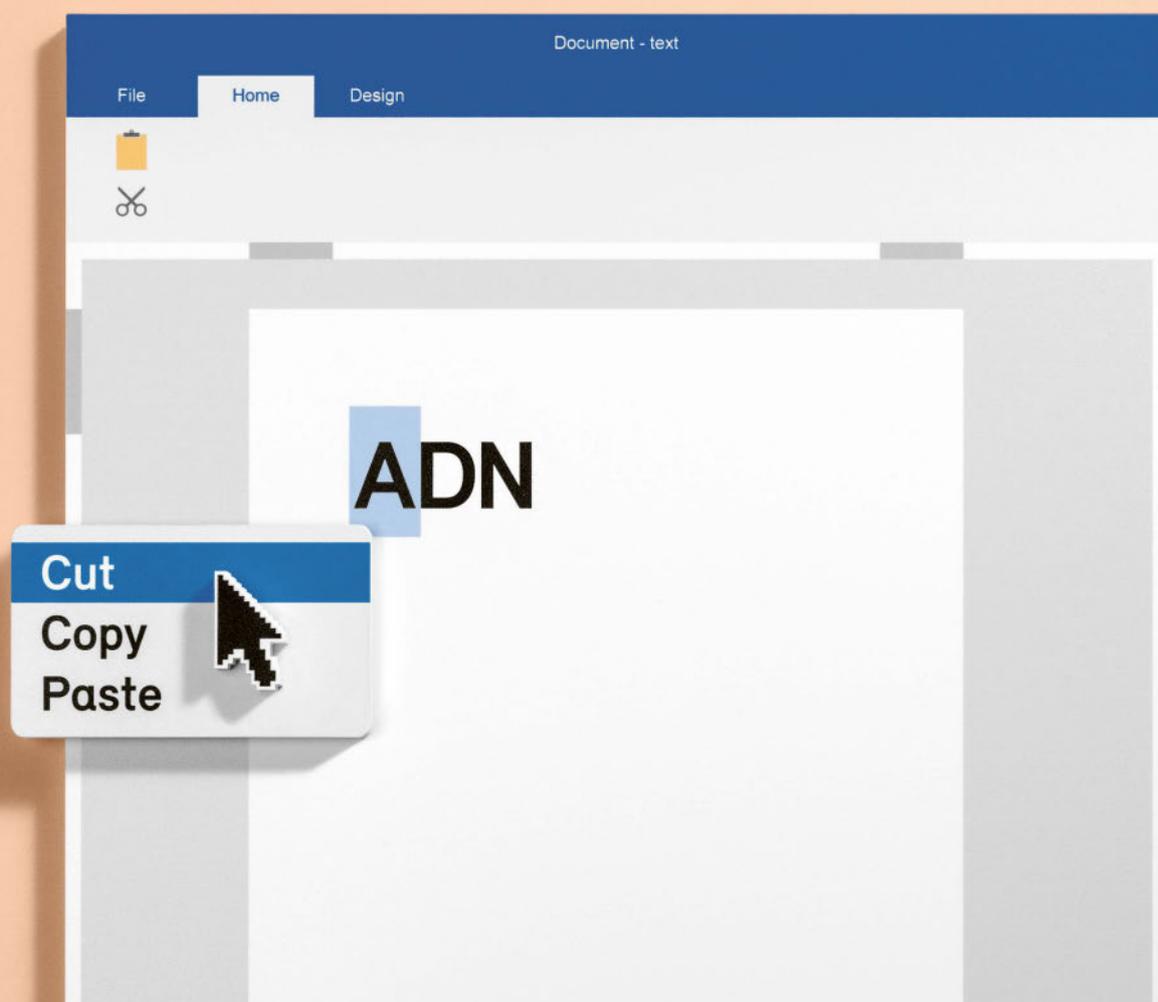


l'environnement

Les ressources naturelles en Suisse



Génie génétique

Entre innovation et environnement



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Dépassés par le génie génétique ?



Photo : OFEV

La biotechnologie connaît un développement fulgurant. Ce qui soulève inévitablement des interrogations et des craintes dans la société. L'OFEV est appelé à se pencher sur ces questions.

Lorsque la loi sur le génie génétique a été élaborée, au début des années 2000, la principale technique utilisée dans la recherche et l'industrie était la transgénèse. Elle consiste à implanter un gène étranger dans un organisme receveur afin de le doter de nouvelles propriétés. J'ai moi-même travaillé sur la transgénèse lorsque j'étais doctorante à l'EPF de Zurich, il y a près de 20 ans. Les études montraient alors que des bactéries intestinales courantes pouvaient facilement échanger des parties de leur matériel génétique avec d'autres bactéries, y compris des gènes de résistance aux antibiotiques, entraînant des risques accrus pour notre santé.

Si la transgénèse reste un procédé très répandu, de nouvelles techniques révolutionnaires ont vu le jour ces dernières années. Les méthodes dites d'édition génomique (de l'anglais *genome editing*) permettent de modifier de manière ciblée le génome d'un organisme pour qu'il développe des propriétés spécifiques, même sans lui implanter de gènes étrangers. Ces techniques trouvent déjà leurs premières applications commerciales dans les domaines de la médecine, de la pharmacie, de la chimie, de l'alimentation et de la sélection végétale. La recherche et l'industrie fondent en elles de grands espoirs pour relever des défis majeurs de notre société : production simplifiée de biocarburants, sélection de cultivars résistant à la sécheresse, à la chaleur et aux champignons, ou encore renforcement génétique de populations animales menacées.

L'utilisation croissante de procédés du génie génétique augmente toutefois la probabilité d'une dissémination incontrôlée d'OGM dans la nature, avec les risques de mutations génétiques qui en découlent. À ce jour, on ignore encore largement comment ces nouveaux organismes interagissent avec l'environnement et seraient susceptibles de lui porter atteinte. De nombreux travaux de recherche fondamentale doivent encore être menés pour que l'on puisse livrer une évaluation appropriée des risques et protéger les êtres humains et l'environnement des dangers potentiels. Il en résulte en outre des interrogations sociétales et éthiques.

L'OFEV doit porter un regard critique sur cette thématique à la croisée du génie génétique et de l'environnement, proposer des bases de décision scientifiques et concrètes, encourager le débat public et veiller à la sécurité des applications biotechnologiques. Ce numéro entend nourrir les réflexions sur ce vaste sujet. Je suis convaincue que vous y trouverez des informations et des perspectives intéressantes.

Franziska Schwarz | Sous-directrice de l'OFEV

Dossier

GÉNIE GÉNÉTIQUE

- 8 L'utilité de la biotechnologie... et ses dangers
- 13 Ce qu'en disent une biologiste et un éthicien
- 18 Une petite coupe qui suscite la polémique
- 23 Le biohacking ou la biologie participative
- 27 La nécessité de trouver des méthodes de détection
- 31 Le génie génétique dans nos assiettes
- 34 Favoriser un débat objectif
- 37 Le forçage génétique au secours des espèces menacées?



Photo: FRANZ&RENÉ

Le génie génétique offre de formidables opportunités, mais comporte également des risques difficiles à évaluer. Il en résulte donc souvent un sentiment partagé entre espoir et peur : est-il possible d'éradiquer des agents pathogènes, de protéger des espèces, de dupliquer ou de modifier l'humain ? Pistes de réflexion et éléments de réponses dans les articles de ce dossier, ainsi que dans les cinq photographies (pages 12, 22, 26, 30, 36).

360°

- 44 **Réchauffement climatique**
Rafraîchir les villes en été
- 48 **Ressources**
Concilier construction et durabilité
- 52 **Changements climatiques**
L'avenir climatique de la Suisse
- 56 **Lutte contre le bruit**
L'efficacité du 30 km/h
- 59 **Prévention des accidents majeurs**
Des importations de chlore plus sûres

RENDEZ-VOUS

- 4 Faits et gestes
- 6 Filières et formations
- 7 En balade
- 40 À notre porte
- 42 En politique internationale
- 43 Du côté du droit
- 62 À l'office
- 62 Impressum
- 63 Question de nature
- 64 Dans le prochain numéro

**ABONNEMENT GRATUIT
ET CHANGEMENTS
D'ADRESSE**

[www.bafu.admin.ch/
servicelecteurs](http://www.bafu.admin.ch/servicelecteurs)

CONTACT
magazine@bafu.admin.ch

VERSION EN LIGNE
[www.bafu.admin.ch/
magazine](http://www.bafu.admin.ch/magazine)

FACEBOOK-FANPAGE
[www.facebook.com/
UmweltMag](http://www.facebook.com/UmweltMag)

EN COUVERTURE
FRANZ&RENÉ

Faits et gestes



Photo : mäd

Bienvenue dans les bois!

La forêt est un espace ouvert à tous. Chacun peut s'y promener, y courir, galoper, pédaler, cueillir des champignons ou prendre des photos. Or cette diversité d'activités est susceptible de faire émerger toutes sortes de conflits, que ce soit entre les promeneurs et l'écosystème, les promeneurs et les propriétaires forestiers, ou les promeneurs entre eux. Il convient donc d'adopter quelques comportements très simples de savoir-vivre. À l'initiative de la Communauté de travail pour la forêt (CFT), créée par l'OFEV, 20 organisations suisses ont élaboré dix petits principes permettant aux visiteurs de cohabiter dans le respect des uns et des autres, tout en préservant les habitants des bois, arbres, plantes et animaux.

bit.ly/2VBfcVE

Un nouvel habitat pour des espèces anciennes

Les visiteurs du Papiliorama (FR) peuvent désormais découvrir un paysage de plaine alluviale tel que le connaissaient nos ancêtres. Des postes d'observation leur permettent de contempler les habitants de ce nouvel espace extérieur. Le niveau d'eau peut être réglé afin de simuler les conditions naturelles d'une plaine inondable, qui sert d'habitat à des oiseaux, insectes et reptiles rares.

papiliorama.ch

Tout savoir sur le Léman

La nouvelle exposition permanente du Musée du Léman intitulée « Petite nature? 36 questions pour décoder le lac » dévoile quelques-uns des secrets du Léman : ses origines, son fonctionnement, la vie de ses habitants à plumes, à écailles ou à feuilles. Elle se projette également dans l'avenir en abordant la problématique des changements climatiques.

museeduleman.ch

Faire la nique aux tiques



L'application Tique possède une fonction d'alerte qui permet d'évaluer en temps réel, sur une échelle de cinq niveaux de danger, le risque potentiel de se faire piquer dans les différentes régions de Suisse. De plus, elle indique comment se protéger des piqûres, comment agir quand on a été piqué et quels sont les symptômes de la borréliose. Le « journal des risques liés aux tiques » permet de détecter l'apparition de la maladie en contrôlant les symptômes à intervalles réguliers.

Gratuit | Android und iOS | zecke-tique-tick.ch

Trois nouveaux livres à découvrir

L'Atlas des oiseaux nicheurs de Suisse 2013-2016 présente la répartition, la fréquence et la distribution verticale de tous les oiseaux nicheurs de Suisse et du Liechtenstein. Édité par la Station ornithologique suisse, il met en évidence l'évolution de notre avifaune au cours des dernières décennies tout en fournissant des informations essentielles à sa protection. L'ouvrage *La Sarine à Fribourg – 400 ans d'histoire entre la rivière et les Fribourgeois*, publié par le Service de l'environnement et tout aussi richement illustré, explore de son côté le patrimoine culturel et naturel du cours d'eau. Quant à l'encyclopédie élaborée par Bernard Vauthier, *1000 ans de pêche en Suisse romande*, qui a paru aux Éditions Favre, elle plonge le lecteur dans cette activité ancestrale en arpentant lacs et rivières romands.



Photo : mäd

Emballage écologique

Utiliser une toile enduite de cire pour emballer ou couvrir des aliments permet de se passer de cellophane ou d'aluminium. Il suffit ensuite de rincer le tissu composé de coton bio, de cire d'abeille suisse et d'huile de jojoba bio, avant de le réutiliser. Différents produits existent sur le marché, dont l'un s'appelle eco-tsapi®. On peut également les confectionner soi-même.

eco-tsapi.ch

Favoriser les circuits courts

L'idée de « La Ruche qui dit oui! » est simple : permettre aux producteurs locaux d'offrir leur marchandise en ligne. Les clients commandent légumes et fruits de saison, pain, produits laitiers, viandes, bière ou cosmétiques naturels sur internet, et vont chercher leurs achats dans la Ruche la plus proche, qui peut être un café, une école ou une salle communale.

ruchequiditoui.ch

Lausanne jardins

La 6^e édition de Lausanne Jardins aura lieu du 15 juin au 12 octobre : 31 projets ont été sélectionnés. Ces installations éphémères parsèmeront un parcours qui traversera la ville d'ouest en est. L'édition 2019 s'intéressera à l'utilisation du sol, en particulier des espaces publics et de la terre.

lausannejardins.ch

Crustacé de l'Areuse

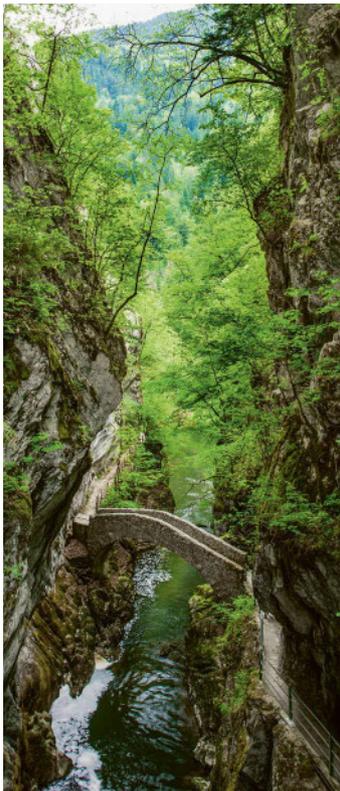


Photo : Shutterstock

Située en bordure du chemin des gorges de l'Areuse reliant Noiraigue à Boudry, la Maison de la Nature neuchâteloise La Morille présente l'exposition « Gelyella, icône de la qualité des eaux des gorges de l'Areuse », avec la collaboration du Muséum de Genève. Comme son titre l'indique, cette exposition se concentre sur un crustacé minuscule, la gelyelle de Monard, afin de mettre en avant l'importance de la qualité des eaux captées dans les gorges. La Suisse assume une responsabilité internationale par rapport à cette espèce bio-indicatrice, puisque *Gelyella monardi* n'existe que dans les gorges de l'Areuse et la source de Combe-Garot, dans le Jura neuchâtelois.

maisonnaturene.ch

Rendez-vous verts

Le Festival de la Terre 2019 aura lieu à Lausanne du 14 au 16 juin et aura pour thème l'éclosion de tous les possibles (festivaldelaterre.ch). La capitale vaudoise accueillera également le marché Pro Specie Rara le 8 septembre (prospecierara.ch). Autre rendez-vous pour les amateurs de produits naturels et biologiques : le marché bio de Saignelégier (marchebiojura.ch), qui se tiendra les 14 et 15 septembre dans les Franches-Montagnes (JU).

Nos voisins sauvages



Photo : Sonja Portenier

Le premier *Atlas des mammifères de Suisse* est paru en 1995. Depuis, la distribution de nombreuses espèces a connu des changements importants. Les scientifiques ont aussi identifié de nouvelles espèces et amélioré la différenciation de celles difficiles à déterminer. Afin de faire état de toutes ces découvertes, la Société suisse de biologie de la faune a mis en chantier un nouvel atlas. Tout un chacun peut annoncer ses observations sur une plateforme internet dédiée.

bit.ly/2VAkbpC

Filières et formations



Photo: mäd

« Ça grouille dans la mare »

Corises (en photo), aselles, puces d'eau ou scarabées d'eau : nos étangs abritent une vie fascinante, mais qui reste méconnue d'une grande partie d'entre nous. C'est à quoi le centre-nature Birdlife de La Sauge entend remédier : sa nouvelle exposition interactive est consacrée cette année aux invertébrés d'eau douce. Intitulée « Ça grouille dans la mare », elle s'adresse à un large public. Des visites guidées de l'exposition et du sentier naturel longeant les étangs sont proposées, sur réservation, pour les groupes d'adultes et d'enfants, ainsi que les classes.

Situé entre Ins (BE) et Cudrefin (VD), le centre-nature de La Sauge se trouve aux abords des deux principales réserves d'oiseaux au niveau national et international, celles du Fanel et de Cudrefin, à l'extrémité nord du lac de Neuchâtel. Il propose une exposition et un parcours extérieur pourvu de quatre observatoires, qui offrent des vues imprenables sur la nature sans perturber la faune.

Exposition temporaire | Jusqu'au 25 octobre 2020 | Mardi-dimanche + jours fériés : 9 h-18 h | birdlife.ch/fr/content/la-sauge

Au fil de la Sarine

Parallèlement à un ouvrage relatant l'histoire de la Sarine sur plusieurs siècles, ainsi qu'à un documentaire traitant des problématiques environnementales liées à l'eau, le Service de l'environnement de l'État de Fribourg a élaboré un guide destiné aux enseignants, intitulé *La Sarine au fil de l'histoire*, qui sert de préparation à la visite en basse-ville de Fribourg. Le parcours dure deux heures et aborde notamment les rapports entre l'être humain et la rivière, ainsi que les fonctions du cours d'eau.

bit.ly/2H4GoIU

Retour vers le futur

Machines à café, aspirateurs, consoles de jeux, ampoules : les appareils électriques et électroniques, comme les sources lumineuses, sont omniprésents dans notre vie quotidienne. Or tout ce qui a été acheté devra finir par être éliminé. Le dossier de la fondation Pusch destiné aux enseignants aborde la question en dix modules, en mettant l'accent sur la chaîne du recyclage.

bit.ly/2HgPYYK

Devenez formateur/ formatrice d'adultes en environnement

Transmettre des thèmes environnementaux avec professionnalisme, assurance et créativité, animer des ateliers, sensibiliser un public... cela s'apprend ! Le cursus « Former les adultes en environnement avec certificat FSEA », proposé par Silviva, permet d'acquérir les compétences pour concevoir et donner des cours. On peut aussi y consolider son savoir en matière de communication et d'animation. Le délai d'inscription est fixé au 17 août. La formation aura lieu entre mi-octobre 2019 et fin mars 2020.

silviva-fr.ch/fsea

Le vaste monde des petites abeilles

Il existe près de 600 espèces d'abeilles en Suisse, mais la plupart d'entre nous n'en connaissent qu'une : l'abeille domestique ou mellifère. L'animation « Animatura – Abeilles sauvages » de Pro Natura a pour but de familiariser les enfants avec ces insectes en les observant à proximité de leur école. Ils apprendront ainsi qu'à la différence des butineuses domestiques, la majorité de leurs consœurs sauvages ne vivent pas en communauté. Solitaires et discrètes, elles habitent dans des sols sablonneux, des coquilles d'escargots, creusent des trous dans le bois mort, construisent des nids dans des tiges ou des murs en pierres sèches. Au cours de l'activité, ils découvriront également qu'en pollinisant les plantes, les abeilles sauvages nous rendent un service inestimable. Leur disparition entraînerait une dégradation de la diversité végétale et un appauvrissement du régime alimentaire des humains et des animaux. L'offre comprend trois heures d'animation (max. 25 participants) et le matériel pédagogique.

bit.ly/2TkRMXX

En balade



Le Rhin alpin encore indompté sillonne la zone alluviale d'importance nationale.

Photo : Beat Jordi

Le Grand Canyon suisse

La randonnée de Flims-Waldhaus (GR) jusqu'aux gorges du Rhin offre des vues spectaculaires sur les reliques d'un éboulement massif et sur le Grand Canyon de Suisse.

Il y a 9500 ans, lors du plus grand écroulement qu'aient connu les Alpes, des millions de mètres cubes de roche calcaire ont déboulé dans la vallée antérieure du Rhin et enfoui le fleuve sous un cône d'éboulis d'une longueur de 14 kilomètres. Après s'être accumulées pour former ce qui devint le lac d'Ilanz, les eaux du Rhin se sont frayé un chemin dans les sédiments, à 400 mètres de profondeur. C'est ainsi qu'est né le paysage naturel de Ruinaulta, aussi appelé gorges du Rhin.

Le premier temps fort de la randonnée se présente dès le début de l'itinéraire, à Flims-Waldhaus, au bord du *Lag la Cauma*. Situé dans une cuvette boisée, ce lac n'est pas alimenté par une rivière de surface mais par l'eau de fonte et les formations du milieu karstique qui acheminent les eaux souterraines. Au fond, une couche d'argile imperméable retient l'eau, l'empêchant de s'infiltrer complètement dans le sol. Comme les autres petits lacs de la région, le lac de Cauma, situé à 1000 mètres d'altitude, est apparu à la suite de l'éboulement de Flims.

Lors de la traversée de l'*Uaul Grond*, une forêt de conifères semée de blocs de calcaire, faire un petit crochet

jusqu'à la plateforme panoramique *Il Spir* à Conn vaut le détour. Cette terrasse en bois de mélèze, dont la forme s'inspire d'un martinet, offre une vue spectaculaire sur les parois à pic, dont l'effritement crée des formes étranges. Près de 400 mètres plus bas, le fleuve alpin encore indompté sillonne la zone alluviale d'importance nationale (inscrite à l'IFP). La ligne des Chemins de fer rhétiques (RhB) suit son cours à une distance prudente.

Sur le flanc des gorges exposé au sud, le chemin menant à la petite gare de Valendas-Sagogn serpente dans les forêts de pins et de bruyères, dont les sols pauvres en nutriments abondent en orchidées. Après avoir traversé les pâturages de Tuora et de Foppas, les marcheurs atteignent le pont qui enjambe le fleuve, et poursuivent jusqu'à la gare de Versam-Safien.

La zone de transition entre l'eau et la terre ferme est bordée de peuplements denses d'aulnes blancs et semée d'étangs, de bancs de gravier et de plages de sable. Sur un espace limité s'accumule une riche diversité d'espèces, dont de rares plantes et oiseaux d'eau, à l'image du petit gravelot et du chevalier guignette. En outre, quelque 350 espèces de papillons vivent dans les quatre réserves naturelles aménagées alentour. Texte : Beat Jordi

rheinschlucht.ch/die-rheinschlucht (en allemand)

Biotechnologies modernes

Du potentiel, mais...

Le génie génétique évolue à un rythme effréné et promet d'innombrables applications en médecine, pharmacie et chimie, ainsi que dans l'agro-alimentaire. Il reste toutefois difficile d'évaluer les risques que recèlent ces modifications génétiques d'un nouveau genre effectuées sur des organismes vivants. **Texte:** Nicolas Gattlen

Il ne se passe pas une semaine sans que l'on tombe sur un article consacré aux biotechnologies. Tout dernièrement, on a pu lire qu'à l'Institut Roslin d'Édimbourg (GB), des chercheurs avaient fait naître des cochons résistant au virus du SDRP, une maladie porcine. Ils sont parvenus à reconfigurer certains constituants de leur ADN de manière à empêcher le virus de pénétrer dans leurs cellules pour s'y multiplier. Plusieurs pays de l'Union européenne mènent par ailleurs des essais en plein air avec des peupliers génétiquement modifiés, censés croître plus vite et produire davantage de biomasse et moins de lignine, un atout sensible car la fabrication de papier et de biocarburants implique l'extraction coûteuse de cette substance.

Autre nouvelle ayant fait les gros titres récemment, le Burkina Faso prévoit de lâcher dans la nature des moustiques génétiquement modifiés générant une descendance biaisée à 90 % en faveur des mâles, contrairement à la proportion naturelle de 50 %. L'objectif est de réduire drastiquement les populations de moustiques pour enrayer la malaria, transmise uniquement par les moustiques femelles.

Le CRISPR à l'œuvre

Ce ne sont là que trois exemples parmi les nombreux projets de recherche menés dans les domaines combinés de la biologie moléculaire, de la microbiologie et de la génétique, mais également des technologies de l'information et de l'automatisation. Les nouvelles techniques de modification génétique ciblée, comme la modification du génome

grâce au système d'enzymes CRISPR/Cas (voir encadré ci-contre), revêtent un potentiel particulièrement intéressant car elles sont efficaces, précises, peu coûteuses et largement accessibles. À la différence des procédés classiques, le plus souvent utilisés pour transférer des informations génétiques entre espèces (transgénèse), les techniques d'édition génomique (*genome editing* en anglais) comme le CRISPR/Cas permettent de modifier le génome de façon ciblée sans forcément introduire de gènes étrangers à l'espèce. On peut les comparer à des ciseaux génétiques réalisant des coupes à des endroits précis du génome, pour désactiver certains gènes. La technique permet également de remplacer des segments d'ADN défectueux ou d'insérer de nouvelles séquences génétiques dans un organisme, non seulement des gènes isolés mais des groupes et des combinaisons de gènes, et ce à divers endroits du génome.

