

Un exemple : des résines époxy à base de vanilline

Les résines époxy, une classe importante de polymères thermodurcissables, sont utilisées en tant que revêtements, peintures, vernis, adhésifs, dans de nombreux secteurs tels que l'électronique, les matériaux ou l'aérospatial.

En raison de leurs propriétés mécaniques et électriques, de résistance chimique, d'adhérence et de leur retrait minimal après durcissement, elles interviennent dans nombre de structures. La plupart de ces polymères sont fabriqués à partir de bisphénol A, un composé qui contient des cycles aromatiques, particulièrement adaptés, car ils confèrent leur résistance thermique et chimique aux résines époxy. Mais le bisphénol A est un perturbateur endocrinien, dont l'impact négatif sur la santé humaine et l'environnement a conduit à son interdiction dans

de nombreux matériaux en France et en Europe. C'est pourquoi des composés de substitution moins dangereux sont nécessaires.

Ainsi, l'industrie chimique montre un intérêt croissant pour des composés aromatiques non nocifs permettant la synthèse de résines époxy thermodurcissables sans bisphénol A. Par ailleurs, avec la limitation et le coût élevé des ressources fossiles, des ressources renouvelables constitueraient un avantage. Mais si de nombreux réactifs issus de ressources renouvelables sont disponibles pour élaborer des matériaux,

notamment à partir de dérivés d'huiles végétales et d'amidon, la plupart ne contiennent pas de cycles aromatiques (les composés aromatiques de la biomasse sont peu disponibles pour la chimie).

Notre équipe s'intéresse à la substitution de composés dangereux et d'origine fossile par des composés moins dangereux et d'origine renouvelable (l'un n'impliquant pas forcément l'autre). Nous étudions notamment la substitution du bisphénol A dans les résines époxy par des composés aromatiques d'origine renouvelable, produits à partir de tanins de différentes espèces d'arbres. Les tanins sont des phénols naturels contenant des cycles aromatiques, présents dans les écorces des arbres. Cependant, ils sont peu abondants et souvent trop réactifs (ils s'oxydent facilement).

Parmi ceux que nous étudions, l'huile de noix de cajou contient trop peu de cycles aromatiques et sa production est limitée. La lignine, le polymère naturel de structure des végétaux le plus abondant, contient une grande concentration de composés aromatiques, mais on ne sait pas encore la dépolymériser. La vanilline est plus prometteuse. Issue de la lignine et produite à l'échelle industrielle, elle permet d'obtenir un composé non dangereux selon les critères de la réglementation européenne. Récemment, nous avons proposé un procédé pour fabriquer des composés de vanilline époxydés qui pourraient remplacer le bisphénol A dans les résines époxy.

- Sylvain Caillol
Directeur adjoint de l'Institut
Carnot Chimie Balard,
à Montpellier

et sans bisphénol A – un perturbateur endocrinien en passe d'être interdit en France [voir l'encadré ci-dessus].

Si ces exemples sont encourageants, ces préoccupations restent encore marginales. Aux États-Unis comme en France, les communautés des chimistes de synthèse et des toxicologues n'ont pas l'habitude de travailler ensemble. De plus, les outils de toxicologie prédictive prêts à l'emploi pour les chimistes sont aujourd'hui hors de portée. Un des enjeux est de savoir s'ils le seront un jour et dans quel délai. La toxicologie et l'écotoxicologie ne sont toujours pas enseignées aux chimistes, à l'exception de rares cas de formations de l'enseignement supérieur qui fournissent aux chimistes des connaissances sur les impacts sanitaires et environnementaux de la chimie (par exemple, à l'École nationale supérieure de chimie de Paris ou à l'Université de Californie à Berkeley).

En France, deux autres raisons s'ajoutent. D'abord, l'État a sous-investi dans la recherche en toxicologie et, plus largement, sur les questions de santé environnementale. Parce que la toxicologie a toujours été associée au contrôle réglementaire des risques chimiques, elle a pu être considérée comme une discipline contre-économique et « moins noble » selon les critères de la science.

