POUR LA SCIENCE
HORS-SÉRIE
MAI-JUIN 2021 - Nº 111

GRAND TÉMOIN
Michel Bras
Chef cuisinier

Du champ à l'assiette

LES DÉFIS DE L'ALIMENTATION

- Santé
- Environnement
- Démographie

AGROÉCOLOGIE
UNE AGRICULTURE FONDÉE SUR LA BIODIVERSITÉ

LIPIDES
LE GRAS, C'EST BON POUR LA SANTÉ

CONSOMMATION
CALCULER L'EMPREINTE DE SON ASSIETTE

L 13264 - 111 H - F: 7,90 € - RD
Édition française de Scientific American

LES DÉFIS DE L'ALIMENTATION
HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

BEL: 9,40 € - CH: 17,10 CHF – LUX: 8,95 € - CAN: 13,20 CA$

POUR LA SCIENCE - HORS-SÉRIE - MAI-JUIN 2021 - Nº 111

Institut du Cerveau
ICM

BRAINCAST

La voix des neurones

en partenariat avec l'Institut du Cerveau

Disponible sur **www.cerveauetpsycho.fr/sr/braincast/**
ainsi que sur toutes les plateformes de podcast

Braincast est le rendez-vous des amateurs des sciences du cerveau et de leurs derniers développements, qui transforment notre société et expliquent d'une façon nouvelle nos comportements, nos pensées, nos émotions, nos désirs…

Ce podcast emmènera l'auditeur dans une conversation avec un chercheur qui a marqué sa discipline, pour revenir sur sa vie, son parcours, ce qui l'a passionné dans le monde des neurosciences.

Ce moment privilégié, axé sur l'homme ou sur la femme dans leur dimension humaine et sur les fondements de la recherche en neurosciences, va ouvrir pour l'auditeur des fenêtres sur le fonctionnement de son propre cerveau.

Cerveau & Psycho

POUR LA SCIENCE HORS-SÉRIE

www.pourlascience.fr
170 bis boulevard du Montparnasse – 75014 Paris
Tél. 01 55 42 84 00

GROUPE POUR LA SCIENCE
Directrice des rédactions: Cécile Lestienne

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE
Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin
Réviseuses: Maud Bruguière, Anne-Rozenn Jouble, Caroline Vanhoove

POUR LA SCIENCE
Rédacteur en chef: Maurice Mashaal
Rédactrice en chef adjointe: Marie-Neige Cordonnier
Rédacteurs: François Savatier, Sean Bailly
Stagiaire: Théo Torcq

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe
Community manager: Aëla Keryhuel

Conception graphique: William Londiche
Directrice artistique: Céline Lapert
Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy, Charlotte Calament
Réviseuse: Anne-Rozenn Jouble
Marketing & diffusion: Charline Buché
Cheffe de produit: Eléna Delanne
Direction du personnel: Olivia Le Prévost
Secrétariat général: Nicolas Bréon
Fabrication: Marianne Sigogne et Zoé Farré-Vilalta
Directeur de la publication et gérant: Frédéric Mériot
Anciens directeurs de la rédaction: Françoise Pétry et Philippe Boulanger
Conseiller scientifique: Hervé This
En couverture:
@ Getty Images/filo

PRESSE ET COMMUNICATION
Susan Mackie
susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France
stephanie.jullien@pourlascience.fr

ABONNEMENTS
Abonnement en ligne:
www.boutique.groupepourlascience.fr
Courriel: serviceclients@groupepourlascience.fr
Tél.: 01 86 70 01 76
Adresse postale:
Service abonnement
Groupe Pour la Science
56 rue du Rocher
75008 Paris

Tarifs d'abonnement 1 an (16 numéros)
France métropolitaine: 79 euros – Europe: 95 euros
Reste du monde: 114 euros

DIFFUSION
Contact kiosques: À Juste Titres; Alicia Abadie
Tél. 04 88 15 12 47
Information/modification de service/réassort:
www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN
Editor in chief: Laura Helmut
Acting president: Stephen Pincock
Executive vice president: Michael Florek

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue «Pour la Science», dans la revue «Scientific American», dans les livres édités par «Pour la Science» doivent être adressées par écrit à «Pour la Science S.A.R.L.», 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.
© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial «Scientific American» sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à «Pour la Science S.A.R.L.».
En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Origine du papier: Italie
Taux de fibres recyclées: 0 %
«Eutrophisation» ou «Impact sur l'eau»: Pfof 0.008kg/tonne
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-32-2813 / Certifié PEFC / pefc-france.org

LOÏC MANGIN
Rédacteur en chef adjoint

Le miroir du monde

«Dis-moi ce que tu manges, je te dirai qui tu es.» C'est le quatrième des vingt aphorismes que Jean Anthelme Brillat-Savarin place en avant-propos de sa célèbre *Physiologie du goût*, éditée en 1825. Le gastronome avait vraisemblablement en tête l'idée que la nourriture d'un individu est un révélateur de sa personnalité, de son tempérament, de sa façon d'être… Mais on peut aller plus loin dans l'interprétation, car notre alimentation influe sur notre organisme de bien des manières, notamment par les constituants essentiels qu'elle apporte à notre corps.