Les derniers progrès biotechnologiques en date ont entraîné une augmentation notable du nombre d'applications dans le domaine non humain, tout particulièrement dans le secteur pharmaceutique, où l'on a recours à des microorganismes génétiquement modifiés pour produire des médicaments et des vaccins, ainsi qu'en médecine (thérapie génique, diagnostic), dans l'agriculture (plantes cultivées), la sylviculture (arbres destinés à la production de bois et de papier) et l'industrie, qui utilise des algues, des champignons ou des bactéries génétiquement modifiés pour produire huiles, enzymes, vitamines et arômes.

Dans le domaine de la sélection animale également, l'utilisation du génie génétique ouvre continuellement de nouvelles possibilités. L'accent y est

CRISPR/Cas : le « couteau suisse » du génie génétique

Le système CRISPR/Cas se base sur un mécanisme immunitaire des bactéries qui leur permet de se protéger des virus. En cas d'infection de la bactérie, l'ADN viral est découpé en infimes fragments, puis intégré dans le CRISPR – des séquences courtes et répétées présentes dans le génome des bactéries. Les séquences d'ADN introduites servent de signal de reconnaissance en cas d'infection ultérieure par le virus. L'autre composante du système, les gènes Cas, contient les instructions nécessaires à la synthèse d'une protéine capable de découper les brins d'ADN (d'où le nom de « ciseaux génétiques »). En cas de nouvelle infection, les séquences d'ADN sont retranscrites en ARN : cette « sonde génétique » examine la séquence d'ADN du virus. Quand elle identifie la séquence connue, elle se fixe à l'ADN viral et indique aux ciseaux génétiques de le découper pour stopper l'infection.

En 2012, des chercheurs ont démontré pour la première fois que le système CRISPR/Cas pouvait être utilisé comme des ciseaux génétiques programmables sur des microorganismes. Il a ensuite été établi que ce système fonctionnait aussi sur des organismes supérieurs, comme les animaux ou les végétaux.

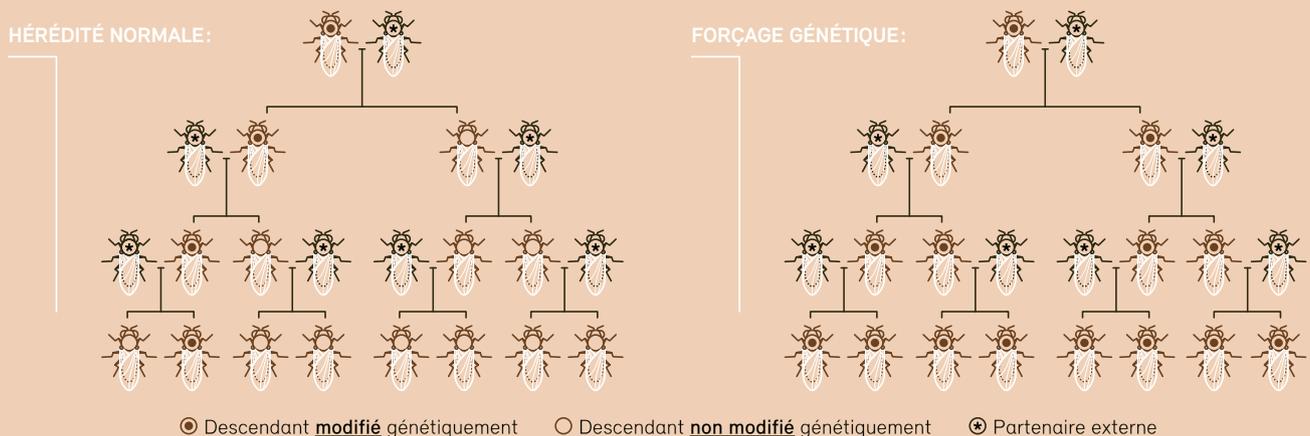
Le processus se déroule en trois étapes : il s'agit d'abord de déterminer très précisément la séquence à modifier, sachant que le génome se compose en principe de plusieurs milliards de paires de bases (éléments constitutifs de l'ADN). Cette séquence est ensuite introduite dans un complexe CRISPR/Cas, que l'on insère dans la cellule de l'organisme récepteur. La cellule produit elle-même la « sonde génétique » et les ciseaux moléculaires qui l'accompagnent. Les ciseaux sont dirigés vers le gène ciblé et découpent le double brin d'ADN à l'endroit précis indiqué par la sonde.

Enfin, les mécanismes de réparation propres à la cellule entrent en action. Dans le premier mécanisme, le brin d'ADN coupé se ressoude, en laissant toutefois de petites anomalies. Résultat : le gène concerné ne peut plus être lu ni fonctionner correctement. Dans le second mécanisme, la cellule utilise une copie de la séquence génétique comme modèle. Ces modèles peuvent être produits artificiellement et insérés dans les cellules. Il est ainsi possible d'« éditer » (de l'anglais *to edit*) la séquence presque à volonté, notamment en intégrant des séquences d'ADN supplémentaires. C'est pourquoi on parle d'outils d'édition génomique.

Le forçage génétique ou comment accélérer la propagation d'une modification

La technologie du forçage génétique vise à modifier une propriété ou à en introduire une nouvelle, de manière rapide et précise, dans une population naturelle. Le principe est simple : une modification est introduite dans un organisme en association avec un mécanisme de copie du gène. Ce mécanisme transmet toujours la modification aux deux copies du gène cible. Ainsi, tous les descendants reçoivent la modification souhaitée et elle se propage dans la population au fil des générations (dans le cas d'une transmission héréditaire normale, la modification ne touche que la moitié des individus). En laboratoire, de premiers essais de forçage génétique par CRISPR/Cas ont déjà été réalisés avec succès, notamment sur de la levure, des mouches drosophiles et des moustiques.

Cette technique pourrait s'appliquer dans les domaines suivants : santé publique (suppression des insectes vecteurs de maladie ou désactivation de leur capacité à véhiculer des agents pathogènes), agriculture (lutte contre les « mauvaises herbes » et les « nuisibles ») et protection de la nature (renforcement génétique des espèces ou populations menacées).



mis sur la résistance aux maladies infectieuses, l'augmentation de la masse musculaire, la suppression de certains allergènes dans le lait ou encore l'amélioration des propriétés de la laine. À ce stade, les récentes techniques d'édition génomique semblent plus prometteuses que les technologies génétiques classiques. On trouve déjà sur le marché des poissons d'aquarium fluorescents ou des produits à base de saumon modifié génétiquement pour croître plus rapidement tout en étant moins nourri. Tous deux sont pour l'instant encore interdits en Suisse, puisque la production et la mise en circulation de vertébrés génétiquement modifiés ne sont autorisées qu'à des fins scientifiques, thérapeutiques et diagnostiques sur l'être humain ou l'animal.

Cependant, à la fin de l'année 2018, une nouvelle a provoqué l'émoi lors du Sommet international sur l'édition du génome humain. Malgré les appels répétés à la prudence de la part des deux chercheuses à l'origine de la découverte du CRISPR/Cas, la naissance en Chine de deux jumelles modifiées au moyen de cette technique pour déjouer l'infection du virus du sida a été confirmée. Cette annonce a soulevé une vague de doutes et de questionnements sur la liberté et les objectifs de la recherche, et pointé la nécessité de formuler des règles pour la société. Il convient toutefois de préciser que le droit suisse interdit strictement de telles modifications du génome humain.

Des systèmes biologiques artificiels

Une autre impulsion devrait provenir de la biologie synthétique, un domaine de recherche récent, situé à la jonction entre la biologie moléculaire, la chimie, l'ingénierie, les biotechnologies et les technologies de l'information (voir encadré page 16). Des chercheurs de diverses disciplines s'associent en vue de développer des systèmes biologiques tels que des cellules, des molécules et des tissus en laboratoire, ainsi que de mettre au point des organismes dotés de nouvelles caractéristiques spécifiques.

À la différence du génie génétique classique, il ne s'agit pas de transférer des gènes distincts (et d'espèce étrangère) dans un organisme, mais d'y introduire des éléments et des systèmes biologiques nouveaux ou modifiés (p. ex. une voie métabolique impliquant plusieurs gènes), de façon à ce qu'ils produisent une substance donnée – médicament, arôme ou biocarburant. Ces procédés permettent également d'obtenir des matériaux qu'aucun organisme ne produit naturellement, comme du butane-1,4-diol, une substance chimique de base destinée à la fabrication de matières plastiques, elle-même produite selon un processus de synthèse qui n'existe pas dans la nature. On emploie par ailleurs fréquemment des gènes dont la séquence ADN a été conçue par ordinateur afin de remplir une fonction donnée.

«L'essor des biotechnologies requiert que nous redoublions d'efforts en matière de biosécurité et d'évaluation des risques pour l'environnement.»

Anne Gabrielle Wüst Saucy | OFEV

Le recours accru au génie génétique engendre de nouveaux défis en matière de sécurité. Et la principale difficulté, du point de vue de la protection de l'environnement, concerne la libération, intentionnelle ou non, d'organismes génétiquement modifiés (OGM) dans la nature. En effet, les OGM sont comme les autres organismes vivants: ils se multiplient, se mélangent et se modifient. Or la propagation involontaire concerne non seulement les organismes modifiés eux-mêmes, mais également les modifications génétiques qui leur ont été apportées, lesquelles peuvent se transmettre de manière tant verticale (par la descendance) qu'horizontale (par transfert de matériel génétique à d'autres organismes) et nuire ainsi à la

santé humaine et animale, ainsi qu'à l'environnement et à la biodiversité.

Des interventions directes dans l'environnement

Le forçage génétique (*gene drive*, en anglais) pose un défi tout particulier en matière de sécurité et de protection de l'environnement (voir graphique page 9). Cette méthode permet d'introduire une mutation génétique dans une population naturelle et de la propager à l'ensemble des individus. Alors qu'une modification génétique n'est transmise qu'à la moitié des descendants par le biais de la reproduction sexuée et disparaît donc au fil des générations, le forçage génétique permet d'inoculer la modification souhaitée à l'ensemble des descendants et de la diffuser ainsi rapidement au sein d'une population. Cette technique offre de nombreuses applications possibles, et peut servir par exemple à contenir ou éradiquer des nuisibles, des vecteurs de maladies ou des espèces exotiques envahissantes. Les essais en laboratoire ont d'ores et déjà confirmé le fait que cette approche fonctionne. Il n'est toutefois guère possible d'évaluer comment l'élimination d'une population ou d'une espèce pourra se répercuter sur l'écosystème ou sur la biodiversité.

L'OFEV suit attentivement l'évolution des biotechnologies. Il mène divers programmes de surveillance et s'assure du respect des dispositions légales régissant leur utilisation. Les processus biotechnologiques – que ce soit dans le domaine de la recherche ou de la production – doivent être encadrés de manière sûre. «Le défi consiste à repérer au plus tôt les éventuels risques pour l'être humain et pour l'environnement, à les évaluer et à prendre les mesures qui s'imposent», explique Anne Gabrielle Wüst Saucy, cheffe de la section Biotechnologie de l'OFEV. Cette appréciation s'avère particulièrement délicate dans le contexte des nouvelles technologies, car les expériences sont insuffisantes: «Dans bien des cas, l'état d'avancement de la science ne nous permet pas d'évaluer de manière adéquate les effets des modifications

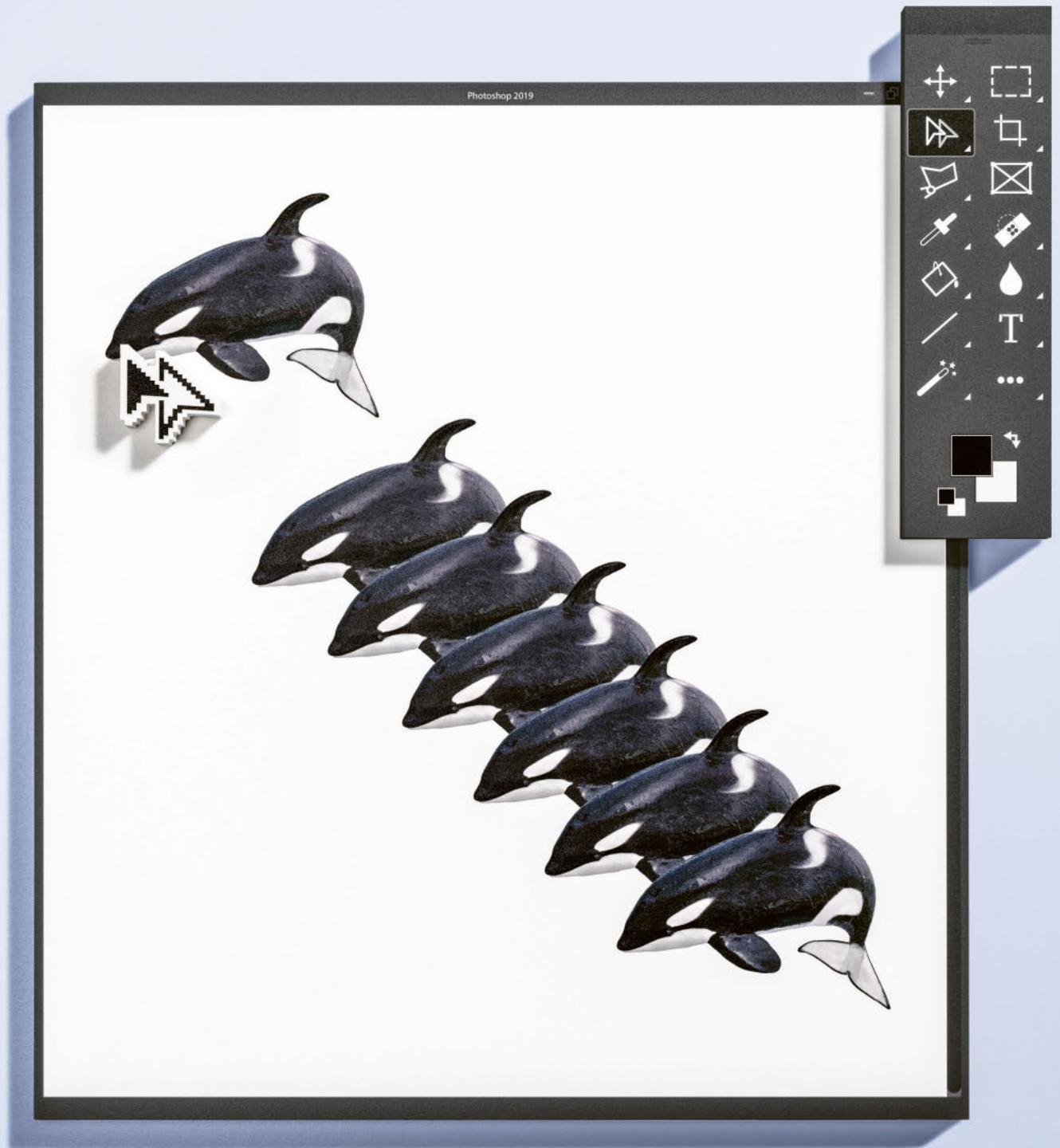
apportées sur le génome et les risques qui en découlent.» Comme il existe des raisons plausibles de craindre que l'utilisation d'OGM ait des répercussions néfastes sur l'environnement et la santé des plantes, des animaux et des êtres humains, le principe de précaution s'impose. Outre un devoir général de diligence, la loi sur le génie génétique (LGG) prescrit par conséquent une évaluation des risques au cas par cas et l'application de mesures de sécurité appropriées. Elle impose par ailleurs un régime obligatoire de notification, d'autorisation et d'information.

La culture de la biosécurité

L'un des principes fondamentaux concernant les OGM est celui de l'analyse au cas par cas, qui consiste à examiner chaque projet du point de vue des risques qu'il présente, sur la base de scénarios vraisemblables. Un autre principe est celui de la progression par étapes, qui exige d'acquiescer suffisamment d'informations au cours de chaque phase avant de passer à la suivante. En général, ces étapes correspondent aux différentes expériences en milieu confiné (p. ex. en laboratoire et sous serre) et en plein champ. Ce n'est qu'une fois que l'innocuité de l'organisme a été prouvée par de nombreuses données qu'il sera possible, le cas échéant, de l'exploiter sous forme de produit. Grâce à ces règles et à une «culture de la biosécurité» qui s'est développée durant ces 25 dernières années, aucun incident grave de dissémination incontrôlée n'a été enregistré en Suisse lors de l'utilisation (volontaire) d'OGM. «Mais l'actuel essor des biotechnologies requiert que nous redoublions d'efforts en matière de biosécurité et d'évaluation des risques pour l'environnement», conclut Anne Gabrielle Wüst Saucy.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-01

Anne Gabrielle Wüst Saucy |
Cheffe de la section Biotechnologie | OFEV
annegabrielle.wuestsaucy@bafu.admin.ch



Peut-on dupliquer les espèces à volonté?

Biologie synthétique

Reproduire pour mieux comprendre

La biologie de synthèse tente, à partir de composants standardisés, de reproduire, de modifier ou de concevoir des systèmes biologiques en laboratoire. *l'environnement* s'est entretenu avec la biologiste Yolanda Schaerli et l'éthicien Gérald Hess sur les potentiels et les risques éventuels de cette discipline récente. **Propos recueillis par** Lucienne Rey

Sur quoi travaillez-vous actuellement, Madame Schaerli ?

Yolanda Schaerli : Mon équipe s'intéresse aux réseaux de régulation des gènes. Nous souhaitons en savoir plus sur leur évolution et leurs mécanismes. Nous travaillons avec des bactéries *Escherichia coli* en appliquant le principe de la biologie synthétique *bottom up*, c'est-à-dire de bas en haut (ce principe vise à créer des systèmes biologiques à partir de zéro, n.d.l.r.). L'idée directrice est que l'on comprend mieux ce que l'on sait reconstruire. Notre recherche se concentre sur les réseaux qui génèrent des motifs spatiaux, comme on en trouve par exemple sur les ailes des papillons. Ces motifs sont également importants dans le développement embryonnaire.

« Selon la tradition occidentale, il est permis de modifier la nature de manière à ce qu'elle soit utile à l'être humain. »

Gérald Hess | Éthicien

Que dit l'éthicien lorsqu'il entend que l'on reproduit quelque chose pour mieux le comprendre ?

Gérald Hess : Pour commencer, je doute que la biologie de synthèse apporte quelque chose de fondamentalement nouveau par rapport au génie

génétique. Les deux approches s'inscrivent dans la tradition occidentale, selon laquelle on peut modifier la nature de manière à ce qu'elle soit utile à l'être humain et réponde à ses objectifs. Cette conception ne s'est imposée qu'avec la science du XVII^e siècle. Dans l'Antiquité grecque, on voyait encore les choses autrement et le savoir était apprécié pour lui-même. De nos jours, même la recherche fondamentale est pratiquée dans le but de l'appliquer à des fins déterminées.

Y. Schaerli : Le champ de la biologie synthétique est très large. Certaines équipes déclarent à quelles utilisations leur recherche pourrait servir. D'autres ne s'intéressent qu'à la progression du savoir. Cependant, la biologie de synthèse permet bel et bien d'étendre le génie génétique actuel à de nouveaux éléments. Elle donne par exemple beaucoup d'importance à la standardisation, à la modularité et à l'abstraction. Par ailleurs, elle s'intéresse davantage aux réseaux et aux voies métaboliques qu'aux gènes isolés.

G. Hess : Les deux approches ont toutefois en commun qu'elles sont réductionnistes dans leur observation du vivant et l'instrumentalisent de manière à le transformer à certaines fins.

Y. Schaerli : Mais cela n'a rien de nouveau. Il en va de même par exemple pour les méthodes conventionnelles de sélection des plantes et des animaux. Tout au plus avons-nous amélioré la précision des manipulations.

**Qu'est-ce que la « vie », précisément, pour vous ?
Qu'est-ce qui la caractérise ?**

Y. Schaerli: Cette question est difficile même pour les biologistes. On note une série de caractéristiques, par exemple que les êtres vivants sont organisés en cellules, qu'ils disposent d'un métabolisme, qu'ils croissent et qu'ils se modifient. De plus, ils réagissent aux stimuli et se reproduisent. Toutefois, certains cas limites comme les virus ne remplissent pas tous ces critères.

G. Hess: Nous distinguons deux points de vue philosophiques. Le premier postule des caractéristiques qui remplissent certaines fonctions. Il prend en considération les éléments extérieurs du vivant, qu'il objective et rend manipulable. Le second point de vue repose par contre sur une conception plus globale: s'il admet une série de caractéristiques extérieures, il suppose simultanément que les chercheurs sont eux aussi des êtres vivants et qu'ils ne peuvent comprendre la vie qu'en tant que tels. Cette position part du principe que la science ne peut pas objectiver et expliquer tout ce qui est vivant.

Lorsque la biologie synthétique construit des organismes inédits, peut-elle les contrôler et estimer les conséquences de ses expériences ?

Y. Schaerli: Nous n'en sommes pas encore à construire effectivement de nouveaux organismes. Mais nous sommes guidés par l'idée que, selon le principe de l'ingénierie, les manipulations sont également prédictibles en biologie. Lorsque nous construisons un pont, les plans nous indiquent le résultat final. La biologie étant cependant très complexe, les prévisions sont d'autant plus compliquées. Mais c'est aussi ce qui rend ce travail captivant... et la raison pour laquelle il me passionne.

Pouvez-vous comprendre que des gens aient peur de vos travaux, parce que vous pourriez construire quelque chose qui vous dépasse, à l'instar de l'apprenti sorcier ?

Y. Schaerli: Oui, je peux très bien le concevoir. C'est pourquoi il est important d'expliquer ce que nous faisons et quelles mesures de sécurité nous

appliquons. Nous devons susciter l'intérêt et la compréhension de la société, puisque la biologie synthétique contribue finalement à améliorer des applications très courantes aujourd'hui. Mais elle débouche aussi sur de nouvelles utilisations, par exemple, en matière de synthèse des produits chimiques, ou de diagnostic et de traitement des maladies.

G. Hess: Pour évaluer si une technologie apporte une amélioration, il faut surtout considérer ses objectifs. Certains sont parfaitement louables, notamment lorsque des organismes génétiquement modifiés servent à fabriquer des médicaments.

*« Il m'est difficile d'appliquer
la notion de dignité
aux bactéries. »*

Yolanda Schaerli | Biologiste

De nouvelles technologies telles que le CRISPR/Cas et le forçage génétique (voir encadré et graphique page 9) permettraient d'éradiquer par exemple des populations entières de moustiques vecteurs de la malaria. Devrions-nous recourir à ces possibilités ?

G. Hess: Pour commencer, ici aussi, l'objectif doit être moralement légitime. C'est certainement le cas quand il s'agit de lutter contre une grave maladie. Il faut ensuite clarifier quels risques encourent les personnes et l'environnement, et si ces risques sont gérables. Mais lorsqu'une telle technique est employée dans un écosystème complexe, il n'est guère possible d'en estimer les effets secondaires. Le principe de précaution doit donc prévaloir. Ce principe commande que l'on tente, avant toute utilisation d'une nouvelle technologie, de déterminer les conséquences encore incertaines afin d'identifier et d'évaluer les risques du mieux possible.



Rencontre entre l'éthique et la science

Yolanda Schaerli est professeure assistante à l'Université de Lausanne. Après des études de biochimie et de biologie moléculaire à l'EPF de Zurich, elle a travaillé à l'Université de Cambridge (GB), au Centre de régulation génomique de Barcelone (E) et à l'Université de Zurich dans le cadre de séjours de recherche de plusieurs années.