De même, le règlement européen REACH (Enregistrement, évaluation, autorisation et restrictions des substances chimiques) n'a qu'une faible résonance sur la recherche académique. L'objectif de ce règlement n'est pas d'interdire des substances dangereuses, mais de les identifier pour mieux permettre leur remplacement par des alternatives plus sûres. On aurait donc pu s'attendre à une explosion des recherches visant à développer des substituts aux molécules dangereuses aujourd'hui en usage. Pour-

tant, ce n'est pas le cas, et la lenteur dans l'application du règlement y est probablement pour quelque chose.

Ce court historique de la chimie verte montre que les avancées dans ce domaine dépendront de l'orientation donnée aux financements publics de la recherche et de l'efficacité des politiques environnementales qui, comme REACH, visent à caractériser les risques chimiques. Si la volonté et la motivation de la communauté des chimistes sont claires, le futur de la chimie verte dépendra beaucoup des politiques publiques. ■

Laura MAXIM est chargée de recherche au CNRS, à l'Institut des sciences de la communication, à Paris.

L. Maxim (dir.), *La chimie durable, au-delà des promesses*, CNRS Éditions, 2011.

P. T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxf. Univ. Press, 1998.

HOMO SAPIENS INFORMATICUS chronique de Gilles Dowek



Les avatars du Docteur Diafoirus

La création récente d'écoles d'informatique résulte de l'inadéquation du système de formation des ingénieurs.

L'année académique qui s'achève a vu la création en France de plusieurs écoles d'informatique, notamment l'école 42 et l'école *Simplon*, qui s'ajoutent à une liste déjà longue. Le projet pédagogique de ces établissements est parfois loué, parfois vilipendé, mais la question qui nous intéresse ici est celle de la raison pour laquelle ces écoles d'informatique se créent aujourd'hui.

Pour répondre à cette question, il faut sans doute remonter en l'an 1530, date de la fondation par François I^{er} du Collège des Lecteurs royaux – aujourd'hui plus connu sous le nom de Collège de France – et de ses premières chaires consacrées à deux disciplines que l'Université de Paris refusait d'enseigner : le grec et l'hébreu.

Un siècle plus tard, alors que l'Université s'opposait à la science expérimentale et refusait, par exemple, d'enseigner la découverte de la circulation du sang – ce sont ses professeurs qui ont inspiré Molière pour ses portraits de médecins –, Colbert a successivement créé le Jardin royal des plantes médicinales (aujourd'hui Muséum national d'histoire naturelle) en 1665, l'Académie des sciences en 1666 et l'Observatoire de Paris en 1672, pour permettre à la science expérimentale de se développer.

Encore un siècle plus tard, quand l'Université ignorait les besoins en ingénieurs des armées et de l'industrie naissante, on a fondé les premières Grandes écoles : l'École des ingénieurs-constructeurs des vaisseaux royaux en 1741, l'École royale des ponts et

chaussées en 1747, etc. Ce mouvement s'est déroulé sur presque un siècle, puisque l'École centrale des arts et manufactures n'a été créée qu'en 1829, sans que l'Université n'en profite pour réagir.

Plus proche de nous, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) a été fondé en 1939 pour « tirer un rendement plus élevé de la recherche scientifique », c'est-à-dire pallier les carences, sur le plan de la recherche, des structures existantes.

La création de ces écoles d'informatique n'obéit pas à une autre logique : ces

Il a fallu attendre la rentrée de 2013 pour que les programmes des Classes préparatoires aux Grandes écoles incluent un enseignement obligatoire d'informatique.

établissements ne font que répondre à un besoin auquel ne répondent pas les structures actuelles de formation des ingénieurs, notamment les Grandes écoles et les Classes préparatoires – l'Université étant, sur ce point, en avance de plusieurs décennies. Par exemple, il a fallu attendre la rentrée de 2013 pour que les programmes des Classes préparatoires aux Grandes écoles incluent un enseignement obligatoire d'informatique.

Le ministère de l'Éducation nationale n'a cependant pas jugé utile de recruter des professeurs d'informatique pour dispenser cet enseignement. Voilà un exemple de décision conduisant mécaniquement à l'apparition

d'écoles d'informatique qui, contrairement au Jardin royal des plantes médicinales, se créent désormais à l'extérieur du système public d'enseignement supérieur.