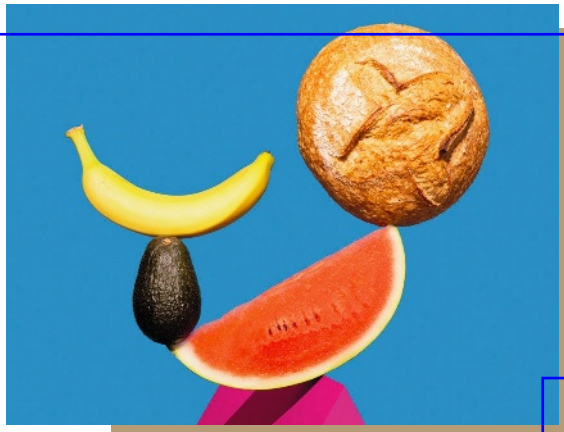
Ce que nous mangeons indique aussi où nous sommes et dans quelle société nous vivons. Force est de constater que la nôtre offre à chacun d'entre nous de multiples occasions de perturber notre comportement alimentaire: mode de vie moderne aux trop nombreuses sollicitations, offre pléthorique notamment dans les supermarchés, piètre qualité de certains produits de l'industrie agroalimentaire… Les conséquences aussi bien mentales que physiologiques sont parfois désastreuses.

Ce qui vaut pour un individu, vaut aussi pour le monde entier, comme l'affirme le troisième aphorisme de Brillat-Savarin: «La destinée des nations dépend de la manière dont elles se nourrissent.» Il y a là aussi de quoi s'inquiéter. En effet, l'agriculture mondiale a pris un virage dans les années 1950 qui lui a certes permis de nourrir une grande partie de la population sinon promise à la famine, mais au prix d'une dégradation importante de l'environnement.

Tout n'est cependant pas perdu, et une fois le diagnostic posé, ce numéro fait l'inventaire des solutions pour, d'une part, rétablir l'équilibre dans notre façon de manger au quotidien et, d'autre part, concilier l'agriculture avec les préoccupations environnementales, même quand il s'agira de nourrir 10 milliards d'êtres humains. Chacun peut prendre sa part, d'abord en faisant sien avec discernement le septième aphorisme de Brillat-Savarin: «Le plaisir de la table est de tous les âges, de toutes les conditions, de tous les pays et de tous les jours; il peut s'associer à d'autres plaisirs, et reste le dernier pour nous consoler de leur perte.» Bon appétit! ■

SOMMAIRE

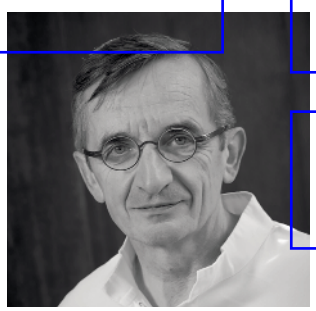
LES DÉFIS DE l'alimentation



LA SANTÉ EST DANS L'ASSIETTE

P. 6
Repères
Données, statistiques, indicateurs... l'indispensable pour apprécier ce numéro.

P. 10
Avant-propos
MICHEL BRAS
Chef cuisinier
« Le végétal a retrouvé une place prépondérante en cuisine, ce qui est bon pour la planète »



P. 16
Manger mieux, mode d'emploi
Didier Chapelot
Nous grossissons souvent parce que nous n'arrivons plus à nous adapter « spontanément » à notre environnement.

P. 22 Entretien
« Nos instincts alimentaires sont dérégulés, mais on peut y remédier »
Christophe André

P. 26
Un psychiatre dans la cuisine ?
Bret Stetka
Jusqu'où l'alimentation influence-t-elle notre santé mentale ? Comment manger en assurant le bon développement de nos neurones ?

P. 32 Entretien
« Manger bio réduit-il les risques de cancer ? »
Julia Baudry

P. 34
La recette d'une alimentation saine et durable
Anthony Fardet
Une bonne alimentation doit composer avec des aliments plutôt d'origine végétale, variés et surtout le moins transformés possible.

