui auraient pu être perdus à la suite de l'extinction de l'espèce originale. Le terme "proxy" est utilisé ici pour désigner un substitut qui représenterait dans un certain sens (par exemple, sur le plan phénotypique, comportemental ou écologique) une autre entité - la forme éteinte. Le terme "proxy" est préféré à celui de "fac-similé", qui implique la création d'une copie exacte."

\_

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> IUCN SSC (2016). IUCN SSC Guiding principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission

#### ■ Est-il possible de recréer un génome ?

Recréer un génome suffisamment proche des espèces éteintes pour faire réapparaître des "proxies", ou équivalents écosystémiques, paraît très réalisable pour les leaders de l'innovation dans le domaine, comme nous le confie Mme. Sarah, conservationniste généticienne, membre de l'équipe de Revive & Restore, travaillant sur le projet de déextinction de la tourte voyageuse :

"Sometime between the next, you know, five to 15 years is when we will be actually having a first generation, and hopefully within about 10 to 15 [more] years, that's the span where we'll actually have what we want, then the burden will be having to breed up enough to have a large enough population to start putting in the wild. [...]. So you know, we're about maybe 35 years from seeing birds [ passenger pigeons] in the wild again."

"Dans les cinq à quinze prochaines années, nous aurons une première génération et, avec un peu de chance, dans les dix à quinze années [supplémentaires], nous aurons ce que nous voulons, puis le fardeau sera de se reproduire suffisamment pour avoir une population assez importante pour commencer à la mettre dans la nature. [...]. Donc vous savez, nous sommes à environ 35 ans de revoir des oiseaux [tourtes voyageuses] dans la nature."

Les difficultés technologiques lui paraissent entièrement surmontables, dépendant uniquement de l'investissement en temps et argent réalisé dans ce but, comparant les avancées possibles à celles réalisées dans les dernières décennies :

"It's just money. And time is constrained by how much money you have. If you have enough money to put into something, you know, you can do it depending on what you're trying to do, of course, right. [...] In the last 10 years gene editing went from being able to do a change in a single gene to now doing several different types of precise edits once with no off target effects to teams that are actually inserting pieces of DNA genomes that are 150,000 base pairs in size. [...] The things that have gone on and just the last 10 years show up show me that now that a company like colossal has over \$100 million to advance this technology can advance very rapidly."

"C'est juste de l'argent. Et le temps est limité par l'argent que vous avez. Si vous avez assez d'argent à mettre dans quelque chose, vous savez, vous pouvez le faire en fonction de ce que vous essayez de faire, bien sûr, d'accord. [...] Au cours des dix dernières années, l'édition de gènes est passée de la possibilité de modifier un seul gène à celle de faire plusieurs types différents de modifications précises en une seule fois sans effets hors cible, puis à des équipes qui insèrent des morceaux de génomes d'ADN de 150 000 paires de bases. [...] Ce qui s'est passé au cours des dix dernières années montre que, maintenant qu'une entreprise comme Colossal dispose de plus de 100 millions de dollars pour progresser, cette technologie peut avancer très rapidement."

Les avancées prodigieuses de la génétique ces dernières années et les promesses des créateurs ne parviennent néanmoins pas à convaincre tous les sceptiques. Nous avons eu en entretien M. Owen, biologiste moléculaire, membre de l'Organisation européenne de biologie moléculaire (EMBO) ainsi que de l'organisation internationale HUGO (Human

Genome Organisation), et consultant pour plusieurs entreprises de biotechnologie. Il estime que les projets de dé-extinction relèvent de l'utopie irréalisable :

"C'est possible qu'on arrive dans un avenir pas trop proche à comprendre la structure [de l'ADN de mammouth], mais avec la fonction, il y a une différence énorme. On n'arrive toujours pas à faire le portrait-robot d'un homme à partir de son ADN par exemple.

[...]

C'est complètement illusoire, ce n'est pas sérieux."

Robert DeSalle<sup>17</sup>, biologiste conservationniste, va jusqu'à y voir une dépense irréfléchie d'argent qui aurait dû directement être utilisé à des fins de conservation.

"Whether de-extinction can help make a real dent in the extinction crisis—whether it will help save species—is much less clear.

[...]

It is imperative, then, that any attempt to use technology in this crisis discipline actually contribute to solving the crisis and not be just conversation. [De-extinction's] immediate contribution to solving the biodiversity crisis is limited at best."

"Il est beaucoup moins évident que la dé-extinction puisse contribuer à réduire réellement la crise de l'extinction, c'est-à-dire à sauver des espèces.

[...]

Il est donc impératif que toute tentative d'utiliser la technologie dans cette discipline de crise contribue réellement à résoudre la crise et ne soit pas seulement une conversation. La contribution immédiate [de la dé-extinction] à la résolution de la crise de la biodiversité est au mieux limitée."

#### Quel réel intérêt de la recherche génétique ?

Comme le pointait précédemment Robert DeSalle, les fonds attirés par la dé-extinction peuvent paraître démesurés par rapport à la fantaisie apparente du projet. Cependant de nombreux scientifiques dont M. Alan, spécialiste en biologie de réintroduction, biologie de la conservation et gestion de la vie sauvage ayant mené un rôle central dans l'élaboration du rapport de l'UICN, soutiennent qu'il est important de continuer la recherche sur la dé-extinction car les avancées technologiques pourraient éventuellement aider l'humanité à résoudre de nombreux autres problèmes liés à la recherche génétique<sup>18</sup>.

"I think the [de-extinction] technology should be pushed as far as it can. Because I think the development of so-called de-extinction technology will be one of the important tools we have to prevent extinctions in the first place. And one of the ways it might do this is, is give us technological pathways to restore genetic diversity and bottleneck populations."

"Je pense que la technologie [de dé-extinction] doit être poussée aussi loin que

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Desalle, Rob, et George Amato. 2017. « Conservation Genetics, Precision Conservation, and De-Extinction ». *The Hastings Center Report* 47 Suppl 2: S18-23.

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Entretien avec M. Alan

possible. Parce que je pense que le développement des technologies de déextinction sera l'un des outils importants dont nous disposerons pour prévenir les extinctions en premier lieu. Et l'une des façons d'y parvenir est de nous donner des voies technologiques pour restaurer la diversité génétique et les populations en goulot d'étranglement."

Ils soutiennent que même si la dé-extinction est l'objectif principal, de nouvelles avancées seront développées tout au long des projets, ce qui justifiera la poursuite de ces efforts, tant sur le plan intellectuel que financier. Mme Sarah et son équipe à Revive & Restore comptent ainsi sur les nouvelles technologies qui devraient être développées dans le futur, et qui pourraient être utilisées par ailleurs dans les thérapies géniques.

"So one technology that has to get better, is the gene editing technology, right now we can edit maybe 10 to 30 genes at once. If we want it, we have to stand any hope of doing this, we need to be able to edit hundreds to 1000s of genes at once. That's a problem faced by Colossal. And because Colossal has 10s of millions of dollars and a lot of backing, I am playing a gamble that they will invent the technology."

"Une technologie qui doit s'améliorer est celle de l'édition des gènes. Actuellement, nous pouvons modifier 10 à 30 gènes à la fois. Si nous voulons, si nous voulons avoir un espoir de le faire, nous devons être en mesure de modifier des centaines à des milliers de gènes à la fois. C'est un problème auquel Colossal est confronté. Et parce que Colossal a des dizaines de millions de dollars et beaucoup de soutien, je fais le pari qu'ils vont inventer la technologie."