Le philosophe **Gérald Hess** s'est intéressé entre 2003 et 2010, en qualité de collaborateur scientifique de l'OFEV, à des questions éthiques soulevées notamment par la biotechnologie. Aujourd'hui maître d'enseignement et de recherche à la Faculté des géosciences et de l'environnement de l'Université de Lausanne, il y enseigne l'éthique et la philosophie de l'environnement.

Biologie de synthèse : de la manipulation à la création

Considérée par certains de ses représentants comme le plus récent développement de la biologie moderne, la biologie synthétique se situe à la frontière de la biologie moléculaire, de la chimie organique, de l'ingénierie, de la nanobiotechnologie et des technologies de l'information. Elle réunit des approches différentes dans un but commun : produire des organismes ou des composants biologiques d'un genre nouveau. Toutefois, leur niveau d'intervention et leurs méthodes diffèrent.

BIO-INGÉNIERIE :

Comme dans un ordinateur, les composants biologiques isolés (éléments génétiques standards) doivent être assemblés selon une structure hiérarchique. Avant de commencer le travail en laboratoire, les chercheurs conçoivent des modèles détaillés de mécanismes régulateurs ou de voies métaboliques.

GÉNOMIQUE SYNTHÉTIQUE :

Elle vise à produire artificiellement un génome entier. Des méthodes de chimie et de biologie moléculaire permettent d'accrocher les éléments constitutifs de l'ADN (les nucléotides) les uns aux autres dans l'ordre souhaité. De courts segments d'ADN, un gène unique par exemple, sont déjà commercialisés. En 2010, l'équipe de recherche du biochimiste américain Craig Venter a fabriqué un génome entier à partir d'un modèle naturel.

XÉNOBIOLOGIE :

Cette discipline a pour but de développer des organismes dotés d'un système génétique

différent de celui présent dans la nature (en grec, *xeno* signifie « étranger »). Certains chercheurs tentent de remplacer l'ARN (acide ribonucléique) et l'ADN (acide désoxyribonucléique) par de nouvelles formes d'acides nucléiques (acides xénonucléiques ou AXN). D'autres s'en tiennent aux acides nucléiques connus dans les systèmes naturels mais s'attachent à concevoir un nouveau code génétique.

PROTOCELLULES :

Il s'agit ici de construire des cellules vivantes à partir de molécules. Comme prémisses, les chercheurs produisent des protocellules, soit de petits globules entourés d'une enveloppe lipidique, au sein desquels se déroulent des réactions biochimiques isolées. Actuellement, on est encore loin de pouvoir produire des cellules que l'on pourrait qualifier de « vivantes ».

Source : sciencesnaturelles.ch

L'utilisation de ces techniques est aussi envisagée en vue d'immuniser des populations d'animaux contre une maladie qui menace leur survie. Qu'en pensez-vous ?

Y. Schaerli : À mon avis, il faut se montrer très prudent quand il s'agit d'intervenir ainsi dans un écosystème. Selon les circonstances, les modifications introduites pourraient se transmettre à d'autres espèces. En tout cas, il importe de tester spécifiquement chaque application et de prendre d'autres solutions en considération.

G. Hess : On ne peut pas décider a priori si une technologie doit être utilisée ou s'il faut y renoncer. Il convient évidemment de déterminer les risques et de questionner les intentions. Cela étant, si une technique permet de sauver une espèce menacée tout en garantissant l'absence d'autres risques, je ne vois guère de raisons de s'y opposer.

En Suisse, certains procédés de production d'organismes présentant de nouvelles propriétés, notamment dans la sélection végétale, sont

soumis à des réglementations différentes. Si l'évaluation éthique dépend de l'objectif visé, ne faudrait-il pas plutôt se baser sur le produit final, indépendamment de son mode de fabrication, que ce soit par irradiation ou génie génétique, par exemple (voir graphique page 19)?

G. Hess: Oui, en effet. Il y a là une certaine incohérence. Si le rayonnement et les manipulations génétiques peuvent déployer les mêmes effets, le rayonnement est tenu pour plus sûr. Mais c'est peut-être une erreur. Toute technique devrait être utilisée avec vigilance. Le principe de précaution exige que l'on procède pas à pas: les nouveaux processus sont d'abord testés en laboratoire, puis dans des systèmes fermés et ensuite sur des surfaces de plein champ protégées.

Y. Schaerli: Je vous rejoins sur ce point. Mais encore faut-il qu'il soit permis de mener de telles expériences. Sinon, il n'est pas possible d'acquérir les connaissances requises.

La Constitution fédérale évoque la notion de «dignité de la créature». Selon vous, les bactéries sont-elles aussi dotées d'une dignité susceptible d'être violée?

Y. Schaerli: La dignité est un concept humain et nous accordons plus de poids à ce qui nous est plus proche. Il nous est plus difficile de tuer des animaux que des plantes. Les bactéries sont encore plus éloignées de nous. Personnellement, je n'ai pas mauvaise conscience lorsque je conduis mes expériences en laboratoire avec des bactéries. Il m'est difficile de leur appliquer la notion de dignité. Mais nous ne devrions certainement pas les utiliser de manière irréfléchie.

G. Hess: À l'art. 120 de la Constitution fédérale, l'expression *Würde der Kreatur* n'est pas traduite en français par «dignité de la créature» mais par «intégrité des organismes vivants». Cette expression s'applique mieux à l'ensemble du vivant que le concept de dignité, puisqu'elle confère une valeur morale à tous les organismes vivants. Cependant, aucune loi n'a été adoptée pour les bactéries, car leur statut moral est trop faible. De manière

générale, il n'existe pas de position éthique unique: l'appréciation morale diffère selon le critère retenu, que ce soit la faculté de penser de l'organisme, sa capacité à souffrir ou simplement sa force vitale. Par la notion de «dignité de la créature», le législateur a voulu indiquer qu'il convient de tenir compte de certains éléments de la nature.

Dans le domaine de la biologie synthétique, des inquiétudes s'expriment vis-à-vis des biologistes dits «de garage» (biohackers), qui installent leur propre laboratoire et commandent les composants biologiques nécessaires sur internet. Selon vous, quels sont les risques de dérives?

Y. Schaerli: Les obstacles restent importants et une bonne formation est indispensable. Les laboratoires de biohacking observent généralement un code éthique. Bien entendu, ils doivent respecter les mêmes règles de sécurité que les laboratoires des hautes écoles ou des entreprises. Les biohackers ont aussi un effet très positif: ils informent les gens et partagent leur enthousiasme pour la biologie (voir article page 23, n.d.l.r.). Dans le domaine de la biologie de synthèse en particulier, on entretient une vraie culture du partage en permettant à ses collègues d'accéder aux résultats.

L'éthique a-t-elle des objections à l'égard de la démocratisation de la science?

G. Hess: Non, absolument pas. Le grand public doit être au courant des développements techniques. Il faudrait un cadre dans lequel il puisse s'informer indépendamment de la pression économique. Cependant, la difficulté réside dans le fait qu'une technique existe en général déjà avant que l'on ne commence à en débattre avec la population.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-02

Nouvelles techniques de sélection végétale

Une petite coupe qui suscite de grands débats

Les nouvelles techniques de sélection végétale permettent de modifier les plantes sans y ajouter de matériel génétique étranger. La législation actuelle ne définit pas clairement le statut des produits issus de ces manipulations. Le Conseil fédéral examine la situation et réfléchit à une éventuelle adaptation du droit. **Texte :** Nicolas Gattlen

À l'automne 2018, les premières cultures agricoles issues du *genome editing*, ou édition génomique en français, ont été récoltées aux États-Unis : des fèves de soja possédant un profil d'acides gras modifié, plus sain. Depuis début 2019, elles se trouvent dans le commerce, sous forme d'huiles alimentaires ou de barres de muesli. Ces fèves ont été développées par l'entreprise de biotechnologie Calyxt, dans le Minnesota. Les chercheurs de Calyxt sont parvenus à réaliser des modifications ciblées sur trois gènes de la plante à l'aide de « ciseaux génétiques ». Aux États-Unis, ces fèves de soja peuvent être cultivées, transformées et commercialisées sans conditions particulières. En Europe elles sont considérées comme « génétiquement modifiées » et ne sont autorisées ni à la culture, ni au commerce. Pourquoi cette différence ?

«Ce qui compte, c'est le résultat»

«En Amérique du Nord, les procédures d'autorisation des végétaux évaluent en premier lieu leurs propriétés ainsi que leurs interactions avec l'environnement», explique Jan Lucht, de scienceindustries, l'association des industries chimiques, pharmaceutiques et biotechnologiques. «Le processus de sélection et les technologies utilisées jouent un rôle secondaire.» Ce qui compte, c'est donc le résultat, et non le chemin parcouru pour l'atteindre. En outre, les coupures ciblées des deux

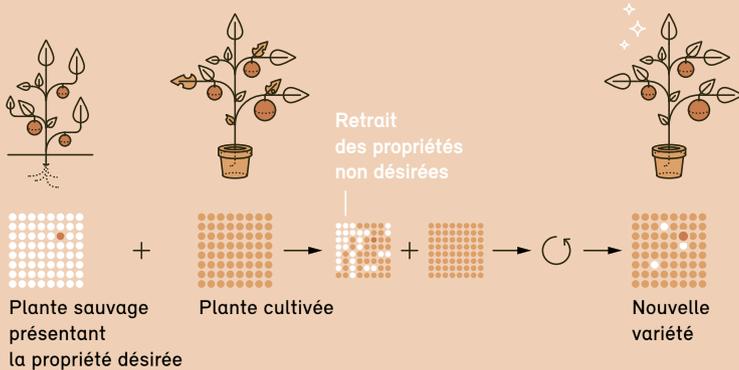
brins d'ADN, opérées à l'aide de nucléases dirigées comme CRISPR/Cas9, ne sont pas fondamentalement différentes des mutations naturelles ou des mutations induites aléatoirement (voir illustration ci-contre), en dehors du fait qu'elles ne touchent que de petites parties du génome. «Dans les méthodes classiques, le génome subit d'innombrables modifications non dirigées», précise Jan Lucht. «Les techniques de correction du génome sont beaucoup plus ciblées et précises. Elles ne modifient qu'une petite partie du génome.»

La probabilité de voir survenir des effets involontaires serait ainsi plus faible qu'avec des techniques de sélection conventionnelles. Il serait donc peu probable que les plantes obtenues par édition génomique comportent des risques foncièrement plus élevés que ceux liés aux techniques classiques.

Un organisme entièrement nouveau ?

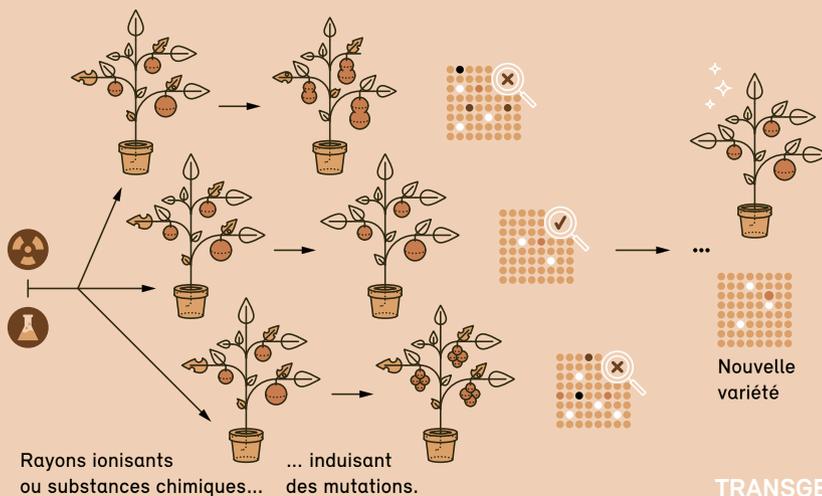
Martina Munz, présidente de l'Alliance suisse pour une agriculture sans génie génétique (SAG), voit la situation autrement : «La mutagenèse classique et les nouveaux processus de sélection végétale ne doivent en aucun cas être considérés comme comparables. Les technologies de correction du génome permettent d'entreprendre simultanément plusieurs modifications sur une même cellule. Ainsi, des groupes entiers de gènes ayant

LES PROCÉDÉS DE SÉLECTION VÉGÉTALE



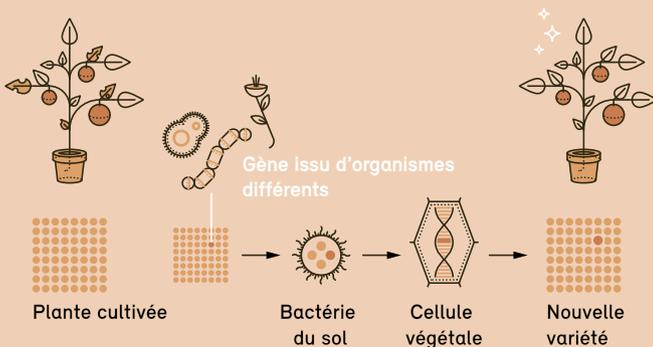
CROISEMENT

La sélection par croisement vise à réunir les caractéristiques des deux parents chez les descendants. Cependant, des caractéristiques ou des gènes non souhaités apparaissent simultanément. C'est pourquoi les descendants doivent à nouveau être croisés avec la plante d'origine (rétrocroisement) en éliminant à chaque étape les individus présentant des caractéristiques indésirables, jusqu'à obtenir uniquement la lignée souhaitée.



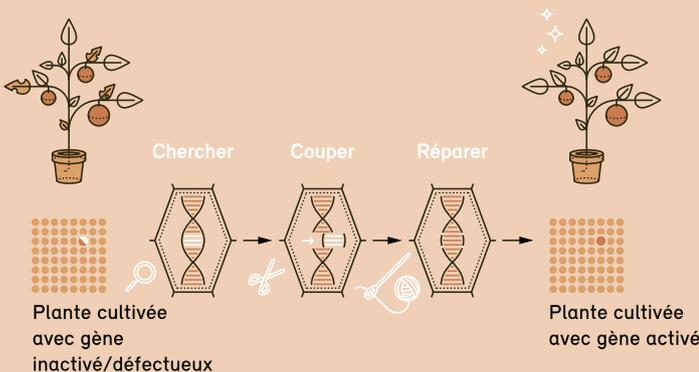
MUTAGENÈSE CLASSIQUE

Elle consiste à produire artificiellement des mutations aléatoires dans le génome des plantes. Celles-ci peuvent être induites par des substances chimiques ou des rayons ionisants. La majorité des mutations ont des conséquences nuisibles, voire mortelles pour la plante. Cette technique fait néanmoins aussi apparaître de nouvelles caractéristiques intéressantes. Qui plus est, la disparition de certains gènes permet d'en savoir plus sur leur importance et leur mode de fonctionnement.



TRANSGÉNÈSE (GÉNIE GÉNÉTIQUE CLASSIQUE)

Sont désignées comme transgéniques (du latin *trans*, « de l'autre côté ») des plantes dans lesquelles des gènes provenant d'organismes étrangers (p. ex. bactéries) ont été introduits. Pour effectuer ce transfert, des séquences d'ADN données sont tout d'abord combinées dans un tube à essai pour former une construction génétique. Cette construction est ensuite introduite au hasard dans le génome de l'organisme récepteur. Des fragments d'ADN sont ainsi injectés dans des cellules afin d'être intégrés au génome de la plante. Ils sont soit propulsés directement dans les cellules, soit transférés par un vecteur (microorganismes). Dans le cas des plantes cisgéniques (du latin *cis*, « du même côté »), le gène transmis provient de la même espèce que l'organisme récepteur ou d'une espèce avec laquelle la plante peut être croisée.



ÉDITION GÉNOMIQUE

Ce terme désigne plusieurs procédés de biologie moléculaire qui permettent d'opérer des modifications ciblées dans des séquences d'ADN. Les principaux sont les « ciseaux moléculaires programmables » (p. ex. CRISPR/Cas, voir encadré page 9) et la « mutagenèse dirigée par oligonucléotides » (ODM en anglais). Ils permettent littéralement de réécrire certaines séquences. Leur point commun : utiliser les mécanismes de réparation propres à la cellule pour induire les modifications souhaitées dans le génome.

une structure identique ou similaire peuvent être modifiés en une seule étape, ce qui permet de créer un organisme entièrement nouveau, possédant des propriétés n'ayant encore jamais existé sous cette forme.» De plus, les chercheurs n'auraient pour l'instant que peu de connaissances sur les processus intracellulaires que pourraient déclencher ces manipulations. D'après Martina Munz, les techniques sont encore trop récentes pour disposer d'une analyse complète des risques et d'une expérience sur le long terme. Par conséquent, la SAG a rédigé une pétition à l'intention du Conseil fédéral et du Parlement, demandant que ces nouveaux procédés et les organismes qui en sont issus soient soumis à la loi sur le génie génétique.

«Ces techniques sont trop récentes pour disposer d'une analyse complète des risques et d'une expérience sur le long terme.»

Martina Munz | Alliance suisse pour une agriculture sans génie génétique

Les juges de la Cour de justice européenne ont énoncé des motifs similaires: en juillet 2018, dans le cadre d'un précédent, ils ont conclu que les plantes corrigées génétiquement relèvent strictement des règles du droit européen relatif au génie génétique et nécessitent une autorisation au même titre que les OGM classiques. Les juges ont avancé que l'expérience dans le domaine des nouvelles techniques de sélection végétale n'était pas encore suffisante. Ils ont également évoqué des «risques comparables» à ceux inhérents aux méthodes classiques du génie génétique telles que la transgénèse. L'association scienceindustries n'est pas d'accord: «La décision a été prononcée sans tenir compte des bases scientifiques dépassées sur lesquelles se fonde la législation européenne en matière de génie génétique», explique Jan Lucht. «Le droit européen n'a pas suivi

les évolutions fulgurantes dans ce domaine et il bloque maintenant des solutions qui pourraient résoudre des problèmes pressants de l'agriculture durable grâce, par exemple, à des variétés résistantes à la chaleur ou aux maladies fongiques, qui nécessitent moins de pesticides.»

Des risques à catégoriser

La loi fédérale sur le génie génétique, entrée en vigueur en 2003, date d'une époque où les ciseaux génétiques étaient encore inconnus. Les OGM y sont définis comme des «organismes dont le matériel génétique a subi une modification qui ne se produit pas naturellement, ni par multiplication, ni par recombinaison naturelle.» La manière dont doit être réglée, dans la législation actuelle, la question des plantes sélectionnées par édition génomique fait débat. C'est pourquoi le Conseil fédéral a chargé les offices fédéraux compétents d'examiner si des adaptations sont nécessaires dans le droit en vigueur. Ce faisant, il tiendra compte du principe de précaution et de l'analyse des risques. Les services compétents doivent désormais clarifier la manière de catégoriser les risques que représentent ces méthodes (et les produits qui en sont issus) vis-à-vis des êtres humains, des animaux et de l'environnement.

Beat Keller, professeur à l'Université de Zurich, est favorable à une réglementation différenciée. «On ne peut pas mettre dans un même panier les différentes techniques et leurs impacts, ni placer sur le même plan les risques des nouvelles techniques et ceux des techniques génétiques classiques. Avec le système CRISPR/Cas, on peut corriger ou inactiver un gène unique, mais on peut aussi échanger un gène avec un allèle (variante d'un gène, n.d.l.r.) d'une plante sauvage apparentée, inactiver des familles entières de gènes ou insérer de nouvelles séquences génétiques. Ces interventions ne sont pas comparables en termes de risques.» Jusqu'à présent, les techniques employées consistaient surtout à supprimer certains gènes. Depuis près de 50 ans, les méthodes

classiques de mutagenèse n'auraient ainsi eu aucun effet négatif connu sur l'environnement. En outre, on dispose aujourd'hui d'un bon instrument de contrôle grâce au séquençage de l'ADN. « Cela permet de vérifier si d'autres mutations indésirables se sont produites. »

« Il est peu probable que les plantes issues de l'édition génomique comportent plus de risques que les techniques de sélection classiques. »

Jan Lucht | scienceindustries

Les chercheurs fuient la Suisse

Cette réglementation touche aussi l'industrie et la recherche en Suisse: « En raison des mécanismes régulateurs et sociétaux défavorables, les grands semenciers ont délocalisé hors de Suisse et d'Europe leurs départements de recherche et développement dans le domaine de la biotechnologie végétale », explique Jan Lucht, de scienceindustries. « Cet état de fait a été scellé par une réglementation restrictive. Et de petites entreprises de sélection végétale dynamiques, devenues des moteurs d'innovation aux États-Unis, n'ont plus aucun intérêt à s'implanter en Suisse. » Même dans les hautes écoles suisses, la recherche en matière de technologies génétiques appliquées aux plantes agricoles recule depuis plusieurs années. L'édition génomique n'est quasiment pas utilisée dans la sélection végétale. « C'est un contraste frappant par rapport à l'évolution internationale », constate Jan Lucht. « Un aperçu de la situation actuelle montre que 102 applications touchant 33 types de plantes agricoles et ornementales sont déjà répertoriées comme 'adaptées au marché', voire comme 'prêtes à être commercialisées'. »

Martina Munz, de l'association SAG, souhaite quant à elle que la recherche prenne une nouvelle direction: « La politique de la recherche, aussi

bien en Suisse qu'en Europe, se concentre depuis des décennies uniquement sur les nouvelles techniques de sélection génétique. Trop peu de recherches prennent systématiquement en compte le principe de précaution. »

Le principe de précaution doit prévaloir

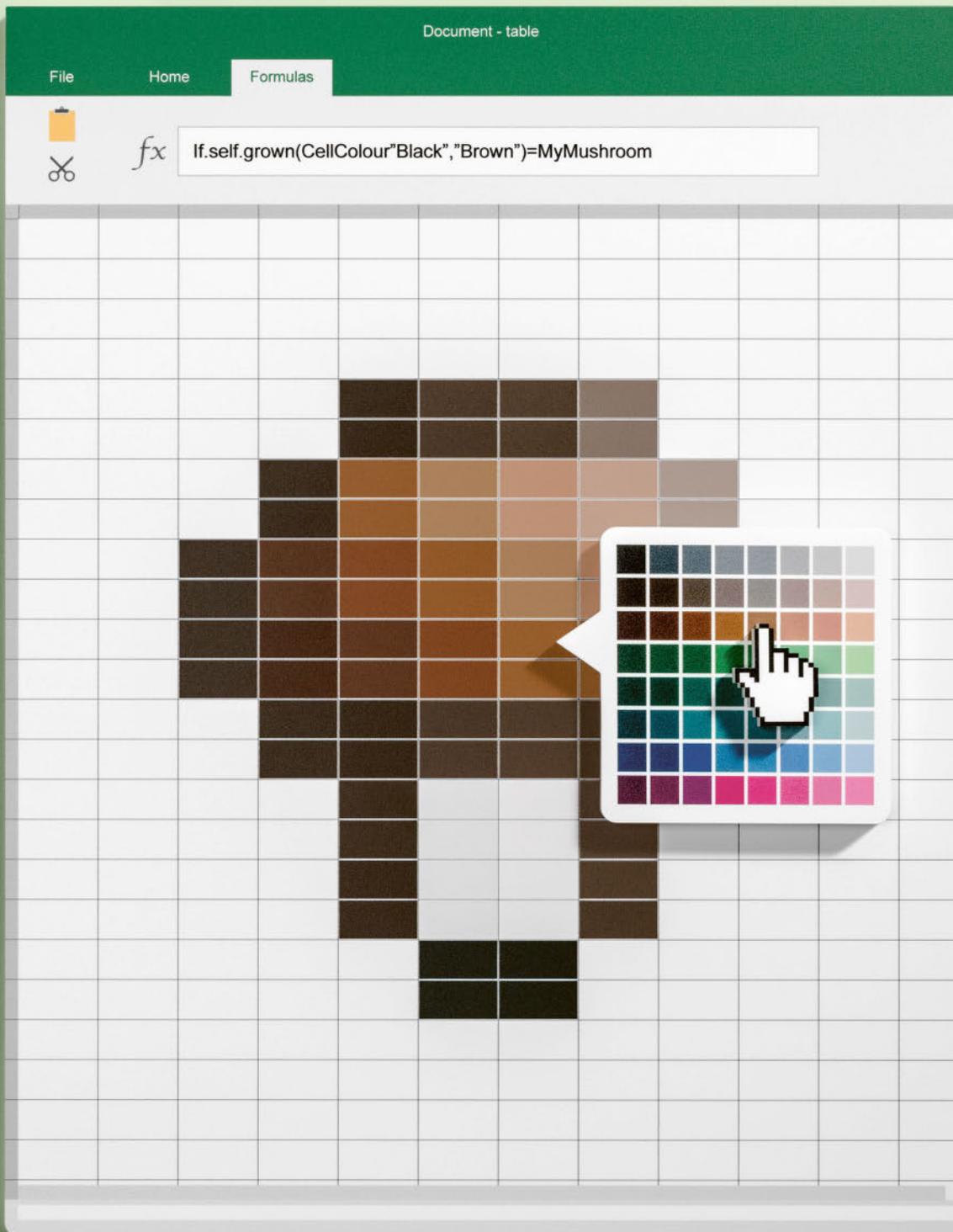
La Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain (CENH) reconnaît là aussi un besoin de recherche, plus précisément « une obligation d'investigation afin de réduire l'incertitude de façon à permettre une évaluation appropriée ». Dans son rapport de 2018, elle constate que les nouvelles techniques de génie génétique ne peuvent pas être considérées comme des procédés ayant fait leurs preuves et dont les risques sont connus et maîtrisables. Jusqu'à présent, on ignore comment ces OGM d'un nouveau genre interagissent avec le milieu naturel. Toutefois, comme les plus infimes modifications sont susceptibles d'entraîner des dégâts considérables dans des systèmes aussi complexes que notre environnement, les nouvelles biotechnologies devraient être soumises au principe de précaution. La CENH considère que la charge de la preuve devrait incomber à ceux dont le commerce laisse craindre des conséquences graves. « Ils doivent prouver de manière plausible que ces effets néfastes sont extrêmement improbables et absurdes d'un point de vue scientifique. »

La discussion se poursuivra désormais sur la scène politique: le Conseil fédéral entend définir les éléments-clés relatifs à l'adaptation de la législation à la fin de l'été 2019 et fera élaborer un modèle de procédure de consultation sur cette base.