P. 38 Entretien
« Démontons les discours caricaturaux sur les lipides : ils sont désastreux ! »
Philippe Legrand

P. 42
La malbouffe est-elle une drogue ?
Paul Kenny
Vous succombez souvent à un burger dégoulinant de graisse ? Alors vous souffrez peut-être d'addiction.

POUR LA SCIENCE HORS-SÉRIE

N° 111
Mai-juin 2021

UNE NOUVELLE RÉVOLUTION VERTE

P. 52
Les vertus d'une agriculture fondée sur la biodiversité
Samuel Rebulard
L'agroécologie est pertinente pour aider l'agriculture à relever de nombreux défis.

P. 62
Nourrir 10 milliards d'êtres humains
Jonathan Foley
Comment doubler la production alimentaire d'ici à 2050 sans dégrader l'environnement.

P. 68 Entretien
« Sans pollinisateurs, nous devrons nous passer de fruits ! »
Jean-François Silvain

P. 72
Agroforesterie : une intensification écologique de l'agriculture ?
Christian Dupraz
Les arbres, des alliés de l'agriculture contre le changement climatique.

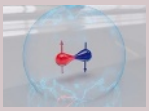
P. 80
Le retour des riz traditionnels
Debal Deb
Pourquoi ne cultive-t-on pas davantage les variétés indigènes de riz plus résistantes ?

P. 88
Empêcher le poisson de s'envoler
Daniel Pauly
L'essentiel du poisson pêché dans les pays en voie de développement est expédié à l'étranger.

P. 94
L'alimentation, la grande oubliée de l'Europe ?
Gilles Bazin
Dans la future PAC, l'alimentation n'est pas considérée comme elle le mériterait.

P. 102
Améliorer l'impact environnemental de son assiette
Vincent Colomb et Hayo van der Werf
Connaître l'impact d'un plat sur la planète aiderait les consommateurs dans leurs choix.

P. 108
À lire en plus



RENDEZ-VOUS
par Loïc Mangin

P. 110
Rebondissements
Coup de chaud d'ici à 2100
- Complexité et conscience
- Je t'hème, moi non plus
- Des bits quantiques sous protection

P. 114
Données à voir
Et soudain, la Terre s'est calmée

P. 116
Les incontournables

P. 118
Spécimen
L'attaque des chenilles tueuses

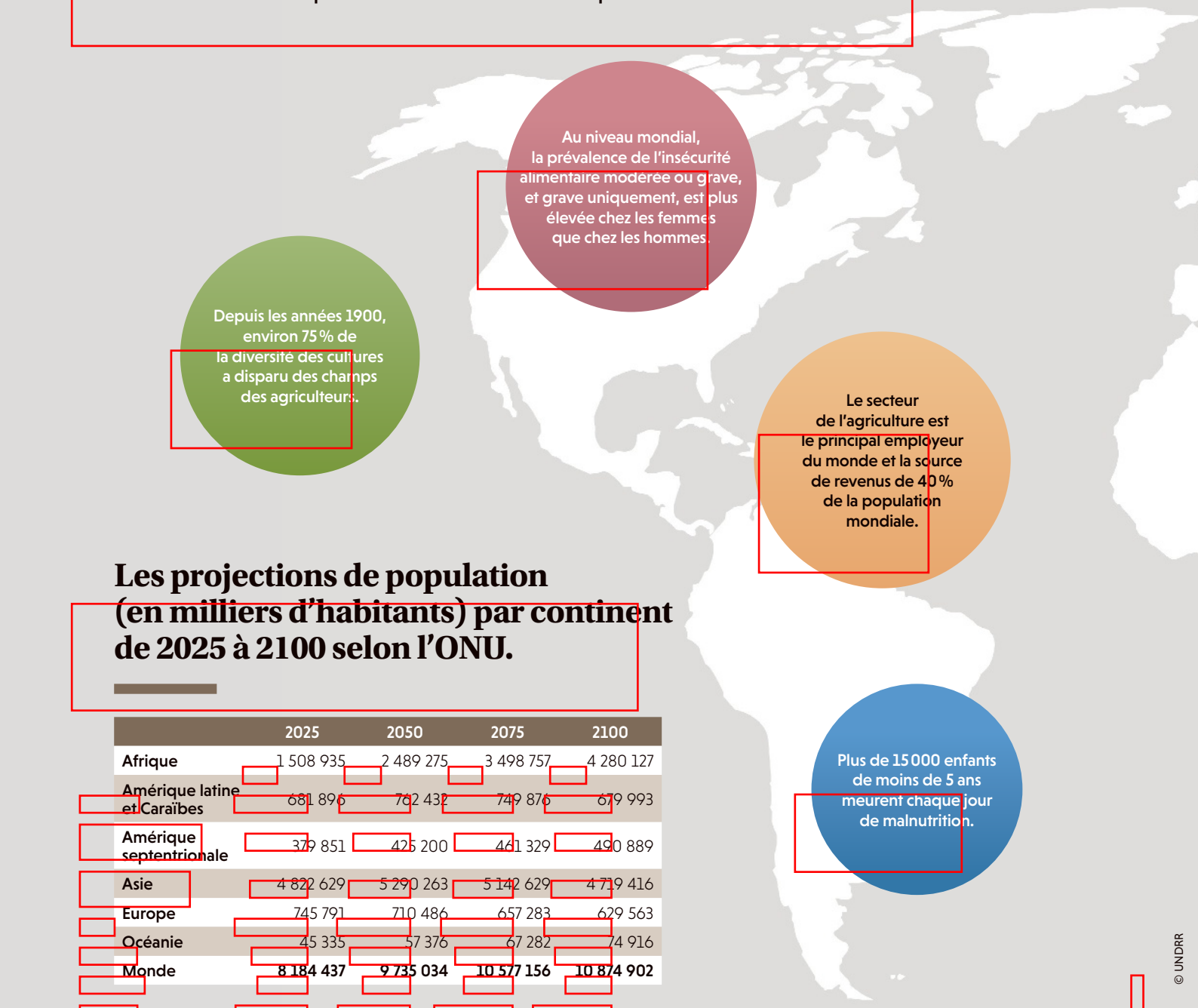
P. 120
Art & Science
L'art des bonsaïs géants