D'autres sont plus sceptiques comme M. Owen, biologiste moléculaire que nous avons interrogé sur le sujet, et considèrent que ces mêmes retombées pourraient être obtenues par des efforts plus directs. Continuer à faire des recherches dans ce domaine pour la simple raison qu'ils ont la possibilité d'obtenir de nouvelles avancées dans le domaine du génie génétique ne lui paraît pas être un argument valable, car ces mêmes avancées pourraient provenir d'autres recherches potentiellement plus fructueuses pour l'humanité.

"Ce projet médiatique aura quand même permis de récolter pas mal de millions de dollars qu'ils investissent dans les différentes phases pour mener le projet jusqu'au bout. Comme ce sont des gens très ingénieux et très créatifs, il est possible qu'ils améliorent CRISPR pour faire des modifications en simultané. Mais ces efforts pourraient être directement fait dans les travaux de la lutte contre le cancer ou le développement d'organes de greffe à partir de porcs génétiquement modifiés."

## ■ Relation entre conservation et dé-extinction

La faisabilité et l'utilité de la réintroduction d'espèces dans un écosystème font l'objet d'un débat entre spécialistes (en conservation, biologie, écosystèmes...), qui tourne principalement autour de la relation entre la dé-extinction et la conservation : est-elle de nature compétitive ou coopérative ? Les spécialistes enthousiastes, tels que les scientifiques travaillant sur le projet Colossal, voient d'importantes similitudes avec la translocation locale et la réintroduction d'espèces, où l'objectif est de restaurer une fonction écologique perdue ; la startup affirme sur son site web<sup>19</sup>, en se basant sur divers rapports scientifiques, que la réintroduction d'espèces comme le mammouth laineux pourrait faire renaître l'écosystème déjà perdu de la toundra sibérienne, ce qui contribuerait à créer un cycle empêchant le dégel du permafrost et la libération des gaz à effet de serre stockés dans celui-ci. Les plus sceptiques, tels que l'UICN, citent le nombre d'inconnues, telles que l'expression de gènes modifiés ou le changement d'écosystème depuis l'extinction, comme principale préoccupation lors de la réintroduction de ces espèces. Ces inquiétudes remontent au début de la discussion sur la dé-extinction mais ont été formalisées dans le rapport de l'UICN de 2016<sup>20</sup>.

Aujourd'hui encore, des professeurs dans le domaine de la biologie de la réintroduction pèsent le pour et le contre de la dé-extinction sans totalement la condamner : Par exemple, M. Alan<sup>21</sup>, soulignait l'importance de recréer uniquement la fonction biologique perdue, et pas nécessairement l'espèce elle-même, car d'autres espèces (non éteintes) peuvent remplir ce rôle tout en générant moins de risques. Il considère que les efforts devraient plutôt se concentrer sur les espèces en voie de disparition plutôt que celles déjà éteintes, qu'importe la technique utilisée. Alors, selon lui, la dé-extinction ne s'opposerait pas totalement à la conservation en ce sens qu'elle contribuerait à sauver des espèces d'une extinction imminente ou à préserver des espèces très récemment éteintes comme cela a été le cas en 2019, avec la conservation des derniers ovules de rhinocéros blanc par cryogénisation, afin de pouvoir les sauver de l'extinction. Il prétend néanmoins que la dé-extinction, telle qu'elle est présentée dans les médias, et notamment de par son effet de buzz, peut présenter un coût d'opportunité qu'il reste encore à déterminer et qui peut faire concurrence aux fonds alloués à la conservation. D'autres, comme Ben Novak<sup>22</sup>, affirment à l'inverse que la dé-extinction utilise des fonds différents, et ce pour un bien commun aux deux disciplines.

Nous présenterons ci-dessous les débats autour de la compétition entre la conservation traditionnelle et la dé-extinction, puis ceux autour de la pertinence de la dé-extinction comme un outil de préservation des écosystèmes.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> May Prehistory Thunder Forward : The Resurrection of the Woolly Mammoth. (s. d.). Consulté 4 janvier 2023, à l'adresse https://colossal.com/mammoth/

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> IUCN SSC (2016). IUCN SSC Guiding principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Entretien avec M. Alan

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Entretien avec Mme Sarah

# ■ Est-ce que la dé-extinction est en compétition avec la conservation traditionnelle ?

Le développement de technologies permettant de ramener à la vie des espèces éteintes peut être une arme à double tranchant. Dans les lignes directrices de l'UICN, le "risque moral" est invoqué comme l'un des principaux risques. M. Alan, chercheur spécialisé en biologie de réintroduction, biologie de la conservation et gestion de la vie sauvage, ayant participé au rapport de 2016 de l'UICN<sup>23</sup>, a évoqué ce concept en entretien :

"The moral hazard is where the risk is taken by one party that doesn't bear the cost. And the way the moral hazard is invoked, is that the idea that the conservation movement is built around the idea that extinction is forever. If you undermine that message by saying, "Well, maybe we've got the technology so we can let things go extinct, and we can bring them back, we can de-extinct them later", then you undermine the urgency to prevent extinctions in the first place. And there's no way that any technological fix is going to address the rate of extinctions that we're facing."

"L'aléa moral où le risque est pris par une partie qui n'en supporte pas le coût. Et la façon dont le risque moral est invoqué, c'est que l'idée que le mouvement de conservation est construit autour de l'idée que l'extinction est éternelle. Si vous sapez ce message en disant "Peut-être que nous avons la technologie pour laisser les choses s'éteindre, et nous pouvons les ramener, nous pouvons les de-éteindre plus tard", alors vous sapez l'urgence de prévenir les extinctions en premier lieu. Et il n'y a aucune chance qu'une solution technologique puisse résoudre le taux d'extinction auquel nous sommes confrontés."

Il développe ses idées en décrivant les problèmes financiers que la dé-extinction pose à la conservation.

"If you spend time and attention or money on one thing, this might be at the expense of something else that you might do. So, the feeling was that if you spend time and money on de-extinction, you're not spending time and money on averting extinctions of things which are critically endangered. There are counter arguments to that, where people say, "Well, this is different money, it's new money for de-extinction". Ultimately, though, if you're going to release something back into the wild, that needs to be managed in the wild. And that cost or that resource drain may fall on wildlife management agencies, which are already underfunded and are trying to manage the species they do have rather than having new species. So, there are two pretty strong arguments why we should be focusing on keeping all the things we've got rather than trying to bring back one or two selected other ones."

"Si vous consacrez du temps, de l'attention ou de l'argent à une chose, cela peut se faire au détriment d'une autre chose que vous pourriez faire. Ainsi, le sentiment était que si vous consacrez du temps et de l'argent à la de-extinction, vous ne consacrez pas de temps et d'argent à la prévention de l'extinction des espèces en danger critique d'extinction. Il y a des contre-arguments à cela, où les gens disent,

-

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Entretien avec M. Alan

"Eh bien, c'est de l'argent différent, c'est de l'argent nouveau pour la dé-extinction". Mais en fin de compte, si l'on veut relâcher quelque chose dans la nature, il faut le gérer dans la nature. Et ce coût ou cette perte de ressources peut retomber sur les organismes de gestion de la faune sauvage, qui sont déjà sous-financés et essaient de gérer les espèces qu'ils ont plutôt que d'avoir de nouvelles espèces. Il y a donc deux arguments assez forts qui expliquent pourquoi nous devrions nous concentrer sur la conservation de toutes les espèces que nous avons plutôt que d'essayer d'en ramener une ou deux autres sélectionnées."