La complexité de notre paysage académique – Universités, Collège de France, Muséum, Académies, Observatoires, Grandes écoles, Classes préparatoires, Instituts de recherche et, désormais, écoles d'informatique, pour ne pas parler de nos agences, alliances et autres initiatives d'« excellence » –, suscite souvent l'admiration de nos collègues étrangers. L'un d'eux me demandait un jour qui avait eu l'intelligence d'inventer tout cela.

La réponse est pourtant simple pour qui a lu *Le malade imaginaire* : ce système inefficace est l'œuvre des *Docteur Diafoirus*, ces partisans du « j'y suis j'y reste », ces maîtres d'éloquence pour qui « les emplois du temps sont déjà très chargés », qui ont refusé l'enseignement du grec et de l'hébreu au XVI^e siècle, se sont opposés à la théorie de la circulation du sang et aux sciences expérimentales au XVII^e siècle, ont ignoré les besoins de l'industrie aux XVIII^e et XIX^e siècles, n'ont pas compris l'importance de la recherche au XX^e siècle, pensent que l'on peut enseigner l'informatique en Classes préparatoires sans professeurs au XXI^e siècle et opposent leur incroyable inertie à tous ceux qui veulent enseigner une science vivante. ■

Gilles DOWEK est chercheur à l'Inria et membre du conseil scientifique de la Société informatique de France.

Offre PASSIONNÉ

POUR LA
SCIENCE

Le magazine mensuel
Pour la Science (12 n°s)

+

Le thématique trimestriel
Dossier Pour la Science (4 n°s)

76€ seulement
1 AN - 16n°s



VOS AVANTAGES ABONNÉ

- ✓ 26 % d'économie et plus par rapport au prix en kiosque
- ✓ L'envoi des magazines en avant-première
- ✓ La garantie de ne manquer aucun numéro

BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner, accompagné de votre règlement, dans une enveloppe non affranchie à : Groupe Pour la Science Service abonnements - Libre réponse 90 382- 75 281 Paris cedex 06

POUR LA
SCIENCE

OUI, je m'abonne à Pour la Science (12 n°s/an) + Dossier Pour la Science (4 n°s/an) :

☐ 1 an • 16 numéros • **76€** au lieu de 102,70€

26 % de réduction !

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 16€ - autres pays 35€.

☐ 2 ans • 32 numéros • **143€** au lieu de 205,40€

+ de 30 % de réduction !

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 34€ - autres pays 72€.

☐ **Je préfère m'abonner seulement au magazine Pour la Science (12 n°s/an)**

1 an • 12 numéros • 56€ au lieu de 74,90€

Tarif valable uniquement en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 12€ - autres pays 25€.



Le mensuel



Le trimestriel

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

CP : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. : _____

Pour le suivi client (facultatif)

Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Par carte bancaire

Numéro de carte _____

Date d'expiration _____

Clé _____

(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire

Mon e-mail pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscule).

_____ @ _____

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case ☐.

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES par Gérald Bronner

Les Simpson savaient-ils ?

Notre cerveau, cherchant un sens au monde qui l'entoure, interprète souvent mal les lois statistiques. Il n'en faut pas plus pour qu'un dessin animé vu par des millions de personnes donne naissance à une théorie conspirationniste.



Le 4 mai 2014, la présentatrice de la chaîne de télévision égyptienne al-Tahrir se fait l'écho d'une rumeur bruissant déjà sur la Toile : le conflit syrien serait l'objet d'une conspiration américaine. Le plus surprenant est la preuve que la présentatrice propose : un passage du célèbre dessin animé *Les Simpson* ! En effet, un épisode datant de 2001 met en scène Bart, le fils de la famille, constituant un groupe de musique avec ses amis. L'un de leurs clips, au ton belliqueux, les montre en train de bombarder des populations arabes. Pour qui connaît un peu l'univers de cette famille américaine, le ton satirique du passage est évident.