Constituez votre collection de *Hors-Séries Pour la science* Tous les numéros depuis 1996

pourlascience.fr

L'alimentation par le menu

En 2015, l'Assemblée générale de l'ONU a adopté dix-sept objectifs de développement durable (ODD) à atteindre d'ici à 2030. Le deuxième consiste à « éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable ». En d'autres termes, il s'agit de nourrir correctement 10 milliards d'êtres humains sans nuire à l'environnement. Pour y parvenir, tous les acteurs impliqués, du champ à l'assiette, de la fourche à la fourchette, sont mobilisés. Quelques chiffres et données révèlent que l'on est encore loin du compte.



Les projections de population (en milliers d'habitants) par continent de 2025 à 2100 selon l'ONU.

	2025	2050	2075	2100
Afrique	1 508 935	2 489 275	3 498 757	4 280 127
Amérique latine et Caraïbes	681 896	762 432	749 876	679 993
Amérique septentrionale	379 851	425 200	461 329	490 889
Asie	4 822 629	5 290 263	5 142 629	4 719 416
Europe	745 791	710 486	657 283	629 563
Océanie	45 335	57 376	67 282	74 916
Monde	**8 184 437**	**9 735 034**	**10 577 156**	**10 874 902**

© UNDRR

La faim dans le monde

Un rapport de la FAO paru en 2020 dresse un état des lieux sur la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde.
www.fao.org/3/ca9692fr/ca9692fr.pdf

L'essentiel des individus sous-alimentés se trouve en Asie, mais c'est en Afrique que leur nombre augmente le plus rapidement.

690 millions d'individus souffrent de la faim, soit 8,9 % de la population mondiale. C'est 10 millions de plus en 1 an et 60 millions en 5 ans. Si la tendance se poursuit, ils seront 840 millions en 2030 (9,8 % de la population).

500 millions de petites exploitations agricoles fournissent jusqu'à 80 % de la nourriture consommée dans les pays en développement.

En prenant l'ensemble des personnes touchées par une insécurité alimentaire modérée ou grave, environ 2 milliards d'humains n'ont pas régulièrement eu accès à une alimentation sûre, nutritive et suffisante en 2019.

La faim dans le monde a diminué jusqu'en 2014, où l'on comptait 629 millions d'humains sous-alimentés (8,6 % de la population mondiale), et augmente depuis en raison de la faiblesse, la stagnation ou la détérioration de l'économie.

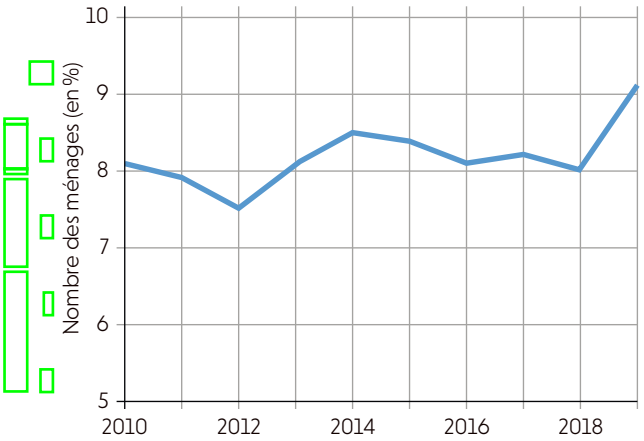
Selon une évaluation préliminaire, la pandémie de Covid-19 pourrait ajouter entre 83 et 132 millions de personnes au nombre total de personnes sous-alimentées dans le monde en 2020.