En effet, le terme "dé-extinction" crée un effet de buzz permettant de susciter l'intérêt des médias pour un domaine spécifique de la génétique, d'attirer les fonds d'investissements. Le 13 septembre 2021, la paléontologue Tori Herridge dénonce dans une série de tweets<sup>24</sup> la communication de Colossal, selon elle basée sur des termes trompeurs (comme "de-extinction" ou "re-wilding") et l'impact qu'elles ont sur le grand public, les médias de masse (comme Europresse) reprenant ces termes :

"This is not de-extinction. There will be no mammoths on Earth ever again. If successful, this will be a chimeric elephant. An entirely novel, synthetic, genetically modified organism."

"Ce n'est pas une dé-extinction. Il n'y aura plus jamais de mammouths sur terre. Si cela fonctionne, ce sera un éléphant chimérique, un organisme totalement nouveau, synthétique et génétiquement modifié."

Ce buzz médiatique causé par la dé-extinction telle qu'elle est présentée, a inquiété certains conservationnistes<sup>25</sup>. Cette stratégie a pour effet de les dévier les financements d'autres travaux de recherche ou d'efforts visant la préservation des espèces en voie de disparition selon certains conservationnistes et généticiens, dont Robert DeSalle et George Amato<sup>26</sup>:

"Even though some scientists think de-extinction well meaning, it ultimately distracts and detracts from the larger problems of conservation biology. The two of us have previously argued that the debate over de-extinction ultimately comes down to funding. When it comes to funding, the study of biodiversity is usually an afterthought. When funding is limited, conservation biology is always the odd man out with respect to government programs. More reductionist approaches, such as molecular biology and genomics in the context of human health, are the major focus of most government funding."

"Même si certains scientifiques pensent que la de-extinction est bien intentionnée, elle finit par détourner l'attention des problèmes plus vastes de la biologie de la conservation. Nous avons tous deux affirmé précédemment que le débat sur la de-extinction se résume en fin de compte au financement. Lorsqu'il s'agit

<sup>25</sup> Bennett, Joseph et al. 2017. « Spending limited resources on de-extinction could lead to net biodiversity loss ». *Nature Ecology & Evolution* 1: 0053.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Tori Herridge sur Twitter. (s. d.). Twitter, 13/09/2021. Consulté 4 janvier 2023, à l'adresse <a href="https://twitter.com/ToriHerridge/status/1437439503900237825">https://twitter.com/ToriHerridge/status/1437439503900237825</a>

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Desalle, Rob, et George Amato. 2017. « Conservation Genetics, Precision Conservation, and De-Extinction ». *The Hastings Center Report* 47 Suppl 2: S18-23.

de financement, l'étude de la biodiversité est généralement reléguée au second plan. Lorsque le financement est limité, la biologie de la conservation est toujours l'intrus des programmes gouvernementaux. Des approches plus réductionnistes, telles que la biologie moléculaire et la génomique dans le contexte de la santé humaine, constituent l'objectif principal de la plupart des financements gouvernementaux."

Cependant, selon plusieurs acteurs, la dé-extinction s'inscrit dans une logique de conservation, car elle contribuerait effectivement à la sauvegarde d'espèces très récemment éteintes, au même titre que la réintroduction d'espèces localement éteintes qui est une pratique communément acceptée aujourd'hui. En effet, M. Alan, conservationniste ayant travaillé sur le rapport de l'UICN, évoque en entretien l'atout majeur que représentent les technologies de dé-extinction pour conserver les derniers ovules de rhinocéros blanc cryogénisés en 2019, afin de pouvoir les sauver de l'extinction.

Ainsi, quand bien même la dé-extinction détournerait des fonds de la conservation, elle les utiliserait in fine dans un intérêt commun. Mme Sarah, scientifique de Revive&Restore, a défendu en entretien cette idée en ajoutant que les détracteurs de la dé-extinction, qui l'opposent à la conservation, se trompent de coupable. Selon lui le problème est plutôt de nature systémique, la conservation ayant en général trop peu de financements publics, ce qui pousse à la compétition entre laboratoires de recherche. Il justifie ainsi l'utilisation des techniques de dé-extinction et de conservation en tandem, de sorte que la première est essentiellement financée par des fonds privés et la seconde par des fonds publics. Cette vision est majoritaire au sein de la communauté d'experts, et est partagée par des généticiens, des bioéthiciens et spécialistes légaux comme Henry Greely<sup>27</sup>, relativement favorable à la déextinction, et Christopher Preston<sup>28</sup> plutôt défavorable à la dé-extinction.

# ■ La dé-extinction pourra-t-elle être un outil de préservation des écosystèmes efficace ?

Une espèce et son environnement sont intimement liés, et un problème auquel se confrontent les projets de dé-extinction est le changement des écosystèmes depuis la disparition d'une espèce. On ne peut alors obtenir qu'un proxy de cette espèce, qui sera influencé par le nouvel environnement dans lequel il sera introduit. C'est notamment pourquoi le conservationniste Claudio Campagna<sup>29</sup> pense que le terme dé-extinction est mal choisi, et induit en erreur :

"De-extinction is the tip of an intellectual iceberg that sits atop of a host of profoundly questionable value systems, expectations, attitudes, and priorities that elude and bewitch critical reflection. It gives the impression that extinction is reversible and, thus, diminishes the gravity of the human annihilation of species."

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> Greely, H.T. (2017), Is De-extinction Special?. Hastings Center Report, 47: S30-S36. https://doi.org/10.1002/hast.749

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> Preston, C.J. De-extinction and Taking Control of Earth's "Metabolism". *Hastings Cent. Rep.* **2017**, *47*, S37–S42.

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> Campagna, Claudio, Daniel Guevara, et Bernard Le Boeuf. 2017. « De-Scenting Extinction: The Promise of De-Extinction May Hasten Continuing Extinctions ». *Hastings Center Report* 47(S2): S48-53.

"La dé-extinction est la pointe d'un iceberg intellectuel qui se trouve au sommet d'une foule de systèmes de valeurs, d'attentes, d'attitudes et de priorités profondément contestables qui échappent à la réflexion critique et l'envoûtent. Elle donne l'impression que l'extinction est réversible et, par conséquent, diminue la gravité de l'anéantissement des espèces par l'homme."