Pour en savoir plus

www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-03

Christoph Lüthi | Section Biotechnologie | OFEV
christoph.luethi@bafu.admin.ch



Chacun peut-il créer ses propres organismes ?

Biohacking

Le génie génétique se démocratise

Un nombre croissant de biologistes amateurs mènent des expériences dans leur garage, leur cave ou leur salon en recourant au génie génétique. Une étude est en cours afin de déterminer si la biosécurité est assurée. Texte: Peter Bader

Vers la fin de l'entretien, la question s'impose : « Êtes-vous un rebelle ? » Marc Dusseiller répond sans hésitation : « Oui, on peut le dire. » Le terme paraît cependant plus dangereux qu'il ne l'est en réalité. En effet, ce Schaffhousois de 43 ans sort des sentiers battus. Après un doctorat en sciences des matériaux et nanobiosciences, il a effectué un postdoc en robotique. « Toujours très intéressé par le travail interdisciplinaire », il ne pouvait imaginer suivre une carrière classique de chercheur dans un cadre thématique restreint. Depuis son départ de l'université en 2006, il enseigne en indépendant et organise des ateliers. Il s'est par ailleurs intéressé à la musique électronique et a cofondé la Société suisse d'art mécatronique, basée à Zurich.

La biologie participative en plein essor

Mais il est avant tout l'un des pionniers suisses du mouvement du biohacking. Avec l'Indien Yashas Shetty, l'Anglais Andy Gracie et le Lucernois Urs Gaudenz, il a fondé en 2009 le réseau international Hackteria. Hors du cadre des laboratoires professionnels, le projet vise à rendre accessible à un large public le monde des microorganismes (bactéries, algues, champignons ou virus) et, plus généralement, la recherche en biologie. Le mot « hacking » n'a donc rien à voir dans ce contexte avec la volonté criminelle de forcer l'accès d'un ordinateur, raison pour laquelle le terme de « biologie participative et citoyenne » est parfois employé. Le mouvement est né il y a dix ans environ à Boston (États-Unis). Le but, explique Marc Dusseiller, est de sortir la recherche scientifique de l'université pour y impliquer

la population. « Les adeptes de la biologie participative explorent leur environnement ou leur propre corps, ou réalisent des œuvres d'art. Ils cherchent donc à étendre leurs connaissances personnelles, en dehors du cadre scientifique ordinaire. »

Le mouvement du biohacking rassemble des biologistes aussi bien professionnels qu'amateurs, unis par le plaisir de l'expérimentation. Beaucoup d'entre eux recherchent également l'échange et le contact avec d'autres passionnés. Ils se rencontrent dans des garages, des appartements et des laboratoires privés, et organisent des ateliers et des manifestations publiques.

Une webcam transformée en microscope

Pour permettre l'exploration du vivant avec des moyens aussi simples que possible, Marc Dusseiller fournit par exemple un mode d'emploi en accès libre expliquant comment transformer une webcam en microscope. « Ce microscope à fabriquer soi-même revient à un prix dérisoire par rapport au coût d'un appareil professionnel et permet déjà une recherche approfondie. Pour moi, c'est une question de démocratisation de la science. »

Marc Dusseiller propose par exemple des ateliers de fabrication de fromage avec de la chymosine, la principale enzyme de la présure, extraite de l'estomac des veaux. Il est toutefois aussi possible de produire cette enzyme à partir de levures ou de moisissures modifiées à l'aide de ciseaux génétiques comme le CRISPR/Cas. Ces ateliers ont principalement pour but, explique Marc Dusseiller, de « démystifier tout le bruit qui entoure actuellement les



Marc Dusseiller a quitté l'université en 2006 pour devenir un pionnier suisse du biohacking.

Photo: Flurin Bertschinger | Ex-Press | OFEV

technologies d'édition du génome, et d'engager le dialogue sur leur utilisation publique en vue d'un monde meilleur ».

En collaboration avec divers établissements de formation étrangers, Marc Dusseiller a également réalisé des expériences consistant à intégrer dans des bactéries des protéines fluorescentes vertes ou des composés aromatiques, à l'aide de procédés génétiques.

Des kits en vente sur internet

Les expériences de génie génétique font partie intégrante du mouvement du biohacking. Mais on aurait tort de s'en étonner car après tout, les écoliers suisses mènent aussi des expériences en labo consistant à introduire de l'ADN dans une culture pour produire des bactéries non pathogènes. Il est par ailleurs possible de commander sur internet des « kits CRISPR » (ciseaux génétiques et souches bactériennes) pour 150 francs environ. Cependant, dès lors que les particuliers se mettent à bricoler des OGM dans leur cuisine ou

leur garage, la question de la biosécurité se pose évidemment. Mais les craintes de voir des bactéries dangereuses ou des virus tueurs s'échapper de ces laboratoires amateurs sont, de l'avis de Marc Dusseiller, nettement exagérées dans les médias. Il n'est pas si simple de cultiver des virus de ce type, voire de les générer. « Aucun biohacker ne voudrait tenter une telle expérience, car il sait qu'il se mettrait tout d'abord en danger lui-même. »

Néanmoins, les « biologistes de garage » sont tenus de respecter les mêmes normes de sécurité que tous les laboratoires de recherche et d'industrie. Parmi les règles de base, il importe de tuer, à l'issue de l'expérience, tous les organismes utilisés ou, plus prosaïquement, de ne jamais aspirer un liquide dans une pipette avec la bouche. Quiconque mène des expériences avec des OGM en Suisse est tenu d'en informer l'OFEV. « Nous observons les milieux du biohacking depuis plusieurs années et n'avons aucune raison de penser qu'ils représentent un danger », remarque Basil Gerber, chef suppléant de la section Biotechnologie de l'OFEV. Étant donné que nombre de biohackers

sont présents sur les plateformes sociales, la transparence est relativement élevée. Un code de conduite européen oblige par ailleurs les acteurs du mouvement à respecter les réglementations et les lois.

« Nous n'avons aucune raison de penser que les biohackers représentent un danger. »

Basil Gerber | OFEV

L'OFEV mène néanmoins une étude nationale sur deux ans consacrée à cette thématique, en coopération avec l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) et divers cantons. « Nous voulons analyser le fonctionnement de ce mouvement très dynamique et déterminer dans quelle mesure il pourrait s'avérer nécessaire d'intervenir », explique Daniel Fischer, chef de la section Biosécurité du service des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air (AWEL) du canton de Zurich, qui coordonne l'étude. Les premiers résultats sont attendus fin 2019.

Qualité rime avec sécurité

Marc Dusseiller estime le nombre de biohackers en Suisse à « deux ou trois douzaines ». Il ne s'agit

aucunement de remettre en question la validité de leur travail, insiste Basil Gerber, de l'OFEV. « Mais ce n'est qu'à partir du moment où la biosécurité est assurée et où les normes techniques minimales sont respectées que l'on peut réaliser des expériences de qualité, et faire avancer ainsi le débat sur le génie génétique ou contribuer légitimement à la recherche scientifique. »

Plutôt que de viser ce dernier objectif, Marc Dusseiller imagine par exemple « une brasserie bio qui trouverait un nouveau créneau en créant une bière fluorescente verte ». Mais il souhaite surtout relancer le débat sur les technologies génétiques car, selon lui, « plus un large public accédera à ces technologies, plus il pourra développer avec le temps des projets passionnants et véritablement novateurs, qui profiteront à la société tout entière et n'enrichiront pas seulement quelques grands groupes industriels ».

Pour en savoir plus

www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-04

*Basil Gerber | Section Biotechnologie | OFEV
basil.gerber@bafu.admin.ch*

Expérimenter ensemble

Outre le site hackteria.org de Marc Dusseiller, la Suisse compte plusieurs associations de biohackers, comme le Hackarium, dans la région de Lausanne, ou le GaudiLabs, à Lucerne. Dans son laboratoire « L'éprouvette », l'Université de Lausanne offre la possibilité aux enfants et aux adultes de réaliser eux-mêmes des expériences avec de l'ADN sous la supervision d'un expert et de débattre de sujets de société touchant au génie génétique et aux OGM. Le « Life Science Zurich Learning Center » de l'Université et de l'EPF de Zurich, ainsi que le « Bioscope » de l'Université de Genève proposent des événements et des activités du même type.



Quand le maïs n'est-il plus du maïs ?

Contrôle

Traquer l'indécelable

À l'heure actuelle, il est pratiquement impossible d'identifier les plantes issues des nouvelles techniques de sélection génétique. L'OFEV a chargé le laboratoire cantonal de Bâle-Ville de découvrir s'il est possible de concevoir des méthodes de détection. **Texte :** Christian Schmidt et Nicolas Gattlen

Le bruissement d'ailes des pigeons, devant les grandes fenêtres, se fait de plus en plus perceptible : il l'est d'autant plus que Claudia Bagutti et Melanie Schirrmann, installées dans la bibliothèque du laboratoire cantonal de Bâle-Ville (KLBS), réfléchissent en silence à des questions auxquelles personne n'a encore trouvé de réponse.

« Dans le cas du genome editing, il est impossible de distinguer les modifications volontaires des mutations qui se produisent naturellement dans chaque plante. »

Claudia Bagutti | Laboratoire cantonal de Bâle-Ville

Claudia Bagutti est directrice du laboratoire de sécurité biologique ; Melanie Schirrmann est sa plus proche collaboratrice. Jusqu'à récemment, c'est-à-dire jusqu'au développement, en 2012, des « ciseaux génétiques » baptisés CRISPR/Cas, le travail des deux femmes était réglé comme du papier à musique. Il s'agissait, entre autres, de contrôler la présence de modifications génétiques classiques dans de la luzerne ou du colza (voir graphique page 19) prélevés dans les ports ou les gares. Ces plantes étaient issues de semences, le plus souvent importées d'outre-Atlantique sous forme d'impuretés dans du blé dur et disséminées à l'air libre durant le transport. S'il était prouvé que du matériel génétique étranger

avait été inséré dans les plantes, celles-ci devaient être détruites, conformément à la réglementation. La palette des modifications génétiques possibles était connue, ce qui permettait aux institutions concernées – à l'instar du KLBS – de développer des méthodes fiables pour les détecter. Le résultat était, lui aussi, sans ambiguïté : soit les plantes étaient génétiquement modifiées, soit elles ne l'étaient pas.

Une aiguille dans une botte de foin

Cette époque est désormais révolue. La recherche a ouvert de nouvelles voies pour intervenir sur le génome des êtres vivants. Les technologies de *genome editing*, ou édition du génome (voir graphique page 19), offrent un tel potentiel pour le développement de nouveaux produits que la recherche évoque une possible « révolution agricole ». Or ce sont justement ces techniques qui donnent actuellement du fil à retordre à Claudia Bagutti et Melanie Schirrmann. La raison : à la demande de l'OFEV, le KLBS doit établir s'il est possible de mettre au point des méthodes de détection des plantes ainsi modifiées, ce qui permettrait de contrôler leur entrée en Suisse. L'OFEV a choisi ce laboratoire en raison de son expérience de près de 20 ans dans le développement de méthodes d'analyses des organismes génétiquement modifiés (OGM).

Mais comment identifier des modifications génétiques totalement inconnues ? À la différence de l'Union européenne (UE) et de la Suisse, de nombreux pays comme les États-Unis et le Canada ne considèrent pas les plantes issues de l'édition génomique comme des OGM. Elles ne sont par conséquent

soumises à aucune obligation d'étiquetage et de traçabilité. Comme les entreprises nord-américaines ne sont donc pas contraintes d'indiquer les modifications génétiques, cette quête revient à chercher une aiguille dans une botte de foin: on sait qu'elle existe, mais il est extrêmement difficile de la trouver.

Mutations naturelles ou artificielles?

« Contrairement au génie génétique classique, les interventions exécutées dans le cadre de l'édition génomique ne sont pas identifiables », explique Claudia Bagutti. « En effet, il est impossible de différencier ces modifications volontaires des mutations qui se produisent naturellement dans chaque plante. Malgré leurs répercussions souvent importantes, les modifications génétiques apportées sont si infimes qu'elles se perdent dans le volume des modifications naturelles. » Selon la directrice du laboratoire, les méthodes d'analyse utilisées jusqu'à présent ne permettent pas de mettre en évidence les interventions artificielles, et il n'existe aucune piste concrète dans ce sens.

Claudia Bagutti et Melanie Schirrmann font face aux mêmes problèmes que leurs collègues œuvrant dans les laboratoires de référence de l'UE, avec lesquels elles collaborent d'ailleurs

étroitement. Les spécialistes déterminent combien de plantes issues de l'édition génomique sont autorisées et classées comme « organismes non génétiquement modifiés » rien qu'aux États-Unis (ils en ont actuellement répertorié environ 70, du maïs plus riche en amidon jusqu'aux pommes et aux champignons qui ne brunissent pas, en passant par le colza résistant aux herbicides). Ils observent le marché nord-américain et se préparent déjà à ce qu'un jour ces plantes arrivent dans l'UE et en Suisse sous forme d'impuretés dans des importations agricoles. Par ailleurs, ils cherchent des méthodes qui permettraient de les identifier. En vain jusqu'à aujourd'hui: « Tout le monde est sur le qui-vive », observe Claudia Bagutti.

L'espoir subsiste

La rencontre dans le laboratoire cantonal se transforme alors en discussion autour des opportunités et des risques de la biologie moléculaire moderne – plus précisément autour de la question de savoir pourquoi les grands groupes agricoles d'outre-Atlantique ne sont pas soumis à l'obligation de déclarer où et comment ils interviennent sur le matériel génétique quand ils pratiquent le *genome editing* (dans le cas des modifications génétiques courantes jusqu'à présent, les producteurs de

Séparer les flux de marchandises dès le départ

Actuellement, il n'est pas possible d'identifier en laboratoire les plantes obtenues par édition génomique. « Ce n'est qu'en sachant sur quelle petite partie du génome les modifications ont été apportées qu'on peut les reconnaître », affirme Markus Hardegger, chef du secteur Ressources génétiques et technologies à l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG). Selon lui, même en l'absence de méthodes de détection fiables et précises, il est toutefois possible d'assurer la séparation du flux des marchandises et de garantir la liberté de choix – pour autant que les informations à cet égard soient accessibles au public. Markus Hardegger évoque des situations similaires dans le cas d'autres labels: « De nombreux labels ou critères de labellisation, à l'instar des labels bio ou fairtrade, ne peuvent pas, à ce jour, être contrôlés par des analyses. Mais si les informations relatives à l'édition génomique sont disponibles au début de la chaîne, chaque label peut conserver sa crédibilité en assurant la séparation du flux des marchandises. »



Les scientifiques du laboratoire cantonal de Bâle-Ville cherchent une méthode pour identifier les plantes modifiées par édition du génome.

Photo : Kilian Kessler | Ex-Press | OFEV

semences ont dû développer des méthodes de détection en conséquence). Il est ainsi difficile pour les pouvoirs publics de l'UE et de la Suisse d'assumer leurs responsabilités en tant qu'organes de contrôle.

Cependant, l'espoir subsiste, car des esprits ingénieux ont toujours réussi à résoudre ce qui paraissait insoluble. En témoignent les portraits qui trônent fièrement dans la cage d'escalier du laboratoire cantonal : les anciens chimistes cantonaux de Bâle-Ville, avec leurs barbes soignées, ont dû venir à bout d'épiciers frauduleux qui mélangeaient de la farine de maïs ou de millet bon marché à la farine blanche. Ils ont eu à confondre des paysans qui vendaient de manière illicite du lait écrémé ou dilué à l'eau. Après la catastrophe de Tchernobyl, leurs successeurs ont été confrontés au défi de protéger la population des denrées alimentaires contaminées. « Et, lorsque le génie génétique est apparu, nous ne savions pas comment nous y prendre pour déceler les OGM. Il s'agissait d'un énorme défi. Or cette détection fait aujourd'hui partie de la routine », explique Claudia Bagutti.

Un superordinateur à la rescousse ?

Claudia Bagutti compte donc sur l'évolution technologique future. Une évolution qui est notamment liée à la puissance de calcul des ordinateurs et à l'étroite collaboration entre les différents organes de contrôle : « Les appareils capables d'analyser, sur un temps relativement court, des milliards de paires de bases permettront peut-être de distinguer les mutations naturelles des mutations apportées par l'être humain sur le génome d'une plante. Mais, en guise de contrôle, il faudrait disposer à cet effet d'une base de données incluant l'ensemble des végétaux 'corrigés' et 'non corrigés', ce qu'une institution ne pourrait pas mettre en œuvre à elle seule. »

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-05

Anne Gabrielle Wüst Saucy | Cheffe de la section
Biotechnologie | OFEV
annegabrielle.wuestsaucy@bafu.admin.ch



Les recettes des technologies génétiques sont-elles bonnes ?

Aliments OGM

La Suisse n'est pas une île

À l'échelle mondiale, l'agriculture et l'industrie ont de plus en plus souvent recours au génie génétique dans la production alimentaire. L'assiette des consommateurs suisses s'en trouve indirectement touchée. Texte : Mike Sommer

« Actuellement, en Suisse, on ne trouve pratiquement pas d'aliments génétiquement modifiés dans le commerce. » Cette phrase, tirée du site internet de l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV), devrait tranquilliser les consommateurs. Dans une enquête nationale menée en 2010, ceux-ci se sont en effet montrés méfiants à l'égard de ce type de produits. En 2005 déjà, une nette majorité des citoyens suisses s'était exprimée en faveur de l'initiative populaire « Pour des aliments produits sans manipulations génétiques ». Hormis à des fins de recherche, la culture d'organismes génétiquement modifiés (OGM) en Suisse reste interdite jusqu'à l'échéance, en 2021, d'un moratoire déjà prolongé plusieurs fois.

L'importation de denrées alimentaires et de fourrage OGM n'est en revanche pas interdite, dès lors qu'une autorisation est accordée par l'OSAV. L'OFEV et l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) sont parties prenantes à la procédure. Les aliments issus de plantes génétiquement modifiées doivent être étiquetés comme tels, quelle que soit leur provenance. Actuellement, trois variétés de maïs et une variété de soja génétiquement modifiées sont autorisées en Suisse pour la consommation alimentaire, auxquelles s'ajoutent quelques additifs et auxiliaires de fabrication qui ne sont soumis à aucune obligation particulière d'étiquetage. Ces produits ne se retrouvent toutefois pas dans le commerce de détail, car la branche est consciente des réticences de la population et veut éviter de ternir son image. Il en va de même dans le domaine de l'agriculture : les paysans pourraient

utiliser les OGM autorisés par la Confédération comme fourrage, mais ils y renoncent.

Une situation contradictoire

La production de fourrage OGM est toutefois largement répandue dans de nombreux pays, notamment en Amérique du Nord et du Sud, et la viande d'animaux nourris aux OGM arrive également jusqu'en Suisse. Étant donné que cette viande ne contient aucune trace d'OGM et qu'elle n'est donc pas considérée comme une denrée alimentaire génétiquement modifiée, elle peut être vendue sans autorisation ni étiquetage particuliers. La population suisse consomme ainsi de grandes quantités de viande dont la production à l'étranger recourt vraisemblablement aux OGM. Il n'est toutefois pas certain qu'elle en soit consciente. La déclaration obligatoire de l'origine permet, du moins en théorie, d'établir un lien avec une alimentation des animaux à base d'OGM. En principe, seule la viande certifiée biologique garantit l'exclusion de fourrage OGM.

Il en résulte une situation contradictoire : d'une part, la culture de plantes génétiquement modifiées est interdite en Suisse – et les denrées alimentaires et le fourrage OGM restent des sujets tabous en raison d'un manque d'acceptation par la population ; d'autre part, la Suisse importe près de la moitié des aliments consommés dans le pays. Autrement dit, nous profitons aujourd'hui déjà d'une production alimentaire mondiale dans laquelle le génie génétique occupe une place considérable... et gagnera encore en importance à

Les OGM dans l'industrie alimentaire

Les méthodes biotechnologiques modernes ouvrent de toutes nouvelles perspectives à l'industrie alimentaire. Des arômes, édulcorants, vitamines, acides aminés, enzymes et autres substances peuvent être produits pour l'industrie alimentaire à l'aide d'organismes génétiquement modifiés (OGM) tels que des champignons (p. ex. levures) ou des bactéries. Ces substances peuvent être structurellement identiques à celles résultant de processus métaboliques présents dans la nature ou de procédés de synthèse. En tant qu'additifs alimentaires, elles n'ont pas besoin d'étiquetage particulier en Suisse si elles sont entièrement exemptes de microorganismes génétiquement modifiés. La production doit s'effectuer dans un système fermé. Les installations de production et les OGM sont soumis à autorisation.

Les procédés biotechnologiques impliquant des organismes de production génétiquement

modifiés sont employés en Suisse uniquement dans la recherche et le développement, et non dans l'industrie alimentaire. L'entreprise suisse Evolva, qui est parvenue à programmer génétiquement des levures afin qu'elles produisent de la vanilline, fait partie des pionniers. Produite à l'étranger, cette vanilline a été mise sur le marché en 2014 et offre une variante à la vanilline de synthèse ou à la vanille naturelle, cette dernière ne permettant de répondre qu'à environ 1 % de la demande mondiale. Parallèlement à d'autres substances aromatiques, Evolva a développé l'édulcorant EverSweet, désormais autorisé aux États-Unis. Le groupe agroalimentaire Cargill est chargé de sa fabrication et de sa commercialisation. EverSweet est produit avec une levure OGM. Les gènes d'une voie métabolique sont introduits dans la levure, qui produit ensuite les protéines végétales sucrées, et non les protéines amères. (ms)

l'avenir. Cette production trouve son origine dans l'agriculture intensive, qui permet d'obtenir des rendements élevés pour une charge de travail relativement faible, et donc des prix bas. À cet égard, le génie génétique offre des solutions attrayantes, par exemple avec des plantes résistantes aux herbicides, aux maladies et aux parasites.

Cependant, malgré ses nombreux avantages, la production à l'aide d'OGM possède également ses zones d'ombre : une étude globale conduite par les services de l'environnement d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse montre que d'une manière générale, les champs contenant des plantes OGM résistantes aux herbicides font justement l'objet d'une plus grande utilisation d'herbicides que les champs cultivés de façon conventionnelle. Par ailleurs, les régions présentant une part d'OGM élevée ont tendance à favoriser davantage les

monocultures et à utiliser moins de surfaces pour la rotation des cultures.