Depuis une quinzaine d'années, la fréquence croissante des phénomènes météorologiques extrêmes, l'altération de l'environnement et la propagation des parasites et des maladies contribuent à la pauvreté et à la faim.

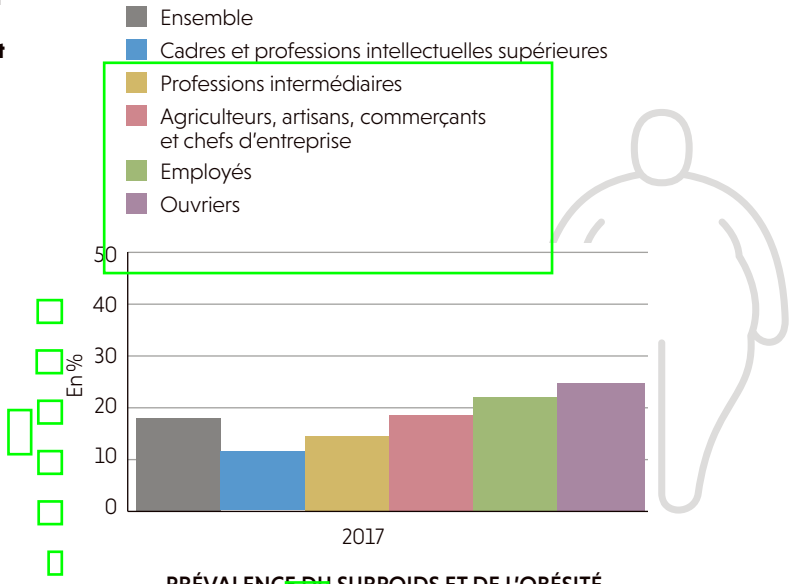
Au début des années 1990, 980 millions d'individus souffraient de malnutrition, soit 23,2 % de la population mondiale (estimée à l'époque à 5,3 milliards d'habitants).

Et la France, dans tout ça ?

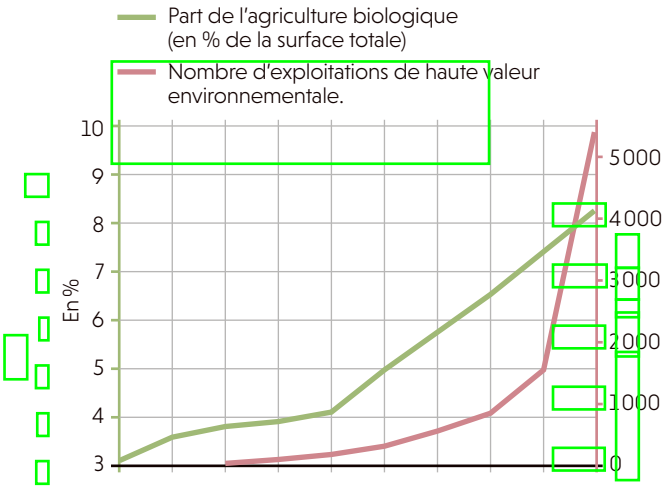
Les 17 ODD de l'ONU se décomposent en 169 critères constituant autant de cibles pour les États. L'Insee a établi un tableau de bord de 98 indicateurs révélant la trajectoire de la France dans la réalisation de ces objectifs. Le deuxième d'entre eux fait l'objet de 7 indicateurs. En voici quelques-uns.



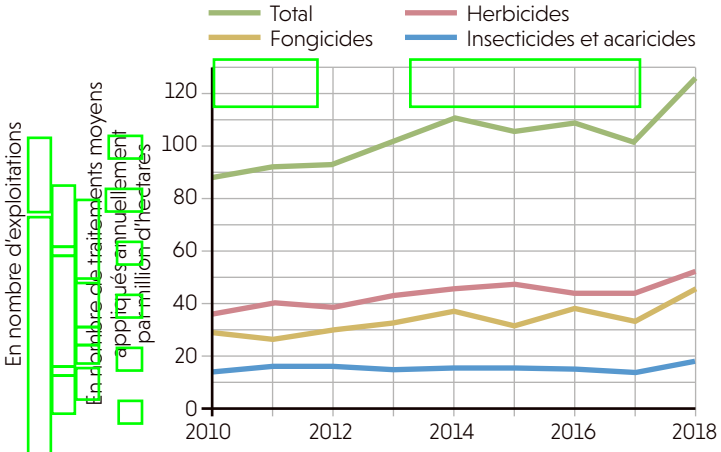
RENONCEMENT À CONSOMMER DES PROTÉINES (D'ORIGINE ANIMALE) POUR RAISONS FINANCIÈRES