M. Alan, ayant travaillé sur le rapport de l'UICN et Mme Sarah, travaillant sur la déextinction de la tourte voyageuse, ne voient pas ce changement des écosystèmes comme un problème, et ont une vision plus utilitariste : la dé-extinction et ses usages sont définis par les rôles écosystémiques qu'ils peuvent accomplir, sans se soucier de ramener exactement la même espèce. Comme nous l'a expliqué Mme Sarah<sup>30</sup>, la réintroduction d'espèces localement éteintes fait face aux mêmes défis et peut servir d'inspiration pour mieux gérer ceux de la déextinction. Ainsi, la recréation de comportements sociaux et d'autres traits épigénétiques n'est pas inconnue des scientifiques et ne requiert pas forcément un grand nombre d'individus. Il prit l'exemple de la tourte voyageuse, oiseau hypersocial au cœur de son travail de déextinction. D'abord, la reconstruction d'un groupe est possible de manière artificielle en utilisant des individus d'une espèce proche pour favoriser ces comportements sociaux dès les premiers individus. De plus, la génétique influe sur les comportements de groupe, à travers des traits comme ceux de la différenciation sexuée (différentes formes de queue, couleurs de torse, ... entre mâles et femelles). Ce sont les gènes dictant ces traits spécifiques qui sont ciblés par son équipe au sein de Revive & Restore<sup>31</sup>. Grâce à ces exemples, il est confiant dans la possibilité d'effectuer des réintroductions d'espèces éteintes, qui ne diffèrent pas selon lui des réintroductions classiques dans le milieu de la conservation, dont l'objectif est de reremplir une niche écologique bénéficiant à l'écosystème.

En outre, d'autres spécialistes comme l'historienne de l'environnement Dolly Jørgensen<sup>32</sup> pensent que la seule chose que l'on puisse réellement restaurer est ce rôle dans l'écosystème. Le philosophe Holmes Rolston III<sup>33</sup> offrait en 1991 une définition alternative d'une espèce qui rejoint ce propos : une espèce représente la persistance de procédés et d'une manière de vivre selon ces procédés, plutôt que la reproduction d'individus. Dans la même idée, la start-up Colossal Biosciences présente la dé-extinction comme une réponse à l'extinction de masse et laisse entendre qu'il s'agit d'une alternative à la conservation. Ainsi, ces acteurs voient donc un réel bénéfice écologique aux outils de dé-extinction et voient la possibilité d'une valeur ajoutée à cette démarche.

Toutefois, la *task force* sur la dé-extinction de l'UICN, formé par des professeurs de zoologie comme Philip Seddon, professeurs d'évolution et écologie comme Resit Akcakaya, et professeurs de génétique et biosciences comme Mike Bruford et Henry T. Greely, entre autres membres de la communauté scientifique, prennent une position voulue neutre et exhaustive dans son rapport de 2016<sup>34</sup>. Dans ce rapport, ils ont mis en évidence des risques liés aux facteurs non contrôlables comme l'évolution de l'environnement, qui peuvent mener à des différences inconnues et imprévisibles par rapport à l'espèce d'origine, même en supposant que le proxy est une copie conforme au niveau génétique.

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> Entretien avec Mme. Sarah

<sup>&</sup>lt;sup>31</sup> « The Great Passenger Pigeon Comeback ». <a href="https://reviverestore.org/about-the-passenger-pigeon/">https://reviverestore.org/about-the-passenger-pigeon/</a> (4 janvier 2023).

<sup>&</sup>lt;sup>32</sup> Jorgensen, Dolly. 2019. *Recovering Lost Species in the Modern Age*. The MIT Press. <a href="https://mitpress.mit.edu/9780262537810/recovering-lost-species-in-the-modern-age/">https://mitpress.mit.edu/9780262537810/recovering-lost-species-in-the-modern-age/</a> (4 janvier 2023).

<sup>33</sup> Rolston, Holmes, 1988, Environmental Ethics: Duties to and Values in the Natural World,

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> IUCN SSC (2016). IUCN SSC Guiding principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission

Pour d'autres scientifiques, ces risques sont même trop importants par rapport aux bénéfices apportés. Le biologiste Piero Genovesi<sup>35</sup> considère qu'il y a actuellement trop peu de méthodes d'évaluations de risques pour s'assurer que la dé-extinction ne causera pas de dégâts à l'espèce, aux espèces environnantes, à l'écosystème ou à l'espèce humaine. Il ne suggère pas une interdiction des efforts de dé-extinction, qui pourraient avoir un impact positif, mais pense que le maintien des écosystèmes et le bien-être des espèces existantes doit primer sur un bienfait potentiel.

"We believe that, absent great confidence in a risk assessment, the continued well-being of existing species and substantial maintenance of existing ecosystem functions should be prioritized over potential benefits of introducing a proxy of an extinct species."

"Nous pensons que, en l'absence d'une grande confiance dans une évaluation des risques, le bien-être continu des espèces existantes et le maintien substantiel des fonctions existantes de l'écosystème devraient être prioritaires par rapport aux avantages potentiels de l'introduction d'un substitut d'une espèce éteinte."

David Blockstein, biologiste de la conservation ayant participé au rapport Hastings, un rassemblement d'articles de généticien, conservationniste, juriste et philosophe sur le sujet de la dé-extinction, a un avis plus tranché sur la question, qu'il détaille dans son article intitulé *"The De-Extinction Seduction"* Selon lui, la dé-extinction relève plus de la science-fiction, et bien que les outils génomiques fassent des progrès, la faisabilité et l'utilité de la réintroduction d'espèces dans un milieu par des méthodes de dé-extinction reste à prouver. Il exprime son scepticisme au travers de l'exemple de la tourte voyageuse (passenger pigeon), en affirmant :

"Why bring about a genetically modified Band-tailed Pigeon that looks somewhat like a Passenger Pigeon? I really can't think of a good reason. Certainly from the perspective of biodiversity and ecological integrity it is difficult to imagine why a pseudo-Passenger Pigeon is better than none. The ecological niche of the Passenger Pigeon is as gone as the bird."

"Pourquoi créer un pigeon à queue barrée génétiquement modifié qui ressemble un peu à la tourte voyageuse? Je n'arrive vraiment pas à trouver une bonne raison. Du point de vue de la biodiversité et de l'intégrité écologique, il est difficile d'imaginer pourquoi une pseudo-tourte voyageuse est mieux que rien. La niche écologique de la tourte voyageuse est aussi disparue que l'oiseau."

M. Timothy, lors de notre entretien, a notamment cité la modification de microbiote comme un exemple de variable imprévisible mais essentielle qui pourrait faire échouer les réintroductions en milieu naturel.

<sup>36</sup> David Blockstein, Center for Humans and Nature. 2015. « The De-Extinction Seduction ». Center for Humans and Nature. https://humansandnature.org/conservation-extinction-david-blockstein/ (4 janvier 2023)

<sup>&</sup>lt;sup>35</sup> Genovesi, P., & Simberloff, D. (2020b). "De-extinction" in conservation: Assessing risks of releasing "resurrected" species. Journal for Nature Conservation, 56, 125838. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125838

# Questions éthiques et morales

La dé-extinction replonge d'autant plus l'homme dans des problématiques de responsabilité, et questionne à nouveau son rapport à la nature, notamment la dette qu'il peut avoir envers ce qu'il a détruit. En plus de sa responsabilité vis-à-vis de l'espèce, l'homme agit en créant en parallèle des régulations. Or d'un point de vue légal, rien n'est aujourd'hui mis en place. Quant bien même on parviendrait à aboutir à un proxy, la propriété de l'animal, les réglementations autour de son bien-être, l'assurance autour des dégâts qu'il pourrait faire dans son environnement d'adoption ne sont pas définis. L'Office Français pour la Biodiversité affirme qu'a priori, ce serait l'Etat commanditaire de l'espèce de laboratoire qui pourrait être responsable des dommages potentiels causés par l'espèce<sup>37</sup>. Actuellement, la réglementation qui se rapproche le plus de notre cas est celle européenne appliquée aux espèces exotiques envahissantes. Des études d'impact, comme celles réalisées aujourd'hui par le SGES sur l'anticipation de l'éradication d'espèces, ex ante et post ante seront nécessaires, notamment pour déterminer, puisque cela n'en a jamais été question précédemment dans l'étude de la controverse, de l'existence ou non et l'intensité de la souffrance animale induite. Nous nous concentrons ici sur deux questions d'ordre éthique : la dette de l'Homme envers les espèces éteintes, et la souffrance animale.