L'argument ultime de la présentatrice de al-Tahrir est que sur l'une des jeeps visées, on voit le drapeau de l'opposition syrienne qui n'existait évidemment pas au moment de la diffusion de cet épisode (rappelons que ce drapeau avait été utilisé jusqu'en 1963 et adopté de nouveau en 2011 par l'opposition). Elle conclut en soulignant que « Cela soulève beaucoup de questions à propos du printemps arabe et du moment où cette conspiration globale a commencé. »

Ce n'est pas la première fois qu'un épisode des Simpson est convoqué devant le tribunal de la théorie conspirationniste. Ainsi, un très court passage d'un épisode diffusé en 1997 a été interprété comme annonciateur des attentats du 11 septembre. Au-delà du caractère risible de ces allégations, le « syndrome Simpson » révèle quelque chose d'intéressant sur le fonctionnement de notre esprit.

Mais posons-nous d'abord cette question : pourquoi les Simpson ? Y a-t-il quelque chose de spécifique dans ce divertissement qui

puisse expliquer ce genre de coïncidences ? Non. Et cette série n'est pas la seule à être accusée de trahir l'existence de complots. Ainsi, il a été souligné que la date d'expiration du passeport du héros du film *Matrix* n'est autre que le 11 septembre 2001 !

Quelle était la probabilité pour qu'une telle coïncidence se réalise ? Plutôt faible, pense celui qui croit aux complots... et il a raison. Seulement, son raisonnement est entaché d'une erreur grave. Certes, cette probabilité est faible, mais rapportée à l'échantillon dont



elle est issue, elle n'est guère extraordinaire. Posons la question autrement : quelle est la probabilité pour qu'une date de passeport quelconque présentée dans un des milliers de films tournés chaque année corresponde à une date historique ? On perçoit intuitivement que cette probabilité est supérieure à celle associée à notre première impression.

En effet, notre cerveau prend difficilement conscience de la taille des échantillons associés aux événements dont il évalue la probabilité. Si cette probabilité lui paraît faible, il la trouve suspecte, c'est-à-dire qu'il admet difficilement qu'elle est le fait

du hasard. Dès lors, il cherche un sens, un exercice où il excelle. Par exemple, il peut trouver suspect, aidé en cela par un certain contexte idéologique, qu'une fiction américaine fasse apparaître furtivement un drapeau qui n'existe pas encore. Reconnaissons qu'il faut être particulièrement motivé pour aller chercher de tels éléments dans les milliers d'images d'un dessin animé. Mais ceux qui croient aux complots le sont, et le marché de l'information en expansion a augmenté les dimensions de leur univers paranoïde.

Revenons à la question : pourquoi les Simpson ? La réponse tient non pas aux spécificités narratives de cette fiction, mais à sa longueur. La série, forte de 22 saisons, offre 700 millions d'images à décortiquer ! Dans ces conditions, ce serait extraordinaire si certaines d'entre elles, par le plus pur des hasards, ne présentaient pas des coïncidences, qui ne paraîtraient étonnantes qu'à l'individu ne pouvant ou ne voulant pas les rapporter à la masse de données dont elles sont issues. Si l'on ajoute à cela que la série a connu un succès mondial, on comprend que le nombre de personnes susceptibles de rechercher ce type de coïncidences est gigantesque. Or ces phénomènes de croyance sont directement liés à la masse des informations disponibles. Plus il y a d'informations diffusées, plus la probabilité que l'une d'elles paraisse, *a posteriori*, avoir été la prédiction d'un événement, augmente. C'est simplement là, la source du « syndrome Simpson » ! ■

Gérald BRONNER est professeur de sociologie à l'Université Paris-Diderot.

Peut-on ressusciter des espèces ?

par Vincent Devictor, sur l'Écoblog

Peut-on ressusciter des espèces disparues ? La question se pose, tant l'homme a une responsabilité dans l'érosion de la biodiversité. Tout dépend de la situation. S'il reste ne serait-ce que quelques individus, c'est non seulement possible, mais cela a été réalisé pour quelques espèces emblématiques.

L'oryx d'Arabie est une espèce d'antilope originaire de la péninsule arabique. La population sauvage a été anéantie au cours du XX^e siècle, jusqu'au dernier individu tué en 1972. On considéra alors l'espèce sauvage comme éteinte, les seuls individus restants vivant en captivité dans un zoo américain. Un projet de reproduction de l'espèce en vue de sa réintroduction dans la nature fut alors lancé en 1972. Il a permis de réintroduire l'espèce dans de nombreuses réserves du Moyen-Orient à partir de 1982.