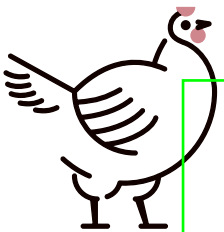
PRÉVALENCE DU SURPOIDS ET DE L'OBÉSITÉ, NOTAMMENT CHEZ LES ADOLESCENTS EN CLASSE DE TROISIÈME PAR CATÉGORIES SOCIOPROFESSIONNELLES DES PARENTS.



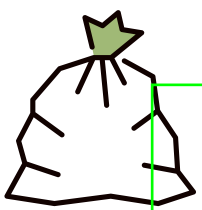
AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET EXPLOITATIONS DE HAUTE VALEUR ENVIRONNEMENTALE



CONSOMMATION DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES



Selon une enquête du Credoc, la part de la consommation de viande a baissé en moyenne de 12 % entre 2007 et 2016, cette diminution étant plus marquée chez les cadres et les professions libérales (– 19 %) puis chez les ouvriers (– 15 %).



Chaque année, 10 millions de tonnes de nourriture sont gaspillées en France. C'est l'équivalent de 15,5 millions de tonnes de CO_2, sachant que l'alimentation représente déjà 36 % des émissions de gaz à effet de serre.

Tous les enfants font des rêves mais pour certains c'est vital de les réaliser.

Depuis 1987, l'Association Petits Princes réalise les rêves des enfants gravement malades.
Pour leur donner l'énergie de se battre contre la maladie, nous avons besoin de vous.

Association Petits Princes

DON en CONFIANCE comitecharte.org

Devenez bénévole ou faites un don
www.petitsprinces.com - 01 43 35 49 00

MICHEL BRAS

« Le végétal a retrouvé une place prépondérante en cuisine, ce qui est bon pour la planète »

Parmi les enjeux liés à l'alimentation dont il est question dans ce numéro, on s'accorde à dire qu'il faut faire plus de place au végétal, qu'en pensez-vous ?

Michel Bras : C'est vrai, et ça me rassure en quelque sorte, car j'ai mis en valeur le végétal de bonne heure. Dès 1978, j'ai proposé dans mon restaurant, à Laguiole, dans l'Aubrac, un menu autour des légumes. Au départ, je n'en vendais que trois par semaine, ce qui se comprend dans un pays habité par l'élevage.

En remontant plus loin, le végétal est associé à mon enfance, quand je gambadais déjà dans l'Aubrac. Lorsque je rencontrais une mûre sauvage qui irradiait de soleil, quand je goûtais l'ail des ours, la petite oseille, la fleur de reine-des-prés, j'étais interpellé… Le végétal, c'est toute mon histoire.

Pourtant, à mes débuts, la pâtisserie m'intéressait davantage parce que je pouvais jouer au petit chimiste, mais en devenant cuisinier, de façon autodidacte, je me suis rendu compte que le végétal offrait un panel d'expressions beaucoup plus étendu. Et les voyages que j'ai pu faire avec mon épouse, par exemple en Inde, où les légumes occupent une place considérable, m'ont renforcé dans cette idée.

Si vous vous êtes porté très tôt vers le végétal, ce n'est pas le cas de tous vos confrères ni même de tout un chacun qui cuisine au quotidien…

Michel Bras : Les choses changent et nous allons même ouvrir un restaurant à Paris où la graine et la céréale seront privilégiées. Aujourd'hui le végétal a indéniablement retrouvé une place prépondérante en cuisine, ce qui est bon pour la planète aussi, après longtemps avoir été le parent pauvre, relégué au rang de simple garniture d'un plat sous la forme d'une pomme de terre vapeur ou d'une carotte posée sur le rebord de l'assiette. C'était triste…

BIO EXPRESS

4 NOVEMBRE 1946
Naissance à Gabriac, dans l'Aveyron.

1992
Ouverture de son restaurant Le Suquet, à Laguiole.

1999
Troisième étoile au guide Michelin.

2009
Passe le flambeau à son fils, Sébastien Bras.

2021
Ouverture prévue de la Halle aux Grains, à Paris.

© Bras/photo C. Bousquet

Cependant, attention aux excès, par exemple le véganisme. Sans polémiquer, je prône une nourriture équilibrée, diversifiée, animale et végétale. C'est enrichissant autant au niveau de l'expression culinaire que de la santé. Je cite souvent une phrase prêtée au philosophe grec Hippocrate : « Que ton aliment soit ton médicament. » En un mot, une nourriture travaillée avec bon sens, sans trop de gras, à la juste cuisson, n'a que des atouts.