#### ■ L'Homme a-t-il une dette envers les espèces éteintes ?

Certaines espèces éteintes le sont à cause de l'Homme. C'est le cas par exemple de la tourte voyageuse, disparue à la fin du 19ème siècle à la suite d'une augmentation de sa chasse par l'Homme<sup>38</sup>. Selon le paléontologue Michael Archer, qui dirige le projet Lazarus visant à recréer des espèces de grenouilles éteintes, l'Homme a une dette envers les espèces dont il a causé l'extinction. En 2013, il déclare auprès de National Geographic<sup>39</sup>, à propos de la dé-extinction :

"If we're talking about species we drove extinct, then I think we have an obligation to try to do this."

"Si nous parlons d'espèces que nous avons fait disparaître, alors je pense que nous avons l'obligation d'essayer de le faire."

Eric Harley, professeur à l'université du Cap en Afrique du Sud, dirige le projet Quagga, nom d'une espèce semblable au zèbre, éteinte à la fin du 19ème siècle à cause de l'Homme. Son objectif est de ressusciter cette espèce à partir de zèbres, en pratiquant l'élevage sélectif. D'une manière semblable à Michael Archer, il estime que si l'Homme a

Zimmer/2b91a2c7893bd9f92f8857b3163eb681db204ac6 (4 janvier 2023)

<sup>&</sup>lt;sup>37</sup> d'après entretien avec M. Henry

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> Hedrick, PW. 2018. « Passenger pigeon genomic diversity and extinction ». Heredity 120(5): 383-85.

<sup>&</sup>lt;sup>39</sup> Zimmer, C. 2013. « Bringing them back to life ». National Geographic. https://www.semanticscholar.org/paper/Bringing-them-back-to-life-

causé l'extinction d'une espèce, il doit essayer de réparer son erreur. Il déclare notamment, dans un entretien accordé à CNN en 2016<sup>40</sup>:

"And I think us trying to do, trying to remedy something, is better than doing nothing at all. [...] If we can retrieve the animals or retrieve at least the appearance of the quagga, then we can say we've righted a wrong."

"Et je pense que nous essayons de faire, de remédier à quelque chose, c'est mieux que de ne rien faire du tout. [...] Si nous pouvons récupérer les animaux ou retrouver au moins l'apparence du quagga, alors nous pourrons dire que nous avons réparé un tort."

Néanmoins, cet argument ne fait pas l'unanimité. En 2014, le philosophe Ronald Sandler analyse les arguments pour ou contre la dé-extinction<sup>41</sup>. Il aborde notamment l'argument de la dette de l'Homme envers une espèce dont il a causé l'extinction, en citant par ailleurs Michael Archer comme étant un des défenseurs de cet argument. Selon lui, cet argument ne tient pas, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il estime qu'on ne peut pas faire de mal à une espèce car le bien-être d'une espèce n'est pas défini, et car une espèce n'a pas d'intentions et ne poursuit pas de but particulier:

"It is not possible to harm or wrong a species because species do not have aims or welfare distinct from those of the organisms that comprise them."

"Ce n'est pas possible de blesser ou léser une espèce car les espèces n'ont pas de desseins ou de notions de bien-être différents de ceux des organismes qui les composent."

De plus, Ronald Sandler explique que ni les éventuels coupables – les hommes ayant provoqué l'extinction de l'espèce en question – ni les éventuelles victimes – les organismes ayant souffert durant leur extinction – ne sont encore en vie. Il conclut donc qu'il n'est pas possible d'appliquer le concept de justice réparatrice à une espèce dont l'Homme aurait causé l'extinction.

"Moreover, the individual organisms that were harmed and perhaps wronged during the extinction process are no longer alive. Nor are those who caused the extinctions. Therefore, it is not possible for a debt of restorative justice, even if there were one, to be paid by those who owe it to those who are due it."

"Cependant, les organismes individuels qui ont été blessés, et peut-être lésés pendant le processus de dé-extinction ne sont plus en vie. Tout comme ceux qui ont provoqué les extinctions. Ainsi, une dette de justice restaurative, même si elle existait, ne pourrait pas être payée par ceux qui la doivent à ceux à qui ils la doivent."

<sup>41</sup> Sandler, Ronald. 2014. « The Ethics of Reviving Long Extinct Species ». Conservation Biology 28(2): 354-60.

16

<sup>&</sup>lt;sup>40</sup> Hancock, Thomas Page, Colin. 2016. « Zebra Cousin Went Extinct 100 Years Ago. Now, It's Back ». CNN. https://www.cnn.com/2016/01/25/africa/quagga-project-zebra-conservation-extinct-south-africa/index.html (4 janvier 2023).

Cet avis contre l'obligation morale de dé-extinction est partagé par les éditeurs du Scientific American qui, dans un article intitulé "Do Not Reanimate" publié en 2013<sup>42</sup>, écrivent :

"The suggestion that we humans have a moral obligation to resurrect the species that died out by our hand resonates with our sense of justice. Yet the revival of a single extinct beast in a lab does not mark the return of a species, and creating viable populations of extinct animals that could flourish in modern ecosystems is a far more difficult challenge."

"La proposition que nous, les humains, avons une obligation morale de ressusciter les espèces éradiquées de notre fait résonne avec notre sens de la justice. Pour l'instant, la résurrection d'un seul animal éteint dans un laboratoire ne signifie pas le retour d'une espèce, et créer une population viable d'animaux éteints qui puissent prospérer dans des écosystèmes modernes est un challenge bien plus dur."

Ils insistent en comparant ce prétendu devoir envers les espèces éteintes au devoir réel de protéger les espèces en voie d'extinction :

"Surely we have a greater duty to species currently on the brink than to the ones that our ancestors wiped out centuries or millennia ago."

"Nous avons assurément un plus grand devoir auprès des espèces actuellement au bord de l'extinction qu'auprès de celles que nos ancêtres ont éradiqué il y a des siècles, voire des millénaires."

#### ■ La dé-extinction augmente-t-elle la souffrance animale?

Les expériences de clonage ont des taux de réussite très faibles, et les individus clonés présentent souvent des problèmes de santé<sup>43</sup>. Dans un article intitulé "What If Extinction Is Not Forever?"<sup>44</sup>, Jacob S. Sherkow et Henry T. Greely listent le bien-être animal comme une des objections possibles à la dé-extinction. Ils expliquent que les animaux créés par dé-extinction peuvent souffrir de ce procédé, la technique de clonage par transfert de noyau de cellules somatiques étant souvent la cause de déformations et de hauts taux de mortalité précoce. Ils prennent pour exemple le bouquetin des Pyrénées, éteint en 2000, cloné en 2003 par une équipe espagnole<sup>45</sup>. Sur une centaine d'essais, seul un individu est parvenu à terme, mais il est décédé quelques minutes après la naissance, à cause de malformations pulmonaires. M. Owen mentionne également que pour le clonage de la brebis, le clonage sur mère porteuse fonctionne 1 fois sur 100<sup>46</sup>. Il évoque aussi l'exemple des porcs transformés en usine pour fournir des organes pour greffe chez l'homme, ce qui peut laisser présager un terrain propice à la souffrance animale de par l'absence de régulation de ces activités.