La population suisse tient à distance le génie génétique et ses zones d'ombre, tout en profitant, de façon consciente ou non, des prix bas des aliments produits hors de ses frontières à l'aide de ce même génie génétique. Le rejet, en 2018, des deux initiatives populaires « Pour des aliments équitables » et « Pour la souveraineté alimentaire » a démontré le poids accordé à la question du prix. Comme l'ont indiqué les sondages, l'argument du renchérissement de nombreux aliments en cas d'acceptation a convaincu la majorité des votants.

Plats préparés et aliments transformés

Ce n'est pas uniquement en raison de leur prix que les aliments produits à l'aide du génie génétique

arrivent toujours plus nombreux sur le marché. Le confort des consommateurs, qui recourent facilement aux aliments transformés (*convenience food*), constitue un autre facteur. Ces marchandises contiennent généralement des auxiliaires de fabrication et des additifs afin d'obtenir les propriétés souhaitées (saveur, consistance, standardisation, conservation, etc.). Grâce au génie génétique, bon nombre de ces substances peuvent aujourd'hui être fabriquées à un coût avantageux et en grandes quantités (voir encadré page ci-contre). Actuellement, deux vitamines, deux présures et deux auxiliaires de fabrication issus du génie génétique sont autorisés en Suisse pour la production alimentaire.

Les pommes appelées « Arctic Apples », vendues depuis 2017 aux États-Unis, font également partie de la catégorie *convenience food*. Grâce à une modification du code génétique, les développeurs sont parvenus à réduire l'enzyme naturelle responsable de leur brunissement à la suite d'un choc ou de la découpe. Il a ainsi été possible de commercialiser des tranches de pommes emballées, qui conservent longtemps leur fraîcheur apparente. Le producteur justifie un tel article par le fait que les consommateurs seraient plus prompts à consommer des pommes lorsqu'elles sont proposées en portions de la taille d'une bouchée. Selon

lui, l'Arctic Apple contribuerait en outre à la lutte contre le gaspillage alimentaire, sachant que de grandes quantités de pommes, invendables en raison de leurs taches brunes, sont jetées.

Ciseaux génétiques ou méthode conventionnelle ?

À l'OSAV, on suit attentivement l'évolution de la situation. Michael Beer, vice-directeur, ne croit pas que des aliments produits à l'aide des méthodes classiques du génie génétique – à l'instar de l'Arctic Apple – fassent prochainement leur entrée sur le marché suisse : « En revanche, les nouvelles technologies de l'édition génomique vont nous occuper. Le problème réside dans le fait que nous ne pouvons pas prouver directement si le code génétique d'un organisme a été modifié à l'aide de ciseaux génétiques ou par le biais de méthodes de sélection conventionnelles. »

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-06

Christoph Lüthi | Section Biotechnologie | OFEV
christoph.luethi@bafu.admin.ch

Les contrôles révèlent peu d'abus

Chaque année, les autorités cantonales analysent plusieurs centaines d'échantillons de denrées alimentaires pour savoir s'ils contiennent des OGM. L'OSAV établit une fois par an un rapport présentant les résultats de ces contrôles. Parmi les 493 échantillons analysés en 2017, 59 contenaient des OGM. Dans la grande majorité des prélèvements, leur quantité se situait en dessous du seuil de tolérance applicable aux traces involontaires dans les denrées alimentaires. Dans 37 échantillons, des OGM autorisés ou tolérés en Suisse ont été détectés. Treize échantillons contenaient des OGM non autorisés : dans deux cas, il y avait infraction aux règles de l'étiquetage obligatoire. Les denrées alimentaires contrôlées en premier lieu sont celles qui présentaient un risque accru de contamination aux OGM comme les aliments pour sportifs (barres énergétiques, protéines en poudre), les produits à base de maïs (chips tortillas, farine de maïs, flocons de maïs) et les produits à base de soja (tofu, succédanés de viande, boissons à base de soja). (nig)

Commissions fédérales

Priorité à l'évaluation des risques

Deux commissions extraparlémentaires étudient les questions liées à la biotechnologie. Leurs évaluations contribuent à fournir un éclairage objectif sur les nouvelles technologies utilisées dans ce domaine. Texte : Andreas Bachmann

La Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique (CFSB) et la Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain (CENH) étudient les nouvelles technologies – en particulier les nouvelles techniques de sélection végétale et la biologie de synthèse. L'évaluation des risques est au cœur de leurs réflexions. Leurs contributions permettent de nourrir une discussion étayée par des faits et des arguments, dans le contexte de débats politiques très intenses. Les commissions soutiennent les milieux politiques, l'administration et la population dans leur recherche d'une utilisation adaptée de ces technologies et d'une bonne gestion des opportunités et des risques qui y sont liés.

Biologie synthétique

À la différence des techniques classiques du génie génétique, la biologie synthétique, au sens où l'entend la CFSB, vise, entre autres, à construire des systèmes entièrement artificiels comme de nouvelles voies métaboliques. En matière de réglementation, la priorité consiste à estimer les risques au cas par cas, en se basant sur les dommages potentiels objectifs. Ce faisant, il est également important de déterminer, dans la mesure du possible, s'il s'agit d'un organisme ou d'une substance. C'est un point capital dans l'évaluation des risques car le potentiel de danger tend à diminuer avec le temps dans le cas des substances, alors qu'il reste constant, voire augmente, dans le cas des organismes, du fait de leur multiplication. Dans le cadre de cette évaluation, tous les

critères de risques pertinents – tels que la capacité à rendre un autre organisme malade (pathogénicité) ou la toxicité d'une substance – devraient être pris en compte.

Du point de vue de la CENH, la biologie synthétique repose sur l'idée qu'il est possible de transformer ou de construire des êtres vivants de façon contrôlée et ciblée. Pour autant, cette possibilité dépend de la définition que l'on donne à la « vie ». Le fait que des êtres vivants voient le jour dans le cadre d'un processus naturel ou d'une autre manière n'a aucune influence sur leur statut moral. Le statut qui leur est accordé, notamment en regard de la notion de dignité (ou de « l'intégrité des organismes », telle que définie par la Constitution fédérale), dépendrait alors de la position éthique environnementale défendue. Par ailleurs, la commission constate qu'en raison du manque de données disponibles, l'évaluation objective des risques de la biologie synthétique reste impossible pour l'instant. Face à cette situation, l'éthique impose une prudence particulière dans l'utilisation d'organismes synthétiques. Il convient donc d'appliquer le principe de précaution.

Édition génomique

La CENH s'est intéressée de plus près à la signification du principe de précaution dans le cadre du droit environnemental et à la justification, du point de vue éthique, des idées qui en découlent. Elle mène ces réflexions en regard des nouvelles technologies désignées sous le terme d'édition génomique (*genome editing*). Elle est d'avis que,

Deux commissions indispensables

La Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique (CFSB) a pour mission de conseiller les autorités suisses en matière de protection de l'être humain, des animaux et de l'environnement dans les domaines de la biotechnologie et du génie génétique. La CFSB :

- conseille le Conseil fédéral et les offices fédéraux dans l'élaboration des lois, des ordonnances, des directives et des recommandations ;
- conseille les autorités fédérales et cantonales dans la mise en œuvre des réglementations ;
- prend position par rapport aux demandes d'autorisation et publie des recommandations concernant les mesures de sécurité relatives à la manipulation des organismes génétiquement modifiés ou pathogènes ;
- évalue les études cliniques de thérapie génique ;
- informe le public au sujet des acquis importants en matière de biosécurité.

La Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain (CENH) est chargée de suivre et d'évaluer du point de vue éthique les développements et les applications de la biotechnologie et du génie génétique dans le domaine non humain. Son mandat couvre l'ensemble des applications de la biotechnologie et du génie génétique portant sur les animaux, les plantes et les autres organismes, ainsi que leurs effets sur l'homme et l'environnement. La CENH :

- conseille le Conseil fédéral et l'administration dans l'élaboration de la législation relative à la biotechnologie dans le domaine non humain et soumet des propositions en vue de futurs projets législatifs ;
- conseille les autorités fédérales et cantonales en matière d'exécution des dispositions du droit fédéral ;
- informe le public au sujet des questions et des thèmes qu'elle traite et encourage le dialogue sur les opportunités et les risques de ces technologies.

sur le plan éthique, l'élément décisif n'est pas la qualification juridique de ces techniques et de leurs produits, mais plutôt le fait que, au même titre que les technologies génétiques classiques, l'édition génomique peut entraîner des dommages (importants), en particulier dans un système aussi complexe que notre environnement. Par conséquent, tant que des lacunes empêchant une évaluation adéquate des risques subsisteront, ces méthodes doivent être soumises au principe de précaution. Il en résulte que les utilisateurs de ces nouvelles technologies doivent prouver, étape par étape, que les risques pour les êtres humains et l'environnement se situent dans un domaine considéré comme acceptable. La CENH estime par ailleurs que ces réflexions s'appliquent de façon comparable à tous les procédés désignés sous le terme de « technologies de sélection végétale ».

La CFSB s'est penchée elle aussi avec intérêt sur les nouvelles techniques de sélection végétale. Leur nouveauté, selon elle, résiderait dans le fait que, même si des méthodes de génie génétique sont utilisées, la présence de séquences

génétiques étrangères ne peut souvent plus être prouvée dans le produit final. Ces plantes ne peuvent donc pas être soumises aux mêmes tests que les organismes génétiquement modifiés pour détecter un gène ou un segment de gène étrangers. Certaines plantes issues de ces techniques sont impossibles à différencier des plantes sélectionnées de manière conventionnelle. Aussi, la CFSB recommande qu'elles fassent l'objet d'une même évaluation concernant leur sécurité par rapport à l'environnement, aux utilisateurs et aux consommateurs. Pour la CFSB, l'appréciation de la sécurité biologique du produit s'avère donc plus importante que la méthode de production. La commission considère ainsi que l'approche de la législation actuelle, centrée sur les procédés, devrait être remplacée par une approche axée sur les produits.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-07

Andreas Bachmann | Division Sols et biotechnologie | OFEV
andreas.bachmann@bafu.admin.ch



Une espèce animale vaut-elle plus qu'une autre ?

Forçage génétique et protection de la nature

Solution miracle ou boîte de Pandore ?

Dans certains domaines précis de la protection des espèces, les nouvelles technologies génétiques laissent entrevoir des pistes intéressantes. Il apparaît cependant que les manipulations génétiques continueront à ne jouer qu'un rôle secondaire dans ce cadre. **Texte : Gregor Klaus**

Les amphibiens sont les plus anciens vertébrés terrestres de la planète. Leur existence est aujourd'hui menacée. En effet, leurs habitats ont été en grande partie détruits et le changement climatique n'améliore rien. Depuis les années 1990, leur mortalité a encore augmenté, du fait notamment de la chytridiomycose, un champignon pathogène qui affecte la peau et s'avère la plupart du temps mortel. Selon les recherches récentes, ce champignon originaire de Corée se serait répandu, par le biais du commerce des animaux, à travers le monde entier, où il anéantit des populations entières de grenouilles, crapauds et tritons. Plus d'une centaine d'espèces, surtout tropicales, ont ainsi aujourd'hui totalement disparu. Il s'agit sans doute du plus grand déclin provoqué par une maladie jamais observé dans le règne des vertébrés.

La génétique au secours des amphibiens ?

Cette épidémie fongique semble difficile à enrayer. En Europe aussi, elle a frappé les populations d'amphibiens, réduites et fragmentées. Si les grenouilles vivant en terrarium peuvent être traitées aux fongicides, il est impossible à ce jour d'assurer la protection des animaux sauvages sans risques pour l'environnement. Mais, aussi surprenant que cela puisse paraître, leur salut pourrait bientôt venir des dernières découvertes du génie génétique.

La technologie génétique a mis au point des procédés permettant d'endiguer le recul de la biodiversité, a priori faciles à mettre en œuvre et donc très intéressants, notamment dans le cas

de la chytridiomycose. Le principe consiste soit à utiliser des ciseaux génétiques de type CRISPR/Cas pour couper dans le patrimoine génétique les gènes qui rendent les amphibiens vulnérables à ce champignon, soit à implanter directement un gène résistant. Ensuite, il s'agit d'insérer dans le génome une « usine à ciseaux génétiques », ce qui permet, en contournant les lois de l'hérédité de Mendel, de garantir que toutes les générations suivantes héritent de la modification (appelée forçage génétique, voir page 9). Il serait ainsi possible de produire un grand nombre d'animaux selon ce processus, avant de les lâcher dans la nature... De cette manière, l'espèce, bien que génétiquement modifiée, serait sauvée puisque le champignon n'aurait plus de prise sur elle.

Le miracle du forçage génétique

Jusqu'à l'étape « production d'animaux », tout ceci n'a rien d'un récit de science-fiction. Aujourd'hui en effet, des recherches sur le forçage génétique et ses applications sont menées dans le monde entier. Les chercheurs ne manquent pas d'idées pour venir au secours de la biodiversité. Il serait ainsi envisageable de manipuler génétiquement, sur toutes les îles du monde, les espèces introduites de rats et de souris qui menacent leurs congénères endémiques, de manière à rendre les femelles infertiles et à les faire disparaître sans recourir aux poisons et aux pièges. Une autre idée serait de renforcer génétiquement les coraux ou d'autres organismes pour les rendre plus résistants aux changements climatiques. Les ciseaux

génétiques permettraient également d'augmenter la diversité génétique chez des espèces menacées ne présentant plus que de faibles effectifs. Il serait même imaginable, quoique peu judicieux, de faire revivre des espèces disparues (voir encadré).

Que de promesses en perspective pour les protecteurs de la nature qui s'efforcent depuis un siècle de préserver la biodiversité de la planète ! Les défenseurs de l'environnement prennent acte, non sans intérêt, de ces technologies et des perspectives qu'elles offrent, mais ils se montrent également critiques. Trente personnalités connues pour leur engagement, telles que Jane Goodall et Paul Watson, ont appelé en 2016 à ne pas faire la promotion de technologies comme le forçage génétique, potentiellement dangereuses tant qu'elles n'auront pas fait l'objet de tests complets sur leurs effets indésirables ou leur impact éthique et social. La principale source de risque non maîtrisée réside dans l'hybridation possible des organismes modifiés avec d'autres espèces. Par ailleurs, qu'advient-il si les rats manipulés par forçage génétique quittaient les îles où ils ont été introduits et rejoignaient le continent ? Les scientifiques craignent que des écosystèmes entiers puissent alors s'effondrer.

Directives uniformes et essais contrôlés

Gernot Segelbacher, coresponsable du « Conservation Genetics Specialist Group » de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN) et professeur en écologie de la faune à l'Université de Fribourg (Allemagne), approuve l'appel de Jane Goodall et Paul Watson, mais invite cependant aussi à ne pas trop dramatiser les risques et à garder l'esprit ouvert. Selon lui, il est surtout primordial d'établir des directives uniformes et de mener des essais contrôlés en milieu confiné, dans le but de recueillir des données qui permettront d'évaluer les risques et les opportunités du forçage génétique. D'ailleurs, tout n'est pas au point sur le plan technique et la sélection naturelle résiste encore à cette technologie. « Il faudra attendre

encore au moins dix ans avant de pouvoir réaliser les premières expériences de lâchers en rapport avec la protection de la nature. »

Selon le professeur, pour modérer les réticences des défenseurs de la nature autant que l'impétuosité des adeptes des nouvelles technologies génétiques, il convient de réunir tout le monde autour d'une table. L'IUCN a déjà mis en place un groupe de travail qui s'intéresse de près au CRISPR et au forçage génétique. L'objectif : concilier protection de la nature et génie génétique. Gernot Segelbacher pense cependant que, même si les essais en laboratoire et sur le terrain se révélaient satisfaisants, le forçage génétique ne sera jamais qu'un épiphénomène en matière de protection de la nature. L'activité principale consistera toujours à préserver les milieux naturels, leur mise en réseau, ainsi que la conservation des espèces qui y vivent.

Un fossé entre le laboratoire et la nature

Benedikt Schmidt, du Centre de coordination pour la protection des amphibiens et reptiles de Suisse (Karch), se montre par principe méfiant à l'égard des grandes promesses. « Entre le laboratoire et la nature, il y a un immense pas à franchir. Ce qui fonctionne en laboratoire ne marchera pas forcément dans l'environnement complexe du milieu naturel. » Les chercheurs, dans la présentation de solutions potentielles, tendraient à faire l'impasse sur les interactions inhérentes à un écosystème. « Les relations parasite-hôte par exemple sont très dynamiques sur le plan génétique », explique ce biologiste de l'évolution. « Le forçage génétique est une solution statique contre laquelle les agents pathogènes sauront rapidement développer des résistances. »

Benedikt Schmidt voit également des obstacles purement pratiques. Admettons que l'on réussisse à créer une salamandre résistante à la chytridiomycose... Que fait-on ensuite ? Il faudrait produire des centaines de milliers d'individus, les transporter par camions entiers et les disséminer

Le retour des mammouths ?

Depuis plusieurs décennies, les scientifiques tentent de ressusciter le mammouth, disparu il y a 4000 ans. Des chercheurs suédois ont ainsi réussi à séquencer le génome de deux mammouths. Une fois ce décodage opéré, il serait possible, grâce à un système comme CRISPR/Cas, de procéder à la « réécriture génétique » d'espèces vivantes apparentées, à partir du patrimoine génétique du mammouth. Mais ce qui paraît simple a priori est irréalisable dans la pratique. En effet, les génomes du mammouth et de l'éléphant d'Asie présentent plusieurs millions de différences. Les chercheurs se limitent donc à faire ressortir des caractéristiques spécifiques du mammouth, comme son pelage laineux et sa graisse sous-cutanée servant à maintenir sa chaleur corporelle. « Cet hybride rudimentaire à l'identité génétique douteuse ne sera jamais un mammouth », note Hans Romang, chef de la division Espèces, écosystèmes, paysages à l'OFEV. « Les progrès de la recherche sont impressionnants. Mais si l'on considère le recul des espèces à l'échelle mondiale, rappelons-nous d'abord qu'elles ont besoin d'espace pour vivre. La conservation des espèces ne passe pas par leur résurrection, mais par la sauvegarde de leurs habitats. »

dans toute l'Europe afin d'immuniser l'ensemble des populations. Pour le biologiste, cette gigantesque opération logistique nécessite un travail d'une ampleur bien supérieure au développement d'une salamandre résistante.

Une valeur ajoutée marginale

Il apparaît donc bien plus essentiel d'offrir aux amphibiens des eaux de frai plus nombreuses et de meilleure qualité, ainsi que des milieux humides intacts. Car ces espèces sont exposées à de nombreux facteurs de risque, et l'amélioration d'un seul paramètre accroît sensiblement la résistance de toute une population face à la maladie. Aux États-Unis, des populations se sont rétablies, malgré la menace du champignon, grâce à l'élimination de poissons non indigènes qui se nourrissaient des œufs et des larves. De plus, des chercheurs ont récemment constaté que certaines populations d'amphibiens en Amérique latine enregistraient à nouveau une croissance positive, sans doute due à une résistance accrue développée par ces espèces. Dans de nombreux cas, la nature est simplement plus rapide.

Toutefois, Benedikt Schmidt reconnaît aussi les opportunités offertes par le génie génétique. Selon lui, des modifications sur le génome peuvent éventuellement se justifier chez des espèces extrêmement rares et menacées, comme la salamandre de Lanza, qui subsiste sur quelques kilomètres carrés dans le nord de l'Italie. Une infection due au champignon pourrait engendrer son extinction. Pour le scientifique toutefois, la valeur ajoutée des manipulations génétiques dans le cadre de la préservation de la biodiversité reste marginale. Un avis que partage la Confédération : dans la Stratégie Biodiversité Suisse en vigueur actuellement, l'intervention du génie génétique ne joue pour ainsi dire aucun rôle et ne devrait être considérée qu'en tout dernier recours.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-08

Hans Romang | Chef de la division Espèces, écosystèmes, paysages | OFEV
hans.romang@bafu.admin.ch

À notre porte



JU

Test de stockage du CO₂

Stocker le dioxyde de carbone dans le sous-sol devrait aider à lutter contre le réchauffement climatique, mais cette technologie suscite bon nombre d'interrogations. Comment évolue le CO₂ enfoui sous nos pieds? Y a-t-il des risques de fuites vers la surface ou de contamination des nappes phréatiques? Sous l'égide de l'Office fédéral de la topographie, swisstopo, une série d'expériences sur la séquestration du CO₂ a été lancée depuis 2011 dans le laboratoire souterrain du Mont Terri, situé près de Saint-Ursanne, dans le Jura. Excavé dans l'argile, ce laboratoire international offre un site idéal pour la recherche sur les formations argileuses, considérées comme roches de couverture dans le contexte du stockage géologique du CO₂.

Profitant de l'agrandissement du laboratoire en 2018 et 2019 et de la création de nouvelles galeries, l'EPF de Zurich et swisstopo viennent de démarrer une nouvelle expérience, qui s'inscrit dans le cadre du projet européen «Elegancy», cofinancé par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). L'un des enjeux principaux consiste à évaluer les risques de fuites le long des zones de faille qui recoupent les formations argileuses. Il faut toutefois souligner que le laboratoire du Mont Terri est un site de recherche et ne sera jamais utilisé pour stocker des déchets ou du CO₂.

mont-terri.ch



VD

Une route qui préserve la faune

La route cantonale RC 177, qui relie la jonction autoroutière de Cossonay à la zone industrielle de Vufflens-la-Ville/Aclens, a été inaugurée l'automne dernier. D'une longueur de 5,5 kilomètres, le tronçon a notamment pour objectif de développer la complémentarité entre la route et le rail pour les marchandises, tout en préservant la faune et la flore grâce à 50 mesures de compensation environnementales, dont des aménagements en faveur des animaux. Quatre passages à faune ont été construits, dont un de grandes dimensions (plus de 5 mètres de large et 2 mètres de haut). Le lit de la Venoge, qui traverse la région, a par ailleurs été modifié par la création d'un bras secondaire. Des haies ont été plantées et des murgiers reconstitués.

bit.ly/2J4devF



FR

Nouvelle approche du lynx

Le lynx eurasiens se plaît en terres fribourgeoises. Une vingtaine d'individus ont ainsi été identifiés dans le canton lors d'un monitoring réalisé entre février et avril 2018. La question est maintenant de savoir s'il faut autoriser ou non un tir de régulation. Une commission intercantonale réunissant Fribourg, Vaud et Berne a élaboré les modalités du Plan Lynx Suisse, en étudiant différents scénarios. La méthode utilisée pourrait servir de référence en Suisse. Elle se concentre sur une zone comprenant les Préalpes fribourgeoises, le Pays-d'Enhaut et une partie du canton de Berne, jusqu'au lac de Thoune. Au vu des analyses effectuées par la commission intercantonale, cette dernière recommande de ne pas intervenir sur la population de lynx.

bit.ly/2PaxhaP



VS

Un centre dédié à la montagne

L'Université de Lausanne lance un centre interdisciplinaire de recherche sur la montagne à Sion. L'objectif est de réunir diverses disciplines en faveur d'un développement plus durable des régions alpines et de faire collaborer des chercheurs en sciences naturelles, humaines ou sociales. Le centre couvre des thèmes aussi divers que le tourisme et la santé, les risques naturels, les terroirs et labels, ou encore la durabilité. Au cœur de ces enjeux figure la problématique du réchauffement climatique par rapport à ces régions. Créée en septembre 2018, la nouvelle structure concentre une partie de ses activités sur les Alpes vaudoises et valaisannes.

unil.ch/centre-montagne



Renaturation de la Birse

Le Canton du Jura s'est doté d'un ambitieux programme de revitalisation de ses rivières, échelonné sur 80 ans. La planification cantonale prévoit de revitaliser 17,7 kilomètres de cours d'eau et d'assainir 31 seuils sur 20 ans. Les seuils altèrent l'écoulement naturel de la rivière en formant notamment des obstacles au charriage et à la migration des poissons. Après une douzaine de seuils déconstruits en 2018 sur la Sorne, à Courfaivre, et sur la Scheulte, à Courchapoix, le prochain sera celui des Rondez, sur la Birse, à la frontière des communes de Courroux et de Delémont, toujours dans le but de rétablir la circulation piscicole sur la rivière.

bit.ly/2tR8jmY



Découvrir les TP en jouant

Un nouveau jeu de société, «Yapasphoto – Course en Pays de Neuchâtel», propose de découvrir de manière ludique le réseau des transports publics des différentes régions du canton. Imaginé par des étudiants du Locle et développé par une entreprise de La Chaux-de-Fonds, ce jeu 100% local a notamment pour objectif de sensibiliser les enfants à l'utilisation des transports publics. Il s'adresse avant tout aux familles et aux écoles en proposant trois niveaux progressifs de difficulté.

bit.ly/2XvkSIE



Circulation différenciée

Genève va instaurer la circulation différenciée en cas de pics de pollution par le biais d'un système de macaron écologique. Cette mesure vise à limiter l'accès au centre-ville des véhicules les plus polluants. C'est la première fois qu'un canton suisse applique la circulation différenciée. Des macarons identifieront les performances des véhicules en matière d'émissions polluantes, une pratique déjà courante en France. Le texte, qui émane du Conseil d'État, confirme également la limitation de la vitesse à 80 km/h sur l'autoroute de contournement et prévoit la gratuité des transports publics lors des pics. La mise en œuvre de la nouvelle loi est planifiée pour 2020, après rédaction et adoption en 2019 du règlement d'application par le Conseil d'État.

ge.ch/dossier/qualite-air



VS, VD, BE

Les agriculteurs au secours des pollinisateurs

Dans les cantons de Vaud et du Jura, ainsi que dans le Jura bernois, les agriculteurs peuvent participer, depuis 2018, à un projet visant à promouvoir les abeilles sauvages et domestiques. Il s'agit notamment d'augmenter leurs sources de nourriture, de ménager leurs habitats ou de favoriser des pratiques agricoles contribuant à leur préservation. Autre ambition: améliorer les interactions entre les filières agricoles et apicoles pour renforcer les synergies.