Qu'en est-il au niveau des producteurs ?

Michel Bras : Quand je faisais mes premiers marchés, à Rodez il y a quarante ans, la qualité des produits n'était pas extraordinaire. Le maître mot était la productivité. Mais on assiste à une prise de conscience des agriculteurs qui désormais privilégient de plus en plus la qualité et se tournent vers la permaculture, l'agroécologie, l'agroforesterie… Dans ce domaine, je rencontre maintenant des gens passionnés. Dans la vallée du Lot, une terre vraiment propice au maraîchage, cette activité s'était estompée avec le temps. Et, depuis quelques années, beaucoup de jeunes viennent s'y installer, cultiver les terres et sans doute rechercher une autre qualité de vie. D'ailleurs, certains ont parfois lâché des métiers « prestigieux » et préfèrent à présent biner pour trois fois rien ! Le mouvement est général, et il a en plus l'avantage de renforcer la dimension locale des approvisionnements, ce qui diminue donc les flux de matières à plus grande échelle, et donc l'empreinte carbone de nos assiettes.

Les éleveurs ont aussi évolué. J'ai toujours voulu vendre mon pays et offrir une viande d'Aubrac, et, il y a près de quarante ans, il fallait avoir la foi, car les bêtes étaient mal engraissées, la viande était dure, pas persillée ! On faisait face aux clients en leur vantant un morceau de bœuf issu des prairies voisines, avec une certaine mâche… On se défendait comme on pouvait !

La situation n'est plus du tout la même. Les agriculteurs se sont emparés du sujet et produisent des bêtes mieux finies, avec une viande de bonne qualité. Le travail accompli a été énorme, encouragé par de nombreux labels et diverses mesures visant à privilégier la qualité par rapport à la quantité.

Ce qui est vrai des cultivateurs et des éleveurs vaut pour toute la chaîne alimentaire. Par exemple, les boulangers ont aussi fait beaucoup de progrès. Aujourd'hui, une belle baguette, un bon beurre et quelques pousses de radis dessus suffisent à me contenter.

L'idée de partage, qui avait un peu déserté nos cuisines du quotidien, fait un retour en force et l'on retrouve le plaisir de se réunir autour d'une table

Et tout le monde profite de ces améliorations ?

Michel Bras : Oui, et j'ajouterai que cette qualité arrive au bon moment. Je le vois au quotidien dans mon entourage, avec la crise du Covid-19, les gens ont réappris à cuisiner, à découvrir des produits… pour lutter contre cette solitude qui pèse. L'idée de partage, qui avait un peu déserté nos cuisines du quotidien, fait un retour en force et l'on retrouve le plaisir de se réunir autour d'une table pour un gratin dauphinois, un pot-au-feu, avec une belle bouteille. Même en famille et en cercle restreint, mesures sanitaires obligent, cette chaleur humaine qui s'était estompée est ravivée, l'aspect social de l'alimentation est de nouveau recherché. Le virage avait certes été pris avant l'apparition du nouveau coronavirus, mais je pense que la pandémie l'a accentué. Espérons que la tendance se poursuivra après.

C'est vraiment dans l'air du temps, peut-être grâce aux médias et à ces émissions de télévision. Les gens ont réappris à cuisiner et culpabilisent moins. Ils n'hésitent plus à recevoir autour d'un plat unique, sans esbroufe, sans se mettre la barre trop haut.

Un autre enjeu important lié à l'alimentation concerne le gras et les lipides sur lesquels le regard a évolué : diabolisés, ils connaissent un retour en grâce. Quel est votre avis là-dessus ?

Michel Bras : Votre question me fait penser à un ami qui, il y a quarante ans, me demandait des saucissons sans gras. Mais ça n'existe pas !

Plus sérieusement, je me rappelle une époque où toutes les sauces étaient montées avec des montagnes de beurre, dans un rapport de deux tiers : imaginez le taux de matière grasse ! Dans le même temps, on avait banni un simple jus de poulet juste perlé avec le gras rendu par la peau de la volaille. Pourtant, ces gouttes de gras, ces « perles de saveur » selon un terme que j'ai trouvé dans un vieux livre, apportent beaucoup de goût. Heureusement, les positions se sont inversées, et l'on mange dorénavant moins gras.