<sup>&</sup>lt;sup>42</sup> The Editors. « Why Efforts to Bring Extinct Species Back from the Dead Miss the Point ». Scientific American. https://www.scientificamerican.com/article/why-efforts-bring-extinct-species-back-from-dead-miss-point/ (4 janvier 2023).

<sup>&</sup>lt;sup>43</sup> d'après l'entretien avec M. Owen

<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> Sherkow, Jacob S., et Henry T. Greely. 2013. « What If Extinction Is Not Forever? » Science 340(6128): 32-33

<sup>&</sup>lt;sup>45</sup> Folch, J. et al. 2009. « First Birth of an Animal from an Extinct Subspecies (Capra Pyrenaica Pyrenaica) by Cloning ». Theriogenology 71(6): 1026-34.

<sup>&</sup>lt;sup>46</sup> d'après l'entretien avec M. Owen

Toutefois, certains considèrent que cette raison n'est pas suffisante pour abandonner les entreprises de dé-extinction. En 2013, dans l'article "Conflicting and complementary ethics of animal welfare considerations in reintroductions" Lauren A. Harrington et ses associés expliquent que l'argument du bien-être animal dans le cadre de la dé-extinction peut s'utiliser pour critiquer n'importe quel type de recherche sur les animaux. Dans "Ethics of Reviving Long Extinct Species" Ronald Sandler utilise un argument semblable. Il affirme que par rapport au nombre d'animaux utilisés dans la recherche et l'agriculture, le clonage animal ne représente qu'une infime partie de la souffrance animale.

M. Ian explique sa pensée au sujet du bien-être animal<sup>49</sup>: d'après lui, les personnes qui se sont penchées ou ont investi dans le sujet l'ont surtout fait pour leur publicité, et non pas pour l'argent, et ils ne voudraient certainement pas une publicité disant qu'un mammouth se tord de douleur en permanence dans les laboratoires de Colossal. Par conséquent, les contraintes médiatiques sont trop fortes pour que la souffrance animale soit tolérée.

Heather Browning<sup>50</sup> expose dans un article les preuves de la souffrance animale et donc la présomption contre la dé-extinction. D'après lui, on devrait attendre que la technologie évolue pour réduire les souffrances occasionnées, d'autant plus que l'enjeu n'est pas si urgent que d'autres.

"None of the proposed benefits of de-extinction programs appear sufficient to outweigh the cost in terms of animal welfare, at least not as it currently stands. [...] Giving some more time would allow for improvements in the technology that may help reduce these welfare harms."

"Aucun des bénéfices annoncés dans les programmes de dé-extinction ne semblent suffisants pour compenser les coûts en termes de bien-être animal, en tout cas pas dans leurs standards actuels. [...] Laisser plus de temps permettrait de faire des améliorations technologiques qui aideraient à réduire ces préjudices au niveau du bien-être."

De plus, il explique que commencer par des espèces éteintes le plus récemment est préférable de ce point de vue, car leur écosystème serait plus propice, et donc leur bien-être plus probable.

" 'Shallow' extinctions such as thylacines may be far better candidates for deextinction projects than 'deeper' extinctions, such as mammoths. For the latter, our lack of knowledge, and changes in ecology, are likely to lead to greater welfare problems, as well as less chance of successful projects."

"Les extinctions plus "superficielles", "récentes", comme les thylacines seraient de meilleurs candidats pour des projets de dé-extinction que les extinctions "profondes", "anciennes", comme les mammouths. Dans ce dernier cas, notre manque de connaissance et les changements écologiques sont susceptibles d'amener à des plus grands problèmes en termes de bien-être, ainsi qu'à des moindres probabilités de réussite."

\_

<sup>&</sup>lt;sup>47</sup> Harrington, Lauren A. et al. 2013. « Conflicting and Complementary Ethics of Animal Welfare Considerations in Reintroductions ». Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology 27(3): 486-500.

<sup>&</sup>lt;sup>48</sup> Sandler, Ronald. 2014. « The Ethics of Reviving Long Extinct Species ». Conservation Biology 28(2): 354-60.

<sup>&</sup>lt;sup>49</sup> d'après l'entretien avec M. Ian

<sup>&</sup>lt;sup>50</sup> Browning, Heather. 2018. « Won't Somebody Please Think of the Mammoths? De-Extinction and Animal Welfare ». Journal of Agricultural and Environmental Ethics 31(6): 785-803.

## ■ Matériel et méthodes

L'analyse de la controverse sur la dé-extinction est basée sur de multiples supports :

- Des articles de presse grand public tirés de la base de données Europresse et issus de :
  Les Echos Week-End, La Croix, Science et Vie, HuffPost France, l'Obs, Le Figaro, le Point,
  Le Matin... Ces documents nous ont permis de cerner l'intérêt porté par la société civile sur
  la dé-extinction, les imaginaires associés, et le degré de précision des journalistes,
  notamment sur les problématiques de faisabilité technique ou les questionnements éthiques.
- Des articles issus de la littérature scientifique, confrontant les différentes méthodes considérées à date pour la pratique de la dé-extinction, leur degré de fiabilité et les potentiels développements attendus.
- Des articles d'experts légaux et éthiques questionnant les usages et la réalité de la déextinction, les définitions s'y attachant et les potentiels freins ou vecteurs de développement de la pratique.
- Des rapports de groupements, notamment celui produit par le groupe de travail mandaté par l'UICN sous la CSE, faisant autorité pour une grande majorité de la communauté scientifique, et proposant un ensemble de principes directeurs sur la création de substituts d'espèces éteintes à des fins de conservation.

En croisant ces diverses lectures, nous avons sélectionné un ensemble d'acteurs intervenant dans différentes sphères de la controverse sur la dé-extinction. Nous avons pu réaliser des entretiens semi-directifs sur la base de grilles de questions revues par nos encadrants, avant de les retranscrire, de les analyser, et d'en extraire des citations pertinentes, avec autorisation. Nous avons ainsi eu l'occasion d'échanger avec :

- "M. Ian": Professeur de génétique à l'université Stanford, spécialisé en éthique, droit, et problématiques sociales en lien avec les biosciences.
- "M. Owen": Biologiste moléculaire, membre de l'Organisation européenne de biologie moléculaire (EMBO) ainsi que de l'organisation internationale HUGO (Human Genome Organisation).
- "M. Alan": Chercheur spécialisé en biologie de réintroduction, biologie de la conservation et gestion de la vie sauvage ayant participé au rapport de 2016 de l'UICN.
- "M. Ellie": Professeur de philosophie environnementale, spécialisé dans l'éthique des technologies émergentes.
- "Mme. Sarah": Conservationniste généticien membre de l'équipe de Revive & Restore, travaillant sur le projet de dé-extinction de la tourte voyageuse.
- "M. Timothy": Professeur de biologie évolutive à l'université Pierre et Marie Curie.
- "M. Henry" : Membre de la direction de l'Office Français pour la Biodiversité

Notre enquête a été effectuée dans un laps de temps assez restreint, de trois mois, mais nous aurions souhaité davantage enrichir notre corpus de témoignages, notamment en interviewant des experts directement impliqués dans le projet de la start-up Colossal qui a ignoré nos prises de contact.