Parmi les neuf mesures proposées aux paysans figurent le renoncement aux insecticides, le semis de légumineuses fourragères sous céréales ou encore la fauche retardée des prairies. L'objectif est de les appliquer au-delà de la durée du projet, qui est de six années.

À l'instar de Sol-Vaud et SolAirEau, il s'agit d'un projet d'utilisation durable des ressources naturelles selon les articles 77a et

77b de la loi sur l'agriculture, financé à 80% par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG). L'impact sur les pollinisateurs sera analysé dans le cadre d'un monitoring, mené conjointement par les porteurs de projet et les partenaires scientifiques. Les agriculteurs qui mettent en place des mesures sur une base volontaire reçoivent une contribution pour les surfaces concernées. Ils étaient près de 900 à prendre part au projet en 2018.

prometerre.ch/abeilles

En politique internationale



L'élargissement du trou dans la couche d'ozone a pu être stoppé. Mais les produits de substitution introduits contribuent au réchauffement climatique.

Photo: Shutterstock

Trou d'ozone et réchauffement climatique

En 1985, lorsque l'existence du trou dans la couche d'ozone a été démontrée, la communauté internationale a réagi deux ans plus tard en adoptant le protocole de Montréal. Les substances les plus nuisibles à la couche d'ozone ont été interdites au niveau international et il a ainsi été possible de mettre un terme à l'extension du trou. Malheureusement, il est apparu par la suite que certaines substances de substitution, les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), étaient de puissants gaz à effet de serre. Leur effet étant plusieurs milliers de fois supérieur au CO₂, ils contribuent donc au réchauffement climatique.

Après plusieurs années de négociations, auxquelles la Suisse a apporté son soutien actif dès le début, les États parties ont décidé en octobre 2016, à Kigali (Rwanda), d'étendre le protocole de Montréal et de réglementer les HCFC. Les pays industriels s'engagent ainsi à réduire progressivement, d'ici 2036, l'utilisation de 18 HCFC à 15 % du niveau de 2013. Le Conseil fédéral a adopté l'accord fin 2018. La Suisse entend atteindre cet objectif grâce à des adaptations régulières de l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (OFFChim).

Felix Wertli | Chef de la section Affaires globales | OFEV
felix.wertli@bafu.admin.ch

Défendre la biosécurité

Le protocole de Carthagène est le premier accord international à porter sur l'utilisation des organismes vivants génétiquement modifiés. Il vise, depuis près de 20 ans, à garantir la sécurité de l'environnement et de la santé. Concrètement, il s'agit de veiller à ce que ces OGM, susceptibles de constituer un danger pour la conservation et l'exploitation durable de la biodiversité, fassent l'objet d'une utilisation et d'un transport sûrs.

La dernière conférence sur la biodiversité, qui s'est déroulée en novembre 2018 à Charm-el-Cheikh (Égypte), s'est notamment intéressée de près à la biologie de synthèse, qui a pour objectif de créer de nouveaux organismes ou composants biologiques à l'aide de diverses méthodes (voir page 16). Les États parties ont ainsi convenu de mettre sur pied un mécanisme d'observation des nouvelles biotechnologies, afin de pouvoir évaluer et contrôler les risques qui en découlent. Comme les produits de la biologie synthétique peuvent avoir un effet négatif ou positif sur les objectifs de la Convention de l'ONU sur la diversité biologique, il a été décidé d'inscrire ce thème de manière formelle dans le calendrier du traité. Les décisions prises sont, dans une large mesure, conformes à la position de la Suisse, qui était représentée notamment par l'OFEV.

Norbert Bärlocher | Chef de la section Conventions de Rio | OFEV
norbert.baerlocher@bafu.admin.ch

Ces prochains mois

9-14 JUIN 2019

Réunion du Conseil du Fond pour l'environnement mondial (FEM)
à Washington (États-Unis)

14-29 JUIN 2019

Conférence des organes subsidiaires de la Convention-cadre
des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)
à Bonn (Allemagne)

Du côté du droit



Le segment de rive du lac de Wohlensee (BE) que le chemin devait longer.

Photo: Adrian Moser

Le lac de Wohlensee n'aura pas son chemin

Le Tribunal fédéral s'oppose à l'aménagement d'un chemin sur la rive du lac de Wohlensee (BE), accordant ainsi davantage de poids à la protection des oiseaux qu'aux intérêts des promeneurs.

Le lac de Wohlensee est accessible aux promeneurs sur la presque totalité de son périmètre, à l'exception du tronçon entre Hinterkappelen et le pont de Wohlensee. Cette situation a été entérinée par le Tribunal fédéral (TF), qui a cassé une décision du Tribunal administratif bernois relative à la planification des chemins de rive.

En effet, la loi sur les rives des lacs et des rivières du canton de Berne prévoit des chemins longeant en continu les berges des grands lacs et de l'Aar. Le plan de protection des rives a été approuvé le 13 août 1993 par la direction des Travaux publics du canton de Berne. Depuis, le sentier du lac de Wohlensee occupe les esprits tout comme les tribunaux. Le chemin prévu sur un tronçon de 1,2 km s'est tout d'abord heurté à l'opposition de riverains de la baie d'Inselrain, car il représentait une atteinte disproportionnée à la propriété privée et ne tenait pas suffisamment compte des intérêts de la protection des oiseaux. Dans les faits, le projet de sentier

longeait directement une réserve d'oiseaux d'eau et de migrateurs d'importance nationale, qui se distingue par son exceptionnelle diversité d'espèces.

En 2017, le Tribunal administratif bernois a rejeté les recours des opposants. Or, dans son arrêt, le TF a jugé que l'autorité inférieure avait très nettement négligé les intérêts de la protection des oiseaux et a estimé que le projet constituait une atteinte considérable. Aujourd'hui déjà, les oiseaux subissent la pression de la navigation côté lac. La hausse de la fréquentation induite par le sentier prévu aurait donc entraîné une perte supplémentaire conséquente de l'habitat utilisable par les oiseaux d'eau et les limicoles. Le TF a ainsi accordé davantage de poids à la protection de la nature et aux intérêts des propriétaires fonciers touchés qu'à l'intérêt public que constitue le tracé de chemins proches des rives.

Par ailleurs, dans une prise de position antérieure à l'arrêt du TF, l'OFEV avait établi que la protection des oiseaux exigeait que ceux-ci puissent rester en permanence à l'abri des regards. Selon le TF, la possibilité de profiter du paysage aurait donc été très limitée pour les promeneurs.

Chaleur estivale

Comment rafraîchir les villes

Les canicules comme celles des étés 2003, 2015 et 2018 seront plus fréquentes à l'avenir. Formant des îlots de chaleur dans le paysage, les villes et les agglomérations sont particulièrement concernées par ce phénomène. Mais que peut-on faire pour que le climat local reste supportable ? **Texte:** Hansjakob Baumgartner

Même si nous parvenons à limiter le réchauffement climatique mondial à 2 °C en faisant rapidement baisser les émissions de gaz à effet de serre, il nous faudra affronter des périodes de grande chaleur. Les derniers scénarios climatiques concernant la Suisse indiquent en effet que nous devons tout de même nous attendre à une hausse des températures estivales entre 0,9 et 2,5 °C d'ici 2050. Les années exceptionnelles sont en passe de devenir la norme : les vagues de chaleur prolongées, au cours desquelles le thermomètre franchit la barre des 30 °C l'après-midi et ne descend pas sous celle des 20 °C la nuit, surviendront presque chaque année.

« Il faut davantage d'espaces ouverts comportant des zones de verdure, des lieux ombragés et des points d'eau accessibles. »

Roland Hohmann | OFEV

La chaleur excessive présente des risques pour la santé, surtout chez les personnes âgées et les enfants en bas âge. Les étés très chauds enregistrent

des taux de mortalité accrus, essentiellement en raison de maladies cardiovasculaires. Ainsi, 975 décès dus à la chaleur ont été recensés pendant la canicule de 2003 en Suisse. Durant l'été 2015, le deuxième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864, près de 800 personnes sont décédées pour les mêmes raisons.

Gare aux îlots de chaleur !

Le climat du futur devrait être particulièrement néfaste pour la population urbaine, les villes et les agglomérations se transformant en îlots de chaleur. Les surfaces construites, de couleur foncée, absorbent les rayons du soleil, tandis que les vents apportant un peu de fraîcheur circulent mal du fait de la densité des bâtiments. S'y ajoutent les rejets thermiques de l'industrie, de l'artisanat, du trafic et des ménages. Pendant la journée, l'air est donc plus chaud en ville qu'à la campagne. La nuit, il peine à refroidir, les bâtiments emmagasinant la chaleur comme des poêles en faïence. D'après les dernières cartes d'analyse climatique, la température mesurée dans les quartiers de la ville de Zurich peut être de 6 à 7 °C supérieure à celle des zones rurales périphériques.

La stratégie du Conseil fédéral pour adapter la Suisse au changement

climatique accorde donc une attention toute particulière aux villes et aux agglomérations. Mais que faire concrètement pour atténuer l'effet îlot de chaleur ? « De manière générale, il faut davantage d'espaces ouverts comportant des zones de verdure, des lieux ombragés et des points d'eau librement accessibles et rafraîchissants », indique Roland Hohmann, codirecteur de la section Rapports climatiques et adaptation aux changements à l'OFEV. « La circulation de l'air frais provenant des zones périphériques doit en outre être assurée. »

Plus d'arbres et d'espaces verts

À l'ombre d'un arbre, la température diurne peut être jusqu'à 7 °C plus fraîche qu'autour. Une mesure efficace consiste donc à planter des arbres dans les espaces fréquentés. Les grands arbres séculaires offrant une couronne volumineuse sont idéals. En ville, leur espérance de vie est toutefois diminuée ; les racines disposent d'une place limitée, l'apport d'eau est souvent insuffisant et l'air pollué. À quoi s'ajoute le stress lié au changement climatique. Les espèces plantées doivent donc pouvoir supporter la chaleur et la sécheresse. Pour reboiser le sentier du lac de Port-de-Serrières à Neuchâtel, le choix s'est



Un plan d'eau rafraîchissant : le lac récemment aménagé à Opfikon (ZH)

Photo : StadtLandschaft GmbH | Cordula Weber

Le concept de « ville éponge »

Le changement climatique n'a pas seulement pour effet de prolonger les périodes de canicule, il modifie aussi le régime des précipitations. Il faut ainsi s'attendre à des étés plus secs et à des hivers plus humides. Par ailleurs, les épisodes de fortes pluies devraient devenir plus fréquents.

En conséquence, les espaces verts situés dans les villes devront être plus souvent arrosés. D'autre part, la part importante de surfaces imperméabilisées dans les villes augmente le risque d'inondation en cas de fortes précipitations. Un stockage ciblé des eaux pluviales destiné à un arrosage ultérieur permet de traiter les deux problèmes en parallèle. En termes d'urbanisme, le concept de « ville éponge » s'est imposé pour désigner cette approche. Au

lieu d'être rapidement évacuée via les égouts, l'eau qui ruisselle des toits, des routes et des places asphaltées est stockée dans des citernes souterraines ou des bassins d'accumulation. En cas de besoin, elle est pompée vers les lieux de verdure.

Dans le quartier berlinois d'Adlershof en Allemagne, les autorités ont développé un système de gestion de l'eau exemplaire. Des rigoles en bordure des routes récoltent l'eau de pluie, qui peut s'infiltrer lentement dans la terre. L'excédent est dirigé vers des cuvettes d'infiltration plus grandes. Les toits végétalisés contribuent également à ralentir l'écoulement de l'eau de pluie.



Quand la ville surchauffe

Publié à la fin de l'année 2018, le rapport de l'OFEV intitulé *Quand la ville surchauffe – Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques* montre, sur la base d'exemples en Suisse et à l'étranger, comment l'effet îlot de chaleur peut être atténué dans les villes et les agglomérations. La publication définit ainsi des bases de planification, de même que des principes et des mesures en matière d'urbanisme.

En photo : la tour *Il Bosco verticale* (la forêt verticale) à Milan

porté sur le pin parasol, une essence du bassin méditerranéen. La Ville de Berne mise sur l'érable de Montpellier, l'érable d'Italie ou le chêne lombard, tous originaires de régions chaudes.

Sur l'asphalte, l'eau de pluie s'écoule directement dans les égouts. En revanche, sur les surfaces désimperméabilisées, elle peut s'infiltrer et s'évaporer à nouveau par la suite. Ce phénomène prélève de la chaleur dans l'air ambiant. Si les surfaces sont végétalisées, il est complété par la transpiration des plantes. Dans le cas d'un arbre d'envergure, ce sont ainsi plusieurs centaines de litres d'eau qui s'évaporent par le truchement du métabolisme végétal. Les espaces verts créent de cette manière des oasis de fraîcheur dans les quartiers urbains. La nuit, l'air frais qui y est généré circule dans les zones d'habitation voisines. Néanmoins, cet effet à distance dépend beaucoup de la taille de l'espace vert : il n'est prouvé qu'à partir d'une surface de 1 hectare (10 000 mètres carrés).

Davantage de plans d'eau

Les plans et cours d'eau ont aussi un pouvoir rafraîchissant dû à l'évaporation, celui des rivières étant plus élevé que celui des étangs. En effet, le mouvement des eaux augmente la surface d'évaporation et renforce les échanges avec les couches plus profondes et plus froides.

À Bienne, le parc de l'Île-de-la-Suze, un espace de détente qui s'étend sur 5,4 hectares, fait la part belle à la rivière. Le groupe Swatch et la fondation de prévoyance Previs sont, dans une certaine mesure, à l'origine de l'aménagement de cet espace de détente, puisqu'ils souhaitaient y construire

initialement l'un un bâtiment et l'autre un lotissement. La Suze, qui coulait jusqu'alors de façon monotone entre des blocs de pierre, a été transformée en cours d'eau dynamique. Des talus engazonnés et des rives plates agrémentées de plages de gravier bordent désormais la rivière.

Dans le nouveau quartier Glattpark à Opfikon (ZH), un parc de 13 hectares a été aménagé pour compenser la densification du milieu bâti. Son cœur est constitué d'un lac où poussent des roseaux, des nénuphars et d'autres plantes aquatiques. Bien qu'alimenté par l'eau qui s'écoule des toits avoisinants, il est adapté à la baignade.

Des toits blancs ou végétalisés

Les toits constituent aussi des surfaces végétales potentielles. Sur les toits plats végétalisés, 50 à 70 % des précipitations annuelles, selon la biomasse par surface, retournent par évaporation dans l'atmosphère. Ce phénomène entraîne une réduction de la température des locaux situés sous les combles de 3 à 5 °C en été.

À proximité du sol, les toitures végétalisées ne font effet que si elles présentent une surface supérieure à 100 mètres carrés et une hauteur maximale de 10 mètres. Celles situées sur des bâtiments bas et étendus, tels que des halles industrielles, offrent donc davantage de potentiel. Quant aux façades végétalisées, elles s'avèrent plus efficaces au niveau de la rue, là où se trouvent les passants.

Les vents des zones périphériques atténuent en outre l'effet îlot de chaleur. Les corridors d'air frais ne doivent donc pas être entravés par des bâtiments, qu'il convient d'orienter dans le sens du

vent et non contre celui-ci. La Ville de Bâle s'est dotée de recommandations de planification en ce sens, qui reposent sur une analyse climatique de la région bâloise (KABA) élaborée par l'Université de Bâle et le canton.

Les surfaces claires reflètent la lumière et chauffent donc moins que les foncées. L'idée de peindre en blanc tous les toits de la planète a d'ailleurs déjà été évoquée dans les débats sur le climat. Si cette approche n'est pas très réaliste à l'échelle mondiale, elle pourrait avoir un impact au niveau local. À Los Angeles, à titre expérimental, la ville repeint ses rues à l'aide d'un enduit réfléchissant de couleur claire depuis mai 2017. Les premiers résultats sont prometteurs. Selon l'agence américaine de protection de l'environnement (EPA), la diminution de la température dans une ville pourrait atteindre 0,6 °C si 35 % des rues étaient recouvertes d'un revêtement réfléchissant.

Planifier en pensant au climat

La nécessité de densifier les zones urbanisées existantes au lieu de construire sur des terrains vierges constitue un défi particulier. Une planification bien pensée permet toutefois de réduire l'effet îlot de chaleur dans la zone concernée malgré l'augmentation du bâti. Le point essentiel est de tenir compte de l'aspect climatique dès le départ.

C'est l'approche qui a été suivie lors de la construction du quartier d'Erlenmatt à Bâle. Une réorganisation interne des chemins de fer allemands (DB) a permis de libérer une partie de l'aire de la gare de triage, qui a pu être réaffectée à un nouveau quartier. Le concours d'urbanisme lancé en 1998 définissait des conditions intégrant des aspects

climatiques locaux, comme la ventilation du quartier ou la végétalisation d'une grande part de sa surface. Cette zone, jadis presque entièrement imperméabilisée, accueille désormais non seulement 700 appartements, mais aussi un grand parc de 5,7 hectares.

Dans le cas du lotissement de 6,5 hectares à la Thurgauerstrasse à Zurich, le cahier des charges incluait également des directives en matière de développement adapté aux changements climatiques. Une grande partie de la superficie est aujourd'hui occupée par des jardins familiaux. Un quartier mixte, destiné à accueillir 1800 personnes et répondant aux objectifs de la « société à 2000 watts », doit y voir le jour. Le projet a démarré en 2014 avec un processus pilote. Les directives portent entre autres sur des corridors de ventilation et la planification d'une part suffisante d'espaces verts. La moitié de la surface doit rester perméable.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-09

*Roland Hohmann | Codirecteur de la section
 Rapports climatiques et adaptation aux
 changements | OFEV
 roland.hohmann@bafu.admin.ch*

Construction durable

Des exigences multiples

Pour construire durablement, il importe de tenir compte d'une multitude de critères, au-delà des seuls besoins énergétiques du bâtiment. Car les secteurs de la construction et du logement font partie des domaines les plus gourmands en ressources, sans parler de leur impact sur l'environnement et de leur contribution au réchauffement climatique. **Texte : Mike Sommer**

Pour la plupart des gens, l'expression « construction durable » évoque probablement surtout les facteurs énergivores que sont le chauffage, la réfrigération et la production d'eau chaude. En 2000, presque 35 % de l'énergie finale était affectée en Suisse au chauffage des locaux, contre 31 % seulement en 2015. Bien qu'une population croissante habite et travaille dans des bâtiments sans cesse plus nombreux, les besoins énergétiques liés au chauffage diminuent.

La hausse des prix de l'énergie, la taxe CO₂ sur les combustibles, une sensibilité grandissante aux questions environnementales et l'avancée de la législation contribuent de plus en plus à l'avènement de normes de construction qui

« Les progrès passent par la sensibilisation et de bons exemples. »

David Hiltbrunner | OFEV

réduisent massivement la consommation énergétique. Un autre indice l'atteste : entre 1975 et 2015, les besoins en chaleur d'une maison d'habitation neuve en matière de chauffage et de production

d'eau chaude ont baissé en moyenne de 75 %. La rénovation continue du parc immobilier entraînera des progrès supplémentaires, même si le taux d'assainissement actuel reste assez modeste. Toutefois, les besoins énergétiques des nouveaux bâtiments diminuant, les autres effets de la construction sur l'environnement passent au premier plan.

Le poids de l'énergie grise

Ces effets concernent notamment l'extension des surfaces vouées à l'habitat, à l'activité professionnelle et aux loisirs, ce qui se répercute sur la structure du milieu bâti, la mobilité et les besoins en matières premières. De plus, la consommation de matériaux de construction est déterminante. Ces matériaux recèlent, outre les matières premières proprement dites telles que le gravier, de l'énergie dite grise, c'est-à-dire l'énergie primaire non renouvelable nécessaire à l'extraction des matières premières, à la fabrication des matériaux, à leur traitement et à leur élimination, sans oublier les transports. Rapportée à la surface et à la longévité d'un bâtiment, cette énergie grise peut être comparée avec l'énergie d'exploitation de l'objet. Le résultat est étonnant : même dans les nouvelles constructions à basse consommation, chaque mètre

carré de surface utile représente entre 40 et 50 kilowattheures d'énergie grise par an, soit plus que le chauffage et l'eau chaude.

On peut calculer à l'avance la quantité d'énergie grise d'un bâtiment grâce à un catalogue qui se fonde sur les données des écobilans dans la construction publiées par la Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics (KBOB). Ce catalogue présente une évaluation des aspects environnementaux des matériaux et des éléments de construction tels que l'énergie grise ou les émissions de gaz à effet de serre exprimées en équivalents CO₂, et il en établit le bilan sur la base d'unités de charge écologique ou écopoints. Il est ainsi possible de comparer, sous l'angle de l'impact environnemental, le bilan d'un plafond en béton et celui d'un plafond en bois massif.

Améliorer la valorisation

Le choix conscient des matériaux a indubitablement pour effet de rendre les bâtiments plus durables. Le sort qui leur est réservé après la démolition ou la déconstruction n'est également pas sans conséquences sur l'environnement. Selon David Hiltbrunner, de la section Cycles matières premières à l'OFEV,



Construction durable en bois : le nouvel atelier de production de BLS à Bönigen (BE) a reçu le prix spécial Bois suisse lors de la remise du Prix Lignum en 2018.

Photo : Thomas Telley | Prix Lignum 2018

Construire dans le respect du paysage

Toute construction modifie le paysage. C'est pourquoi les aspects tels que la situation et la qualité de la conception sont très importants. « Du point de vue écologique, la maison individuelle construite sur une prairie n'est pas durable car elle contribue au mitage, imperméabilise le sol et entraîne une mobilité inutile », indique Claudia Moll, de la section Espace rural à l'OFEV, qui défend les intérêts de la qualité du paysage au sein de la commission de coordination Construction durable interne à l'office. Ces aspects sont cruciaux pour la qualité de vie justement dans les paysages urbains où vivent quelque 85 % de la population suisse.

Les enjeux sont multiples : les bâtiments doivent bien s'insérer dans la topographie et intégrer les caractéristiques régionales du lieu. « Nous renforçons ainsi les chaînes de valeur et l'attractivité régionales tout en soutenant des prestations paysagères telles que le sentiment d'identification et d'appartenance, la détente nécessaire à la santé et la satisfaction des besoins esthétiques », ajoute Claudia

Moll. La construction durable comprend en outre une réflexion sur l'aménagement des alentours des bâtiments. Les surfaces ouvertes soigneusement conçues favorisent la biodiversité, elles améliorent le climat urbain et créent des espaces de rencontre.