La population sauvage d'oryx d'Arabie compterait aujourd'hui plus de 1 000 individus. Mais le braconnage reprenant et l'habitat naturel étant toujours sous pression, l'avenir de l'espèce dans la nature n'est pas garanti. La population captive (7 000 individus, dont certains aux zoos de Thoiry et de Montpellier) dépasse encore largement la population sauvage. Aujourd'hui, pourtant, cette espèce est seulement considérée comme « vulnérable ».

Mais peut-on réellement ressusciter une espèce quand il n'existe plus aucun individu vivant, même en captivité ? Certains chercheurs plaident en faveur de projets de « désextinction » – recréer des espèces éteintes pour pallier l'impact de l'homme sur la biodiversité.

Le pigeon migrateur est un exemple emblématique d'une telle entreprise. Cette espèce était l'un des oiseaux les plus abondants aux États-Unis. Causant des dommages agricoles, il fut massivement chassé, et le dernier individu s'est éteint en captivité en 1914. Or des spécimens en

bon état sont conservés dans les musées, et on peut récupérer leur ADN. Certains chercheurs proposent d'hybrider cet ADN avec celui de l'espèce la plus proche, le pigeon à queue barrée. L'idée serait de remplacer les allèles les plus significatifs de l'espèce encore vivante par ceux de l'espèce éteinte, pour créer des hybrides.

Des tentatives de reconstruire l'auroch, l'ancêtre des vaches d'aujourd'hui, ont ainsi été proposées dès 1950. Des espèces génétiquement « plus proches » de l'espèce



Martha, le dernier pigeon voyageur (ici empaillé), s'est éteint en captivité en 1914.

Carl Hansen, Smithsonian Institution

ancestrale ont été sélectionnées par croisements répétés. Nous n'avons toujours pas réussi à reconstituer un auroch, mais ces croisements ont permis d'aboutir à des individus dont le génotype est proche de ceux de l'espèce ancestrale.

Le clonage du dernier individu du bouquetin d'Espagne, dont le génome a été introduit dans un ovule de chèvre, a donné lieu à un embryon (mort dix minutes après sa naissance). Ce type de manipulation est considéré par certains comme le premier exemple de désextinction.

Pour s'affranchir des problèmes liés à l'hybridation, des projets visant à produire des cellules sexuelles et *in fine* un œuf de l'espèce disparue à partir de cellules somatiques sont à l'étude. L'œuf serait ensuite

porté par une autre espèce : le pigeon voyageur pourrait être pondu par une poule !

Ce genre d'opération se heurte aux obstacles inhérents au clonage animal. Les embryons issus de ces opérations coûteuses sont en général non viables et obtenus après de multiples échecs. Les « succès » fascinent suffisamment pour faire oublier qu'il s'agit d'événements très rares et hasardeux.

Ces approches font aussi montre d'une vision réductionniste : le gène est vu comme une simple molécule, l'organisme comme une somme de gènes et l'espèce comme une somme d'individus. Obtenir un œuf ou un embryon viable est une chose, mais que signifie reproduire « l'écologie de l'espèce », le tissu d'interactions dans lesquelles elle est impliquée ?

Selon moi, la désextinction répond à un fantasme, celui de maîtriser l'existence des espèces ; et n'est pas une avancée vers la protection de la nature. Parler de désextinction est aussi une façon d'alléger la culpabilité environnementale qui nous angosse.

Soit. Mais cette approche de la conservation ne fait que rejouer une tendance ancienne : le recours aux promesses de la technique pour nous sortir d'un mauvais pas. La crise écologique a favorisé des nouveaux récits, au carrefour entre science et technologie, appliqués à la conservation de la biodiversité. La désextinction est l'un des multiples chapitres de ce récit. ■



Vincent DEVICTOR est chargé de recherche du CNRS en biologie de la conservation à l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier. Il est l'auteur de l'Écoblog <http://www.scilogs.fr/ecoblog/>



Retrouvez tous nos blogueurs sur www.scilogs.fr et suivez-les sur les réseaux sociaux.