# **■** Conclusion

Le concept de la dé-extinction soulève aujourd'hui nombre de débats allant de la faisabilité technique à la pertinence et la validité éthique des processus s'y attachant. La définition même de la dé-extinction est encore sujet à discussion au sein de la communauté scientifique, avec une majorité de généticiens et de biologistes y associant la création d'un proxy d'une espèce éteinte remplissant les mêmes fonctions biologiques et écologiques de l'espèce-mère. Des divergences existent néanmoins et renvoient aux définitions d'espèce et d'extinction, menant à quatre interprétations potentielles de la notion de dé-extinction, comme décrit dans l'introduction de ce document, voire de "biologie de la résurrection" selon les dénominations choisies.

Si le sens donné à la notion de dé-extinction varie, il existe néanmoins un consensus sur les méthodes connues à ce jour qui, au terme de leur développement, pourraient mener à bien le processus de dé-extinction. Le clonage est la méthode la plus largement proposée, bien que la modification du génome et la reproduction sélective aient également été envisagées. Des techniques similaires ont été appliquées à certaines espèces menacées, dans l'espoir de renforcer leur diversité génétique, et le clonage est pour l'instant la seule méthode permettant à l'espèce créée d'avoir le même patrimoine génétique que celle éteinte, répondant ainsi à la définition proposée par l'UICN. Des débats apparaissent cependant sur la faisabilité technologique des divers processus de dé-extinction, et en particulier de la copie d'un génome, et posent la question de la vitesse d'évolution des techniques génétiques, du délai laissé aux généticiens et biologistes pour le développement de ces techniques et des fonds alloués à ces recherches. Des questionnements concomitants portent sur la potentielle réutilisation de la recherche génétique pour la dé-extinction, à des fins de conservation par exemple.

Les débats portant sur la faisabilité technique s'étendent également aux difficultés de réinsertion de l'espèce créée dans l'environnement de l'espèce éteinte. L'introduction de l'espèce créée se faisant après la disparition de la première espèce, une modification plus ou moins significative de l'écosystème est attendue; et l'influence de cette modification sur les marqueurs épigénétiques, les comportements, et la capacité de l'espèce introduite à se développer au sein de ce nouvel écosystème est controversée. L'impact inverse est également incertain, et l'apport bénéfique ou au contraire destructeur de la réintroduction sur l'écosystème est sujet à débat, certains plaidant que l'espèce créée servira à la recréation de fonctions biologiques perdues, d'autres considérant que les risques de perturbation de l'écosystème sont trop importants et que ces fonctions perdues peuvent être assurées par d'autres espèces.

Une incertitude persiste également et divise conservationnistes et biologistes sur la capacité à recréer des communautés susceptibles de remplacer les espèces éteintes, et font porter les débats scientifiques sur les aspects quantitatifs étant donné qu'ils sont fondamentaux à l'établissement des liens et structures sociales définissant l'espèce.

La temporalité de maturation de l'ensemble de ces techniques génétiques, biologiques, et conservationnistes, est également controversée. Ainsi, si certains prévoient des applications dans les 20 prochaines années permettant d'accompagner la lutte contre le changement climatique, d'autres ne voient dans le clonage qu'une utopie idéaliste qui ne sera jamais à même d'aboutir. La faisabilité technique et sa temporalité sont d'autant plus questionnées qu'elles impactent significativement les potentielles applications de la dé-

extinction, dont l'évaluation est centrale aux décisions de financement des centres de recherche. De façon plus générale, la question des financements est fréquemment soulevée et constitue un point de tension entre conservationnistes et partisans de la dé-extinction. Cette dernière est accusée par certains de ses détracteurs de détourner les fonds considérés comme initialement insuffisants de la conservation vers la dé-extinction en profitant du battage et de l'effet de buzz associés.

Enfin, la dé-extinction amène à interroger le rapport de l'Homme à la Nature et le degré de responsabilité humaine vis-à-vis des espèces éteintes. Si certains plaident pour l'interventionnisme et la recréation des espèces pour racheter nos fautes passées dans une logique de justice restaurative, d'autres préfèrent se focaliser sur la protection des espèces encore en vie. D'autres opposent à la dé-extinction la potentielle augmentation de la souffrance animale qu'elle engendre à chaque tentative de création et/ou d'introduction manquée, une souffrance considérée infime par certains en comparaison de celle déjà pratiquée dans les secteurs de la recherche ou de l'agriculture.

### Ouverture

Dans leur livre "Regenesis, an overview of new genetic technologies", Georges Church et Ed Regis mettent en évidence la distinction entre les conservationnistes sceptiques, et ceux qui voient leur profession se renouveler à la lumière des innovations de biologie synthétique.

L'UICN<sup>51</sup> evite en grande partie la question éthique et écrit dans son rapport "les humains ont une obligation morale de ne pas faire en sorte que des espèces s'éteignent, mais ce n'est pas évident de savoir si on peut étendre cela à une obligation morale de les ressusciter.", sans soulever plus de points débats autour de ce thème. M. Ellie<sup>52</sup> explore ce domaine et souligne que la dé-extinction modifie la dynamique de fond mise en place sur Terre en créant une nouvelle branche de l'évolution et en repensant nos rôles de "Dieux vivants" : cela fonde de nouvelles valeurs morales à l'humanité. Il mentionne aussi le fait que la dé-extinction répond avant tout à des considérations économiques (recherche d'un profit et d'une célébrité dans le monde de la recherche et de l'innovation), sans aucune considération de l'opinion publique. L'humanité n'a pas son mot à dire dans ce phénomène, puisque le public n'est aucunement acteur dans la décision de faire ou non. Dans son livre Why Things Bite Back<sup>53</sup>, Edward Tenner mentionne aussi le fait qu'il faudrait porter autant d'attention à la cause génétique qu'à toutes les implications socio-culturelles qu'elle apporte : "on essaie de tirer un avantage de certaines nouvelles technologies ; on pourrait découvrir qu'elles provoquent des comportements qui amèneraient à annihiler la cause même de leur utilisation".

Ces questions nous amènent à considérer les problèmes de régulation, qui peuvent très facilement mal suivre la technologie, en l'empêchant d'être bien utilisée ou en ne

<sup>&</sup>lt;sup>51</sup> IUCN SSC (2016). IUCN SSC Guiding principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission

<sup>&</sup>lt;sup>52</sup> d'après l'entretien avec M. Ellie

<sup>&</sup>lt;sup>53</sup> Tenner, Edward. 1997. *Why Things Bite Back: Technology and the Revenge of Unintended Consequences*. Reprint édition. New York: Vintage.

l'encadrant pas assez. Dans un entretien, M. Henry évoque les questions de réglementations. Aujourd'hui cet organisme s'occupe uniquement de ré-introduction ou de renforcement, comme avec le vison d'Europe, ou des programmes d'élevage. Il y a des pistes pour regarder les questions qui se sont posées pour des espèces disparues dans un site particulier (translocation) qu'ils envisagent sur certaines espèces, par exemple le grand tétras dans les Vosges et le Jura. Dans le cas de la dé-extinction, il y a effectivement un vide juridique. La législation la plus assimilable aujourd'hui serait celle appliquée aux espèces exotiques envahissantes. Selon lui, la question se pose cependant, dans le cas ou ce n'est pas l'Etat qui est commanditaire du proxy, mais un propriétaire privé par exemple qui finance et introduit le proxy sur son territoire et provoque des conséquences en chaîne sur l'écosystème.