L'experte de l'OFEV note que « l'approche transdisciplinaire constitue un défi ». « Notre tâche consiste à promouvoir la compréhension d'une conscience globale de la qualité du paysage qui soit compatible tant avec la nature qu'avec l'être humain. » La Conception « Paysage Suisse » (CPS), en cours de remaniement, adopte également cette perspective en formulant des objectifs contraignants concernant la politique territoriale de la Confédération. Dans le cadre du plan d'action lié à la Stratégie Biodiversité Suisse, approuvé en 2017 par le Conseil fédéral, un projet pilote de l'OFEV examine en outre la question de savoir comment soutenir efficacement la biodiversité et les qualités paysagères alors que les agglomérations continuent de se développer.

« l'objectif doit consister à valoriser les déchets aussi bien que possible pour ménager les ressources et les décharges ». Ce principe fonctionne déjà pour les métaux. De plus en plus, le béton de démolition est utilisé comme granulats dans le béton de recyclage ou comme substitut du gravier pour la construction des routes.

Il convient d'accorder davantage d'attention à la conception des éléments de construction de manière à accroître le taux de recyclage, explique David Hiltbrunner, qui illustre son propos par l'exemple des plaques de polystyrène utilisées dans l'isolation : « Ces plaques constituent certes d'excellents isolants, mais leur élimination est un cauchemar car elles sont généralement collées sur une surface dont elles ne peuvent guère être séparées. » Insérer et visser plutôt que coller, tel est donc le mot d'ordre, de

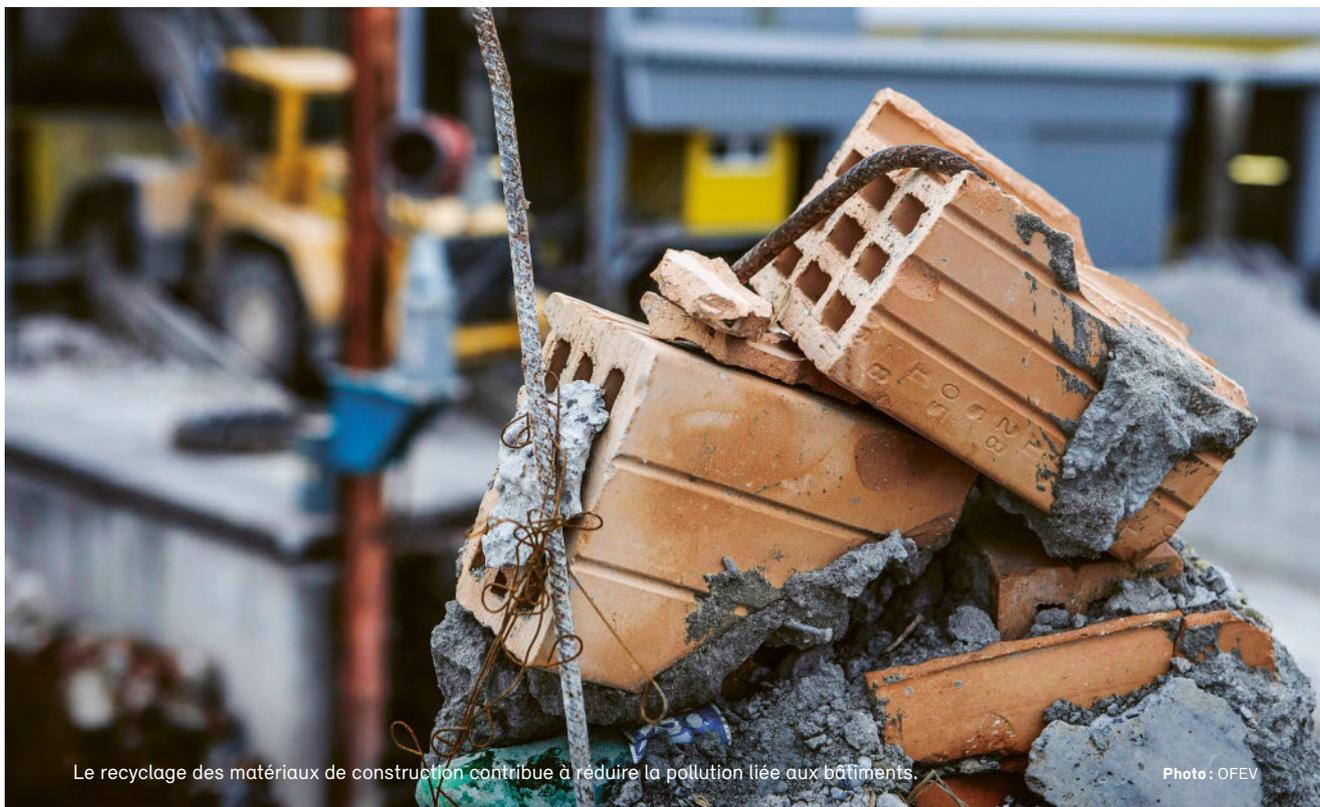
même qu'éviter les matériaux et structures composites. Les techniques de construction flexibles ont aussi un rôle important à jouer car elles facilitent les transformations et le remplacement des différents éléments. Elles prolongent la durée de vie des bâtiments et réduisent ainsi l'impact sur l'environnement.

Le standard SNBS

Certes, certains produits sont conçus pour durer, mais leur prix souvent plus élevé les pénalise sur le marché. David Hiltbrunner est convaincu que « les progrès passent par la sensibilisation et de bons exemples ». À cet égard, le Réseau construction durable Suisse (NNBS), qui regroupe des entreprises, des associations sectorielles, des instituts de recherche, des cantons, des communes et des offices fédéraux, joue un rôle

essentiel. Ce réseau, qui encourage les échanges entre tous les acteurs, a mis au point le Standard Construction durable Suisse (SNBS) afin d'aider les maîtres d'ouvrage et les investisseurs dans ce sens – pour l'heure dans le seul domaine du bâtiment. La Confédération applique d'ores et déjà largement le standard SNBS dans ses propres projets d'envergure. Depuis 2016, il est aussi possible de procéder à la certification SNBS des ouvrages. Si les maîtres d'ouvrage n'ont pas été nombreux à y recourir jusqu'ici, cette situation devrait évoluer à long terme, car les certificats de durabilité améliorent la viabilité commerciale des objets.

Le rapport du Conseil fédéral publié en 2016 sur l'économie verte prévoit également des mesures visant à promouvoir les matières premières secondaires. Ces mesures ont notamment pour objectif



Le recyclage des matériaux de construction contribue à réduire la pollution liée aux bâtiments.

Photo : OFEV

Le bois : fondamentalement durable

En tant que matière première naturelle, renouvelable et indigène, le bois représente le matériau durable par excellence. Il est capable d'absorber et de stocker sur le long terme le principal gaz à effet de serre contenu dans l'atmosphère, le dioxyde de carbone. Utilisé dans la construction, le bois issu de la région contient peu d'énergie grise, ses émissions de gaz à effet de serre sont faibles; c'est un bon isolant, qui peut être valorisé thermiquement sans incidence sur le climat. Pour Achim Schafer, de la section Industrie du bois et économie forestière de l'OFEV, le bois régional ne marque pas seulement des points comme matériau écologique: «L'utilisation du bois dans la construction accroît la valeur ajoutée au niveau régional. Le bois provenant d'une gestion forestière durable contribue à favoriser la biodiversité, la purification de l'air, la protection contre les dangers naturels, ainsi que l'emploi dans les régions périphériques.» Il est difficile de quantifier ces prestations, qui sont pourtant partiellement prises en compte dans l'écobilan et le Standard Construction durable Suisse (SNBS). Avec 37 millions de tonnes en 2015, la part du bois dans les 3,2 milliards de

tonnes que pèse le patrimoine bâti suisse est modeste. Le potentiel que recèlent les matériaux de construction, le mobilier et les aménagements intérieurs et extérieurs est donc loin d'être épuisé. Seuls deux tiers de la production annuelle de bois exploitable dans les forêts suisses sont récoltés.

Par sa politique de la ressource bois, la Confédération entend encourager l'utilisation de cette matière première dans la construction. Les nouvelles prescriptions de protection contre les incendies concernant les bâtiments en bois constituent une importante étape dans ce sens, puisqu'elles autorisent la construction d'habitations, de bureaux, d'immeubles industriels et commerciaux et de bâtiments scolaires pouvant atteindre 30 mètres de haut. À certaines conditions, les éléments porteurs et coupe-feu en bois sont également autorisés dans les bâtiments de grande hauteur. La Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics (KBOB) prépare de nouvelles recommandations, notamment concernant l'achat de bois produit durablement et les immeubles en bois dans la stratégie immobilière.

de réduire sensiblement les déchets de chantier.

44 critères de durabilité

Le SNBS permet d'évaluer les ouvrages en fonction de 44 critères. Outre la disponibilité des ressources, l'énergie grise, le mode de construction et la valorisation potentielle, ces critères concernent par exemple les enjeux urbanistiques, les équipements, les chaînes de valeur locales, la faune et la flore, la conception de la mobilité, ainsi que des aspects sociaux. Seule une approche aussi large permet de saisir la durabilité d'un ouvrage de manière réaliste. Dans ce cadre, certains critères peuvent se concurrencer, voire se contredire. Par exemple, si l'enveloppe épaisse d'un

bâtiment recèle une part d'énergie grise plus importante en mobilisant davantage de matériaux, son isolation thermique en sera accrue, ainsi que sa longévité, selon les circonstances. De telles contradictions rendent la construction durable d'autant plus complexe.

Aux yeux de David Hiltbrunner, l'approche globale encouragée par le NNBS est décisive pour que la construction et, par conséquent, le secteur du logement deviennent plus durables. Afin d'appréhender la question dans toute sa complexité, les experts de l'OFEV échangent régulièrement au sein d'une commission de coordination interne à l'office. Ce réseautage permet d'attribuer à cette problématique, capitale pour l'environnement, toute l'attention qu'elle mérite.

Les avancées de la numérisation comportent assurément aussi des opportunités considérables. De nouveaux instruments, comme le *Building Information Modeling (BIM)* (ou modélisation des informations sur le bâtiment), permettent dorénavant une conception beaucoup plus précise des projets. Il sera par exemple possible de simuler la consommation d'énergie future d'un bâtiment ou d'établir un passeport des matériaux de construction utilisés.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-10

David Hiltbrunner | Section Cycles
 matières premières | OFEV
david.hiltbrunner@bafu.admin.ch

Nouveaux scénarios sur le climat

L'avenir climatique de la Suisse se concrétise

La Suisse pourra mieux se préparer aux répercussions du changement climatique grâce à des scénarios actualisés. Les résultats de la recherche permettront notamment une planification plus efficace des systèmes d'alerte ou des ouvrages de protection. Les exploitants des centrales hydrauliques, par exemple, pourront estimer plus précisément l'évolution du régime des débits dans leur bassin versant. **Texte :** Kaspar Meuli

L'été 2018 ne sera pas oublié de sitôt à Schaffhouse. Hormis les grillades au cours des douces soirées et les concerts en plein air qui, pour une fois, n'ont pas fini sous la pluie, la période estivale la plus chaude jamais enregistrée en Suisse et les précipitations extrêmement faibles en Suisse orientale ont eu des effets nettement moins réjouissants.

« Les nouvelles données devraient favoriser la mise en œuvre des projets d'adaptation. »

Roland Hohmann | OFEV

Les chutes du Rhin, principale attraction touristique de la ville, ont ainsi beaucoup perdu de leur attrait. Le faible niveau de l'eau a transformé la plus grande cascade d'Europe en un ruisseau. Le nombre de visiteurs a diminué en conséquence. L'impact de cet été exceptionnel a été encore plus dramatique pour la centrale au fil de l'eau de Schaffhouse,

dont la production a chuté de près de moitié. La chaleur et le manque de pluie ont même eu une issue fatale pour des milliers de poissons, en causant la mort de 3 tonnes d'ombres et de truites. Ces espèces présentent des symptômes de stress dès que la température de l'eau dépasse 23 °C et sont sérieusement en danger à partir de 24 à 25 °C. En août 2018, la température du Rhin à Schaffhouse a grimpé jusqu'à 27 °C.

Des sécheresses plus fréquentes

Les problèmes qu'a connus Schaffhouse l'été dernier deviendront plus fréquents dans toute la Suisse. « Si le changement climatique ne fléchit pas, la tendance à la sécheresse s'accroîtra encore », prévient le nouveau rapport *CH2018 – Scénarios climatiques pour la Suisse*. « Vers la fin du siècle, une sécheresse qui survient actuellement une à deux fois tous les dix ans pourrait se produire une année sur deux. » Cette « perspective inquiétante de l'avenir climatique suisse », comme l'a titré le quotidien alémanique *NZZ*, a suscité un vif intérêt. En novembre 2018, plus de 700 personnes ont ainsi assisté à la présentation de cette étude à l'École

polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) et les médias en ont abondamment parlé. D'après les messages-clés de ces scénarios établis à la demande du Conseil fédéral, la Suisse connaîtra un climat plus sec, plus chaud et moins enneigé, tout en devant affronter des précipitations plus violentes.

Les scénarios CH2018

Malgré ces perspectives alarmantes, il y a quand même une bonne nouvelle : si la communauté internationale agit conformément aux objectifs de Paris et diminue les émissions de gaz à effet de serre, l'ampleur des conséquences prévues d'ici 2060 peut être réduite environ de moitié. En Suisse, il faudrait s'attendre dans ce cas à une hausse des températures estivales moyennes entre 0,9 et 2,5 °C. En l'absence d'efforts, elles augmenteraient de 2,3 à 4,4 °C.

L'avenir climatique de notre pays dépend pour l'essentiel de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre dans le monde au cours des prochaines décennies. Le rapport présente donc systématiquement un scénario d'émissions pessimiste et optimiste, en envisageant d'un côté le statu quo et, de l'autre, des

Chaud devant !

Sans la mise en œuvre de mesures de protection du climat à l'échelle mondiale, la moyenne annuelle des températures sera supérieure de 2 à 3,3 °C en Suisse en 2060 par rapport à 1981-2010. Un réchauffement de 3,3 à 5,4 °C est même probable entre 2070 et 2100 si aucune mesure n'est prise. Les vagues de chaleur estivales seront aussi plus fréquentes, plus longues et plus marquées. La journée la plus chaude pourrait atteindre 2 à 5,5 °C de plus, selon la région, d'ici le milieu du siècle. Par ailleurs, les étés caniculaires, comme celui de 2003, deviendront la norme. Les jours de forte chaleur,

qui survenaient jusqu'ici une fois par an, pourront s'élever à 18 par an en moyenne. Les longues périodes de sécheresse devraient aussi devenir monnaie courante et durer en moyenne neuf jours de plus qu'aujourd'hui. Les simulations montrent que les précipitations estivales diminueront d'ici 2060. Mais quand il pleuvra, il pleuvra très fort. Les jours de précipitations extrêmes enregistreront une pluviométrie supérieure de 10%. L'été, les précipitations dites centennales entraîneront même près de 20 % de pluie en plus.

mesures efficaces susceptibles d'atténuer fortement les effets du changement climatique.

Prévoir l'extrême

En comparaison des précédents rapports sur le climat en Suisse, cette distinction claire constitue un « grand pas en avant », se réjouit Roland Hohmann. Coresponsable de la section Rapports climatiques et adaptation aux changements à l'OFEV, il faisait partie du groupe d'accompagnement des scénarios. « Le climat change si vite qu'on communique aujourd'hui sur la base du scénario d'émissions hautes – on était plus mesuré par le passé pour ne pas être accusé de catastrophisme. » Or, si la Suisse veut en effet se préparer aux conséquences du changement climatique, elle ne doit pas simplement s'appuyer sur les bouleversements les plus probables, mais prévoir l'extrême. Reto Knutti, professeur de physique climatique à l'EPFZ, l'a bien formulé lors de la présentation : « Quand on conclut une assurance, on ne le fait pas pour un cas probable, mais pour une éventualité dont on espère qu'elle ne se produira jamais. »

Mais quel est le rôle de ces scénarios actualisés dans l'adaptation de la Suisse

aux changements climatiques ? « Rien ne changera sur le plan stratégique, précise Roland Hohmann, mais les nouvelles données devraient favoriser la mise en œuvre des projets d'adaptation. » Et qu'impliquent ces nouvelles données au niveau de la politique climatique suisse dans son ensemble ? « Les scénarios montrent clairement ce qui se passera si les efforts restent insuffisants, mais aussi les répercussions qu'une politique nationale et internationale efficace permet d'éviter », souligne l'expert.

Données et simulations plus précises

Après ceux de 2007 et de 2011, les scénarios CH2018 constituent le troisième rapport sur l'avenir climatique suisse. Il s'est avéré nécessaire de les actualiser car les connaissances sur l'ampleur du changement à l'échelle mondiale et de ses incidences régionales ne cessent de s'accroître. « Si nous comparons avec le dernier rapport, nous disposons aujourd'hui de données sur sept années supplémentaires », avance Christoph Raible, professeur de dynamique climatique à l'Université de Berne. D'où la possibilité de déterminer des tendances plus précises dans les séries de mesures. « Ces dernières années, il y

a eu en outre de nouvelles simulations aussi bien globales que régionales. Leur résolution spatiale est quatre fois plus élevée que celles des données utilisées dans le rapport de 2011. »

Des experts de MétéoSuisse, de l'EPFZ et du Centre Oeschger pour la recherche climatologique de l'Université de Berne ont élaboré les scénarios en commun. Une quarantaine de personnes ont combiné les simulations de 21 modèles informatiques différents avec les observations des tendances actuelles. Si ces scénarios confirment des éléments connus, ils fournissent également des chiffres concrets sur des évolutions au sujet desquelles la recherche n'avait apporté jusqu'ici que des appréciations générales – par exemple sur le volume des précipitations extrêmes.

De fortes disparités régionales

Comme les scénarios comportent de fortes disparités, par exemple entre le Plateau et les Alpes ou entre le nord et le sud de la Suisse, les chercheurs ont déterminé pour la première fois des valeurs en fonction des régions. Toutes ces données sont publiques et aisément accessibles sur le site internet scenarios-climatiques.ch. Un atlas en ligne, incluant près de



À l'avenir, quand il pleuvra, il pleuvra fort : les précipitations abondantes au bord du lac Majeur, en novembre 2018, ont provoqué des inondations.

Photo : ky

20 000 graphiques, livre des indications régionales spécifiques sur les journées caniculaires, les nuits tropicales ou le nombre de jours de chutes de neige. Roland Hohmann énonce l'une des utilisations possibles de ces données : « De telles informations doivent être prises en compte en cas d'investissements, par exemple dans l'aménagement d'un domaine skiable. » Les jours de neige seront en nette baisse dans les régions de haute altitude, jusqu'ici très enneigées. Par exemple, il faudra s'attendre à environ 30 jours de neige fraîche en moins par an dans les Alpes centrales vers le milieu du siècle. L'isotherme du zéro degré pourrait s'élever de 650 mètres d'ici 2060 et, l'hiver, grimper à près de 1500 mètres, soit à peu près l'altitude de Davos (GR).

Les conséquences mieux estimées

Les scénarios climatiques ne présentent pas seulement un intérêt pour les investissements dans le tourisme hivernal. Grâce à ce rapport, les organisations d'agriculteurs et les fournisseurs d'énergie, mais aussi les bureaux d'ingénieurs et d'architectes, pourront à présent mieux estimer ce qui les attend concrètement. Si les précipitations gagnent en intensité, il sera notamment nécessaire d'adapter les normes de construction. « La protection des bâtiments, les ouvrages de protection contre les crues et les systèmes d'évacuation des eaux devront être encore mieux coordonnés et correctement dimensionnés », avertit Stefan Cadosch, président de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA). Les nouvelles normes ne doivent donc plus seulement s'appuyer sur les données du passé, mais aussi tenir compte des scénarios futurs. Le secteur

Si nous agissons conformément aux objectifs de l'Accord de Paris, les conséquences pourront être réduites de moitié.

hydraulique s'intéresse pour sa part aux données liées à la disponibilité de sa ressource principale. « Les exploitants des centrales doivent pouvoir estimer comment le régime des débits évoluera dans leur bassin versant », explique Roger Pfammatter, directeur de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux (ASAE). « Pour nous, il est essentiel que les scénarios climatiques répondent à cette question sur un plan aussi bien spatial que temporel. »

Les nouveaux scénarios forment aussi une base pour les études scientifiques qui visent à aider la Suisse à faire face aux répercussions du changement climatique : à quels ravageurs l'agriculture sera-t-elle confrontée ? Comment les températures évolueront-elles dans nos ruisseaux et nos rivières ? Où les glissements de terrain dus au dégel du permafrost pourraient-ils menacer les voies de communication ? Les chercheurs en quête de réponses à ces questions, et à beaucoup d'autres encore, pourront désormais recourir à ces scénarios actualisés.

Revenons à Schaffhouse et à l'été 2018 : l'hécatombe de poissons dans le Rhin aurait pu être encore bien pire. Elle l'a notamment été lors de la canicule de 2003. L'année dernière, quand l'eau a une nouvelle fois atteint des températures critiques, la coordination entre les nombreux acteurs a fonctionné. Des affluents ombragés du Rhin ont été dragués pour créer des refuges. Des bénévoles ont capturé des poissons pour les mettre à l'abri dans des eaux plus fraîches. Les autorités étaient donc mieux préparées. Les scénarios CH2018 contribuent eux aussi à ce que nous apprenions à vivre dans un climat en pleine évolution.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-11

*Roland Hohmann | Coresponsable de la section
 Rapports climatiques et adaptation aux
 changements | OFEV
 roland.hohmann@bafu.admin.ch*

Trafic routier

Les zones 30 font leurs preuves

Le bruit de la circulation routière dérange et représente même une menace pour la santé. Pour y remédier, l'OFEV mise notamment sur les réductions de vitesse. Elles permettent en effet de modérer le trafic motorisé, tant dans les quartiers résidentiels que sur les principaux axes routiers. **Texte :** Sophie Bader

Le bruit rend malade et celui du trafic routier, omniprésent, est le plus dangereux. D'après les derniers chiffres de l'Institut tropical et de santé publique suisse (Swiss TPH) à Bâle, près de 450 personnes décèdent chaque année en Suisse des suites de maladies cardiovasculaires provoquées par le bruit routier. En comparaison, 230 personnes ont perdu la vie dans des accidents sur les routes du pays en 2017, selon l'Office fédéral de la statistique (OFS). Une personne sur sept est exposée de jour, à son domicile, à un bruit nuisible ou incommodant dû à la circulation, et une personne sur huit de nuit. Sur une population de 8,3 millions d'habitants (état en 2015), cela représente près de 1,1 million de personnes durant la journée et 1 million la nuit.

Les nuisances sonores ne sont cependant pas un problème limité aux individus puisqu'elles touchent la société dans son ensemble. Pour l'économie publique, les coûts du bruit occasionné par le trafic routier, ferroviaire et aérien sont estimés à 2,6 milliards de francs en 2015. Sur cette somme, 2,1 milliards relèvent du trafic routier.

Moins de vitesse, moins de décibels

La lutte contre le bruit routier requiert des moyens variés. Les mesures traitant le problème à sa source sont cependant prioritaires. Les revêtements de routes peu bruyants ou les réductions de la vitesse autorisée atténuent nettement les émissions sonores, ce dont profitent tous les riverains. En revanche, les parois antibruit protègent les habitants des étages inférieurs, mais n'améliorent pas la situation des appartements situés plus haut, qui restent directement exposés aux nuisances.

En Suisse, près de 90% de la population soumise à un bruit routier excessif vit dans les villes et les agglomérations. Dans les zones proches des centres urbains, la lutte contre le bruit à la source est encore plus essentielle en raison de l'espace limité. Mais il est souvent impossible de mettre en place des dispositifs de protection comme les parois antibruit. Depuis quelques années, l'aménagement de zones ou de tronçons limités à 30 kilomètres heure (km/h) prend donc de plus en plus d'importance. Sophie Hoehn, cheffe de la section Bruit routier à l'OFEV, y voit « une mesure simple, efficace et peu coûteuse conduisant immédiatement à une amélioration sensible de la situation dans les zones concernées ». Une réduction de la vitesse de 50 à 30 km/h permet de faire baisser le niveau sonore moyen de près de 3 décibels (dB), ce qui correspond à une diminution du trafic de moitié.