M. Alan, biologiste et expert à l'UICN explique<sup>54</sup> qu'il devrait y avoir des réglementations par rapport aux proxies et OGM mais les processus gouvernementaux évoluent trop lentement par rapport à la vitesse de développement des nouvelles technologies. M. Ian, juriste et spécialiste en bio-éthique, rappelle<sup>55</sup> qu'aux USA, c'est la FDA qui régule les pratiques sur les animaux, mais qu'une régulation pour la dé-extinction requiert un département d'ingénierie génétique sur organismes non humains. De plus, il est très sceptique sur le fait qu'une régulation internationale voit le jour, car même sur des sujets brûlants comme la prolifération nucléaire, sujet qui brasse des millions d'euros, aucun accord n'arrive à se mettre en place. Mais les consignes comme celles données par l'UICN sont un bon départ, notamment pour aider les juridictions nationales à statuer, ou à d'autres niveaux comme l'UE.

<sup>&</sup>lt;sup>54</sup> d'après l'entretien avec M. Alan

<sup>&</sup>lt;sup>55</sup> d'après l'entretien avec M. Ian

## ■ Références

#### Articles de presse généraliste / presse professionnelle

- David Blockstein, Center for Humans and Nature. 2015. « The De-Extinction Seduction ». *Center for Humans and Nature*. <a href="https://humansandnature.org/conservation-extinction-david-blockstein/">https://humansandnature.org/conservation-extinction-david-blockstein/</a> (4 janvier 2023).
- The Editors. « Why Efforts to Bring Extinct Species Back from the Dead Miss the Point ». Scientific American. https://www.scientificamerican.com/article/why-efforts-bring-extinct-species-back-from-dead-miss-point/ (4 janvier 2023).
- Hancock, Thomas Page, Colin. 2016. « Zebra Cousin Went Extinct 100 Years Ago. Now, It's Back ». *CNN*. <a href="https://www.cnn.com/2016/01/25/africa/quagga-project-zebra-conservation-extinct-south-africa/index.html">https://www.cnn.com/2016/01/25/africa/quagga-project-zebra-conservation-extinct-south-africa/index.html</a> (4 janvier 2023).
- « Opinion: The Case for Reviving Extinct Species ». 2013. Adventure.
  <a href="https://www.nationalgeographic.com/adventure/article/130311-deextinction-reviving-extinct-species-opinion-animals-science">https://www.nationalgeographic.com/adventure/article/130311-deextinction-reviving-extinct-species-opinion-animals-science</a> (4 janvier 2023).
- Zimmer, C. 2013. « Bringing them back to life ». *National Geographic*. https://www.semanticscholar.org/paper/Bringing-them-back-to-life-Zimmer/2b91a2c7893bd9f92f8857b3163eb681db204ac6 (4 janvier 2023).

#### ■ Articles de revue scientifique

- Bennett, Joseph et al. 2017. « Spending limited resources on de-extinction could lead to net biodiversity loss ». *Nature Ecology & Evolution* 1: 0053.
- Browning, Heather. 2018. « Won't Somebody Please Think of the Mammoths? De-Extinction and Animal Welfare ». *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 31(6): 785-803.
- Campagna, Claudio, Daniel Guevara, et Bernard Le Boeuf. 2017. « De-Scenting Extinction: The Promise of De-Extinction May Hasten Continuing Extinctions ». *Hastings Center Report* 47(S2): S48-53.
- Desalle, Rob, et George Amato. 2017. « Conservation Genetics, Precision Conservation, and De-Extinction ». *The Hastings Center Report* 47 Suppl 2: S18-23.
- Greely, H.T. (2017), Is De-extinction Special?. Hastings Center Report, 47: S30-S36. https://doi.org/10.1002/hast.749
- Preston, C.J. De-extinction and Taking Control of Earth's "Metabolism". *Hastings Cent. Rep.* 2017, *47*, S37–S42.
- Folch, J. et al. 2009. « First Birth of an Animal from an Extinct Subspecies (Capra Pyrenaica Pyrenaica) by Cloning ». *Theriogenology* 71(6): 1026-34.

- Genovesi, Piero, et Daniel Simberloff. 2020. « "De-Extinction" in Conservation: Assessing Risks of Releasing "Resurrected" Species ». *Journal for Nature Conservation* 56: 125838.
- Harrington, Lauren A. et al. 2013. « Conflicting and Complementary Ethics of Animal Welfare Considerations in Reintroductions ». *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology* 27(3): 486-500.
- Hedrick, PW. 2018. « Passenger pigeon genomic diversity and extinction ». *Heredity* 120(5): 383-85.
- Novak, Ben Jacob. 2018. « De-Extinction ». Genes 9(11): 548.
- Sandler, Ronald. 2014. « The Ethics of Reviving Long Extinct Species ». *Conservation Biology* 28(2): 354-60.
- Sherkow, Jacob S., et Henry T. Greely. 2013. « What If Extinction Is Not Forever? » *Science* 340(6128): 32-33.
- Siipi, Helena, et Leonard Finkelman. 2017. « The Extinction and De-Extinction of Species ». *Philosophy & Technology* 30(4): 427-41.

#### Ouvrages

- Jorgensen, Dolly. 2019. *Recovering Lost Species in the Modern Age*. The MIT Press. <a href="https://mitpress.mit.edu/9780262537810/recovering-lost-species-in-the-modern-age/">https://mitpress.mit.edu/9780262537810/recovering-lost-species-in-the-modern-age/</a> (4 janvier 2023).
- Rolston, Holmes. 1988. Environmental Ethics: Duties to and Values in the Natural World.
- Tenner, Edward. 1997. Why Things Bite Back: Technology and the Revenge of Unintended Consequences. Reprint édition. New York: Vintage.

#### Pages internet

- « Jurassic Park ». 2022. Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Jurassic Park&oldid=199379531 (4 janvier 2023).
- « May Prehistory Thunder Forward: The Resurrection of the Woolly Mammoth ». https://colossal.com/mammoth/ (4 janvier 2023).
- « TEDxDeExtinction | TED ». https://www.ted.com/tedx/events/7650 (4 janvier 2023).
- « The Great Passenger Pigeon Comeback ». <a href="https://reviverestore.org/about-the-passenger-pigeon/">https://reviverestore.org/about-the-passenger-pigeon/</a> (4 janvier 2023).

« Tori Herridge sur Twitter ». 2021. Twitter.

https://twitter.com/ToriHerridge/status/1437439503900237825 (4 janvier 2023).

### ■ Littérature grise

IUCN SSC Guiding Principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. 2016. IUCN. <a href="https://portals.iucn.org/library/node/46248">https://portals.iucn.org/library/node/46248</a> (15 janvier 2023).

### ■ Films (documentaire, fiction, ...)

De-extinction: Hubris or Hope?: Hank Greely at TEDxDeExtinction. 2013. https://www.youtube.com/watch?v=HuRk0V2LoMY (4 janvier 2023).