Des essais concluants à Lausanne

La réflexion approfondie sur la possibilité d'utiliser les zones 30 comme mesure de réduction du bruit a débuté en 2015. À l'époque, la question faisait déjà l'objet d'un débat public, ainsi que d'une grande incertitude jusque dans les offices cantonaux spécialisés : quel était le niveau réel de réduction du bruit en cas de limitation de la vitesse à 30 km/h ? Quelles étaient ses conséquences éventuelles sur le flux du trafic ? La Commission fédérale pour la lutte contre le bruit (CFLB) a donc élaboré un document de base afin d'objectiver la discussion. Il devait servir d'argumentaire pour les cantons et les communes lors de la création de zones et de tronçons limités à 30 km/h. Dans son résumé,



Dans la commune bernoise de Köniz, la création d'une zone 30 a fluidifié la circulation.

Photo : Ephraïm Bieri | Ex-Press | OFEV

« Les tronçons et les zones limités à 30 km/h sont une mesure simple, efficace et peu coûteuse. »

Sophie Hoehn | OFEV

la commission constate que « l'abaissement de la vitesse autorisée peut entraîner une diminution du bruit de plusieurs décibels ». Sur les tronçons à 30 km/h présentant une visibilité dégagée, les automobilistes ont tendance à rouler de manière plus constante et à accélérer moins bruyamment, ce qui réduit nettement les émissions sonores. Les nuits, en particulier, se révèlent plus calmes et le sommeil des riverains s'améliore.

Dans ce même rapport, il apparaît également que la création d'une zone 30 dans la commune bernoise de Köniz a permis d'augmenter la sécurité des piétons et des cyclistes tout en fluidifiant le trafic (voir encadré page 58).

Entretemps, des données concrètes sont venues confirmer l'efficacité des mesures de réduction de la vitesse à 30 km/h. Sous l'égide de l'Association suisse des ingénieurs et experts en transports (SVI) et en collaboration avec le Canton de Vaud, la Ville de Lausanne a lancé un projet pilote assorti

d'un suivi scientifique. Depuis le printemps 2017 et jusqu'à mi-2019, la vitesse est limitée à 30 km/h entre 22 h et 6 h sur l'avenue de Beaulieu et l'avenue Vinet, deux axes importants devant être assainis. Les premiers résultats sont éloquentes : les périodes présentant un niveau sonore très élevé, supérieur à 70 dB, ont été réduites de 80 %. Pendant la nuit, le bruit a diminué de 3,1 dB à l'avenue de Beaulieu et de 2,5 dB à l'avenue Vinet. En outre, près de la moitié des riverains exposés indiquent avoir perçu les effets de la limitation de vitesse.

« Une mesure efficace et peu coûteuse »

En mars 2018, le Tribunal fédéral a par ailleurs estimé que les réductions de vitesse sur les routes très fréquentées étaient licites et qu'elles étaient jugées efficaces pour lutter contre le bruit. Dans un arrêt qui fait jurisprudence, il a autorisé l'instauration d'une zone 30 à la Sevogelstrasse à Bâle, confirmant ainsi une décision prise par le canton. Il s'agit d'une route « orientée trafic », servant essentiellement à la circulation de transit et non à celle des riverains. Jusque-là, l'application sur le plan juridique de tronçons à 30 km/h sur de telles routes était controversée. Dans leur décision, les juges fédéraux ont cependant considéré qu'il s'agissait d'une « mesure efficace, peu coûteuse et donc proportionnée ». Peu après, le Tribunal fédéral a statué sur des cas similaires à Zurich, confirmant sa décision bâloise.

Réduire la vitesse pour fluidifier le trafic

Les opposants aux zones 30 avancent souvent que les mesures de réduction de la vitesse entravent l'écoulement du trafic et vont même jusqu'à le paralyser aux heures de pointe. La situation observée à Köniz depuis des années est bien différente. Le centre de cette commune bernoise de près de 40 000 habitants est traversé par une route cantonale qu'empruntent chaque jour près de 20 000 véhicules.

Lorsque la vitesse était encore de 50 km/h et la chaussée entrecoupée de passages piétons, les embouteillages massifs y étaient réguliers. Entre 2000 et 2004, le centre a été remis en valeur et densifié par la construction de restaurants et de magasins. Cet aménagement s'est accompagné de la création d'une zone 30 de près de 300 mètres. Aujourd'hui, une bande relativement large est marquée au centre de la chaussée, mais les passages

pour piétons ont disparu. « Quand cette zone a été aménagée, la réduction du bruit n'était pas une priorité », explique Ueli Weber, responsable du projet à l'époque. « Il s'agissait plutôt de permettre une cohabitation égalitaire de tous les usagers de la route. »

Depuis, le flux du trafic s'est sensiblement amélioré et les embouteillages sont nettement moins fréquents. Ueli Weber explique ce progrès par la suppression des passages pour piétons, qui occasionnaient une circulation en accordéon. Il est par ailleurs convaincu que dans la zone 30, les conducteurs sont davantage conscients de circuler dans le centre d'une localité et qu'ils font donc plus attention aux autres usagers. « La création de zones 30 ne se fait pas aux dépens de la fluidité du trafic. »

En dépit de ces nombreux faits acquis, l'opposition locale à l'introduction de tronçons ou de zones limités à 30 km/h reste considérable. Sophie Hoehn, de l'OFEV, le regrette : « En particulier sur des routes larges, offrant une bonne visibilité, les zones 30 permettent de réduire les émissions sonores de manière effective, sans que des travaux soient nécessaires. » Il en résulte une baisse du niveau acoustique moyen, lequel correspond à la moyenne des bruits qui, par définition, varient constamment ; par ailleurs, les accélérations et freinages bruyants cessent presque entièrement.

Une étude récente livre pour la première fois les bases nécessaires à l'évaluation des effets sur le bruit d'une vitesse limitée à 30 km/h. Réalisée à la demande de l'OFEV et de l'Office fédéral des routes (OFROU), elle a été menée sous la responsabilité de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS) et dresse trois constats en vue d'optimiser la réduction du bruit dans les zones à vitesse limitée : d'abord, un tronçon ou une zone à 30 km/h dégagés permettent déjà d'obtenir une réduction considérable de la vitesse. « Ensuite, il est judicieux d'assurer un bon flux du trafic, sans adaptations superflues de la chaussée, car elles occasionnent des phases d'accélération et de

ralentissement bruyants », explique Sophie Hoehn. Enfin, une zone 30 dégagée diminue les accélérations « sportives » ou « agressives » provoquant une hausse du niveau sonore. Sophie Hoehn est donc convaincue que la limitation de la vitesse à 30 km/h sera de mieux en mieux acceptée en Suisse pour lutter contre les nuisances sonores.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-12

Sophie Hoehn | Cheffe de la section Bruit routier | OFEV
sophie.hoehn@bafu.admin.ch

Transport de matières dangereuses

Sécuriser le transport de chlore

Le chlore est un produit indispensable dans l'industrie chimique. Mais son transport n'est pas sans risques. Pour réduire le danger au maximum, industrie chimique, transporteurs et offices fédéraux ont défini ensemble, sous l'égide de l'OFEV, des mesures visant à améliorer la sécurité sur le rail. **Texte :** Lucienne Rey

Un revêtement de sol à l'aspect hêtre, un vinyle des Beatles de 1969 et des conduites d'eaux usées en plastique ont, à première vue, peu de points communs. Et pourtant, ils sont fabriqués à partir du même matériau : le polychlorure de vinyle (PVC). Cette matière plastique est très polyvalente, d'autant qu'elle perd sa fragilité sous l'action des plastifiants et peut présenter à peu près n'importe quelle forme ou rigidité, que ce soit un film mince, une plaque solide ou un tuyau flexible.

Des trains spéciaux ont été mis en place et les trajets ont été raccourcis. Les agglomérations traversées sont moins nombreuses.

Comme son nom l'indique, sa fabrication nécessite du chlore (Cl₂). Si cette molécule est requise pour la production de nombreux biens, le chlorure de vinyle, matière première du PVC, représente quant à lui la majeure partie des produits chlorés. «Le chlore fait partie de notre mode de vie moderne», confirme Barbo-ra Neveršil, chargée de l'information au

Service médias de l'OFEV. Hormis pour la production de matières plastiques, il est aussi utilisé comme agent de blanchiment (par exemple de la cellulose dans la fabrication du papier) et composant de produits phytosanitaires, ou dans le traitement de l'eau et la désinfection.

Un produit hautement toxique

Dans des conditions normales, c'est-à-dire à des températures proches du point de congélation et à une pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer, le chlore est gazeux. Parmi les éléments chimiques non métalliques, c'est l'un des plus réactifs et donc toxiques : il réagit au contact des tissus humains, animaux et végétaux et les détruit. Dès une concentration de 0,5%, ce gaz à l'odeur irritante brûle la gorge et les poumons. Si, après un accident, il s'échappe d'un réservoir endommagé, il se propage à même le sol, étant plus lourd que l'air.

Le chlore est relativement bon marché. C'est pourquoi sa fabrication n'a guère sa place dans la production des entreprises suisses, qui ciblent une forte valeur ajoutée. Les deux sociétés suisses qui dépendent le plus des importations de chlore sont établies en Valais et l'achètent principalement en France.

Son transport via Genève et Lausanne implique la traversée de zones densément peuplées où des nuages de gaz proches du sol pourraient affecter des quartiers résidentiels en cas d'accident majeur. Il n'est donc pas étonnant que la population exprime son inquiétude et son opposition : «Il y a quelques années, le sujet a fait des vagues», se souvient Daniel Bonomi, de la section Prévention des accidents majeurs et mitigation des séismes à l'OFEV. Des cartes indiquant tous les lieux potentiellement menacés ont ainsi circulé, en particulier en Suisse romande.

Le Canton de Genève n'est pas resté les bras croisés. En février 2015, il a déposé une initiative cantonale à l'Assemblée fédérale visant l'arrêt des transports de chlore. Les autorités arguaient que ces transports par le rail avaient doublé dans la région en dix ans. Eu égard au risque induit par ces convois, elles se voyaient contraintes de limiter la construction de nouveaux logements le long de la voie ferrée, et ce en période de pénurie aiguë à Genève.

Nouvelle déclaration conjointe

Ni le Conseil des États ni le Conseil national n'ont donné suite à l'initiative. La réticence du monde politique s'explique notamment par le fait que



Des wagons sécurisés, destinés au transport de chlore, sont désormais utilisés.

Photo: m&ad

les acteurs concernés avaient tout mis en œuvre, de leur côté, pour réduire les risques : parmi eux, scienceindustries, l'organisation économique du secteur suisse chimie-pharma-biotech, les CFF, en tant que première entreprise de transport impliquée, l'Association des chargeurs (VAP), l'Office fédéral des transports (OFT) et l'OFEV. En septembre 2016, ils avaient tous signé la « Déclaration conjointe II sur la réduction des risques auxquels la population est exposée lors du transport de chlore en wagons-citernes », ou DC II.

La DC II faisait suite à une première Déclaration conjointe que le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la

communication (DETEC), les CFF et l'organisation antérieure à scienceindustries avaient adoptée en 2002. Les mesures convenues à l'époque, qui portaient par exemple sur l'optimisation des itinéraires et l'amélioration des wagons-citernes (équipés notamment de détecteurs de déraillement), avaient permis à l'OFT, en sa qualité d'autorité de surveillance du transport ferroviaire des marchandises dangereuses, d'annoncer en 2011 qu'il n'y avait plus aucun tronçon présentant des « risques inacceptables pour les personnes ». En 2004, une première inspection avait en effet établi que le transport de chlore entraînait de tels risques sur 34 kilomètres de tronçons au total.

La DC II va bien plus loin. « Autorités, organisations et entreprises se sont réunies afin de définir des objectifs de réduction des risques et de prendre les mesures ad hoc », explique Daniel Bonomi pour décrire ce long processus placé sous l'égide de l'OFEV.

Itinéraires et horaires modifiés

Les deux principales mesures mises en œuvre dans la première phase de la DC II jusqu'au début de l'année 2019 concernent les itinéraires et les horaires. L'industrie s'est appliquée à trouver de nouvelles sources d'approvisionnement en Italie. Plusieurs milliers de tonnes de chlore arrivent maintenant en Suisse par

le sud, ce qui raccourcit les trajets. De plus, il n'est pas nécessaire de traverser de grandes agglomérations.

Par ailleurs, un train spécial circule désormais une fois par semaine depuis la France à une vitesse réduite de 40 kilomètres à l'heure pour acheminer les wagons-citernes en Valais. Ces deux mesures contribuent à réduire le risque d'accident par dix.

D'autres mesures sont en cours de réalisation. L'une d'elles porte sur le matériel roulant. D'après la DC II, seuls les wagons les plus sûrs actuellement peuvent être utilisés pour le transport de gaz chloré; leur équipement dépasse d'ailleurs les exigences en vigueur à l'échelle internationale. Ils se démarquent par exemple par des « tampons anti-crash » optimisés, qui absorbent les chocs et protègent ainsi la structure du wagon contre d'éventuelles déformations. Enfin, les CFF s'engagent à éliminer, le long du parcours, tous les obstacles susceptibles d'endommager la paroi des wagons en cas de déraillement. Cela concerne en premier lieu les rails-repères saillants, implantés perpendiculairement en bordure de voie, qui ne sont plus nécessaires aujourd'hui. Les pays voisins doivent aussi être tenus

au courant des dispositions prises en matière de transport du chlore. À titre préventif, les plans d'intervention sont également discutés avec les autorités cantonales afin de les optimiser si nécessaire.

Production à l'échelle locale

La construction d'installations de production de chlore à proximité des consommateurs, souvent réclamée afin de réduire les risques, n'est pas à l'ordre du jour pour l'instant. Cette option est considérée comme non rentable par les entreprises car le chlore importé est nettement moins cher et qu'aucune autre solution de financement n'a été trouvée. La DC II prévoit néanmoins des mesures d'accompagnement. En vertu du principe du pollueur-payeur, les dépenses relatives aux mesures de sécurité doivent être entièrement répercutées sur les coûts de transport. La hausse des prix du chlore qui en résulte pourrait ainsi inciter les fabricants à produire la matière première nécessaire sur place.

Sachant que même le meilleur des plans ne mène nulle part si son application n'est pas contrôlée, la DC II prévoit par ailleurs un suivi sous l'égide

de l'OFEV, chargé de la surveillance de l'exécution de l'ordonnance sur les accidents majeurs. Les parties prenantes se réunissent régulièrement pour discuter des avancées réalisées au sujet de ces dispositions et engager le cas échéant de nouvelles mesures. Il s'agit ainsi de réconcilier à moyen terme les besoins de l'industrie chimique en chlore et la sécurité de la population.

Pour en savoir plus
www.bafu.admin.ch/magazine2019-2-13

Daniel Bonomi | Section Prévention des accidents majeurs et mitigation des séismes | OFEV
daniel.bonomi@bafu.admin.ch

La population mieux protégée

Les mesures formulées par les entreprises, les CFF et les autorités dans la Déclaration conjointe II (DC II) visent un objectif principal: à partir de 2019, le transport ferroviaire de chlore ne doit plus présenter de « risques non acceptables » pour la population. C'est en effet ce qu'exige le renforcement des critères d'appréciation qui s'y rapportent. L'appréciation des risques oppose la probabilité d'occurrence d'un événement

au nombre de victimes attendues. Plus le nombre de morts à craindre est élevé, plus l'événement doit être rare. Exprimée en chiffres, la probabilité qu'un événement cause par exemple 100 décès sur une année doit être inférieure à 1 sur 100 millions. En comparaison, la probabilité de gagner à la loterie suisse est près de 500 fois supérieure.

À l'office

Protection de l'air: réduction supplémentaire des émissions liées au purin

En Suisse, plus de 90 % des émissions d'ammoniac proviennent de l'agriculture, une grande partie résultant de la gestion du lisier. La réduction de ces émissions constitue un objectif majeur de la politique agricole et environnementale, qui ne pourra être atteint qu'au prix d'efforts supplémentaires. La Confédération souhaite par conséquent introduire dans l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) deux nouvelles mesures visant à diminuer les émanations d'ammoniac et d'odeurs.

D'une part, les réservoirs à purin devront être couverts en permanence afin d'éviter tout rejet d'ammoniac. D'autre part, il sera obligatoire, selon les conditions topographiques, d'épandre le purin à l'aide d'une rampe munie de tuyaux souples (pendillards) et non plus d'un déflecteur.

Ces mesures, faciles à mettre en application, correspondent aux dernières évolutions techniques. Déjà utilisées dans de nombreuses exploitations agricoles, elles ont fait leurs preuves. À l'échelle du pays, environ 90 % des réservoirs de lisier sont déjà couverts et plus de 40 % du purin est épandu au moyen de

procédés à faibles émissions. L'emploi de pendillards est encouragé depuis 2008 par des aides financières.

La généralisation de ces techniques doit permettre de poursuivre la réduction des émissions. Il en résultera une diminution des nuisances olfactives, sources de conflits réguliers avec le voisinage, mais également une baisse des effets négatifs sur les écosystèmes sensibles et la biodiversité. En effet, les dépôts d'azote dus à l'ammoniac atmosphérique entraînent une acidification et une surfertilisation des forêts et des prairies sèches, ainsi que des hauts-marais et des bas-marais.

La procédure de consultation relative à la révision de l'OPair, ouverte en mars 2019, durera jusqu'en juin 2019. Les mesures prévues devraient entrer en vigueur à partir du 1^{er} janvier 2022.

Impressum

Le magazine l'environnement de l'OFEV paraît quatre fois par an. L'abonnement est gratuit.

Abonnement

www.bafu.admin.ch/servicelecteurs | Stämpfli AG, Abomarketing, Wölflistrasse 1, 3001 Berne | +41 31 300 64 64

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV). L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). www.bafu.admin.ch, info@bafu.admin.ch

Direction du projet

Marc Chardonens, Eliane Schmid

Conception, rédaction, production

Jean-Luc Brülhart (direction), Robert Stark (suppléant), Nicolas Gattlen et Anne Gabrielle Wüst Saucy (dossier), Beat Jordi (articles hors dossier), Joël Käser et Joël Jakob (version en ligne), Tania Brasseur Wibaut (coordination Suisse romande), Valérie Fries (secrétariat de rédaction)

Collaborations externes

Andreas Bachmann, Peter Bader, Hansjakob Baumgartner, Nicolas Gattlen, Gregor Klaus, Kaspar Meuli, Lucienne Rey, Christian Schmidt, Mike Sommer

Traductions

Gabriel Domont, Claire Fantini, Lionel Felchlin, Vanja Guérin, Morgane Promonet, Petra Varilek, Magali Züblin

Réalisation et mise en page

FRANZ&RENÉ AG | Berne

Rédaction

textatelier.ch | Bienne

Délai rédactionnel

22 mars 2019

Adresse de la rédaction

OFEV, Communication, rédaction l'environnement, 3003 Berne tél. +41 58 463 03 34, magazine@bafu.admin.ch

Langues

Français, allemand; italien (dossier) uniquement en ligne

Version en ligne

Le magazine (hormis les rubriques) est disponible sur www.bafu.admin.ch/magazine.

Facebook

facebook.com/UmweltMag

Tirage

17 000 exemplaires en français | 44 000 exemplaires en allemand

Papier

Refutura, papier 100 % recyclé, certifié FSC et Ange Bleu, impression faible en COV

Corrections finales, impression et expédition

Stämpfli AG | Berne

Copyright

Reproduction des textes et des graphiques autorisée avec mention de la source et envoi d'un exemplaire justificatif à la rédaction

ISSN 1424-7135

Question de nature



Photo : mäd

#bobmorlon, de son vrai nom **Jean-Pierre Macherel**, œuvre en tant qu'employé communal à Morlon. Casquette vissée sur la tête et lunettes orange, il en a vu des vertes et des pas mûres depuis douze ans. D'aussi loin qu'il s'en souvienne, il a toujours détesté les gens qui laissent traîner leurs déchets.

Un lundi matin de juin 2016, sur les bords du lac de la Gruyère, c'est téléphone à la main qu'il s'adresse à tous. Par le biais d'une vidéo devenue virale, il exprime son ras-le-bol sur les réseaux sociaux. Trois ans et quelques vidéos plus tard, le changement est notable : un bidon de 20 litres suffit au ramassage matinal contre un container de 800 litres auparavant. L'humour et la dérision de certains de ses messages font mouche.

Dans chaque numéro de l'environnement, une personnalité s'exprime, à travers cette chronique, au sujet de la nature.

Ce qui est sûr, c'est que l'homme a inventé le recyclage bien avant qu'il n'invente les déchets. La chasse servait d'abord de nourriture, puis les peaux et les os étaient utilisés comme habits ou comme outils. Les matériaux réutilisés se dégradèrent plus ou moins rapidement. L'arrivée de la chimie et des plastiques a révolutionné notre mode de vie, mais a engendré de nouveaux types de déchets. Jusqu'à la fin des années 1990, ces derniers étaient principalement enfouis sous terre. Cela nous paraissait absolument normal. Ces gigantesques poubelles à ciel ouvert faisaient le bonheur des oiseaux : de vrais fast-foods pour animaux !

Quarante ans et de nombreuses analyses plus tard, nous nous sommes aperçus que ces pratiques, révolutionnaires à l'époque, constituaient de véritables bombes à retardement pour l'environnement... Pollutions de cours d'eau, disparition d'espèces animales, problèmes de santé publique, etc. Et soudain, la mémoire collective qui s'efface, personne ne se rappelle qui a produit ces déchets et qui les a enterrés. Des décharges doivent être assainies. Des procès sont ouverts contre les industries. Certaines font même l'objet d'un lynchage médiatique. L'apparition de centres de tri, la

récupération des déchets et leur recyclage deviennent de nouveaux marchés lucratifs mais ô combien exigeants. Tout ce qui ne peut pas être recyclé finit dans des incinérateurs dernier cri et cette combustion se transforme en source d'énergie réinjectée sous forme d'électricité ou de chaleur.

La conscience écologique devient le fer de lance de la nouvelle génération. Notre monde actuel, ultraconnecté, réveille soudain le petit écologique qui est en nous. Chacun tente d'y mettre du sien pour améliorer le quotidien de notre planète. Le plus compliqué, pour l'être humain, est de devoir faire des efforts pour l'environnement, sans pour autant quitter sa zone de confort. À ce rythme, nous oublions parfois les gestes de base du savoir-vivre. Je le dis souvent, si nous n'apprenons pas à nos enfants à dire « bonjour », « s'il vous plaît », « merci », il sera difficile de leur demander de faire preuve de bon sens dans leur vie active. Dans ce cas, autant organiser des championnats du monde de lancer de canettes vides par la fenêtre d'une voiture, des jeux olympiques du lâcher de mégots dans les bouches d'égoût ou un tournoi international de cassage de bouteilles dans les zones de pique-nique.

Si le personnage de #bobmorlon pouvait se transformer en mouvement, on en verrait un dans chaque ville ou village, dans chaque école ou lieu public, et on se rappellerait ses mots : ne changeons pas le monde, changeons nos habitudes !



Photo : Shutterstock

Dans le prochain numéro

Dans quelle mesure la numérisation est-elle durable aujourd'hui? La réalité virtuelle entraîne-t-elle une déconnexion avec la nature? Le dossier du prochain numéro se consacrera à la transformation numérique, ainsi qu'au développement des *big data*, *smart cities*, *sharing economy* et autres dans le domaine environnemental, des évolutions rendues possibles grâce aux nouvelles technologies. La numérisation offre de nombreuses opportunités dans les secteurs de l'efficacité énergétique et de l'utilisation efficiente des ressources, mais elle comporte aussi des risques.

En collaboration avec la Haute école spécialisée bernoise (BFH), l'OFEV lancera fin août 2019 un sondage en ligne sur les conséquences de la numérisation dans le domaine environnemental. Nous espérons qu'il suscitera votre intérêt. Pour y participer, il suffit d'indiquer son adresse électronique sur : www.bafu.admin.ch/sondage-digital.