Cependant, sans être ni médecin ni diététicien, je crois qu'un apport de lipides, avec juste raison, ne peut pas nuire. Plus encore, il y a de bon gras dont on a besoin (*voir l'entretien avec P. Legrand, page 38*). Tous mes plats en contiennent un peu. Et chez moi, nous mangeons beaucoup de végétaux, sauf que le dimanche, avec mon épouse, notre plat de prédilection, c'est un onglet ou une belle bavette avec des frites. Et ce caractère d'exception ne fait que rendre encore meilleur ce repas !

Autre tendance de fond dans l'alimentation, on assiste à un retour de variétés ou d'espèces anciennes, oubliées ou venues d'ailleurs. Qu'est-ce que ce phénomène vous inspire ?

Michel Bras : De nos voyages, nous avons rapporté beaucoup d'espèces que nous avons acclimatées dans notre jardin, où poussent près de deux cents variétés d'aromatiques, comme du papalo (*Porophyllum ruderale*) d'Amérique du Sud ou du rau ram (*Polygonum odoratum*) du Vietnam. Ce dernier, dont le parfum très prononcé évoque la coriandre, la citronnelle, le poivre… a des feuilles dont la structure ressemble à celles de plantes que l'on retrouve au bord de nos ruis- >

seaux et que les anciens appelaient *pico lingo* c'est-à-dire «pique la langue». Par-delà les continents, ces parallèles entre plantes m'étonnent beaucoup.

Quant à l'engouement dont vous parlez, mon premier réflexe est de penser qu'il n'est pas sans risque. C'est le cas du quinoa. La graine de cette pseudocéréale constituait la nourriture du quotidien des peuples d'altitude en Bolivie, au Pérou et en Équateur. La découverte de ses vertus nutritionnelles en a fait une star à travers le monde, la demande a explosé et les prix ont augmenté déraisonnablement. Conséquence, d'abord les paysans de l'*altiplano* n'ont plus les moyens d'acheter leur aliment traditionnel, destiné en priorité à l'exportation. Ensuite, l'agriculture vivrière est négligée. Enfin, la monoculture appauvrit les sols et favorise les ravageurs et l'érosion.

Ce type de scénario a aussi eu lieu dans plusieurs pays d'Afrique, où tout ce qui relevait de l'agriculture de subsistance a été remplacé par des cultures dédiées à l'exportation. Sur ce continent, la résistance s'organise avec par exemple le projet *10 000 jardins potagers en Afrique*, porté par mouvement Slow Food, fondé en Italie en 1986 par Carlo Petrini afin de promouvoir une alimentation bonne, propre et juste. L'objectif du projet, né en 2010, est de favoriser une agriculture capable de nourrir les communautés en respectant le territoire, son équilibre écologique, les cultures et l'histoire locales, en utilisant les variétés traditionnelles... Nombre de ces jardins s'appuient sur des écoles où les enfants sont très impliqués.

Les variétés anciennes ont donc quand même quelques avantages ?

Michel Bras : Oui, bien sûr, notamment en termes de diversité de l'offre. C'est mieux d'avoir le choix, et, encore aujourd'hui, je découvre de nouvelles variétés, comme récemment avec des agrumes et même une aubergine, alors que je pensais être au parfum !

Et puis j'adore une pomme de terre que les anciens employaient pour faire l'aligot, la variété institut de Beauvais. Pauvre en amidon, il n'y a rien de mieux pour une purée, même si celle d'un cuisinier célèbre faite à partir de rates est aussi très bonne... Cette variété a été créée à la fin du XIXe siècle à l'institut agricole de Beauvais, dont elle tire son nom. Ce serait l'une des plus anciennes encore inscrites au catalogue officiel ! J'en avais trouvé la trace dans un livre du début du XXe siècle, 1924 je crois, consacré à une soixantaine de variétés, ce qui sur le plan national est déjà pas mal. Évidemment, on est loin des 3000 variétés du Pérou, berceau de la pomme de terre.

À une époque, l'institut de Beauvais avait disparu. De fait, avec ses nombreux «yeux» profonds, elle n'avait pas la pluche facile. Et puis, elle a été retravaillée par les sélectionneurs, et a refait son apparition sur les étals. Elle a gardé son allure, ses bulbes assez gros, mais les yeux sont moins nombreux...

Les questions liées à l'alimentation seraient plus faciles à résoudre avec une meilleure éducation au goût. Comment faire pour l'améliorer ?

Michel Bras : Comme avec les potagers en Afrique, tout commence à l'école et dans les cantines. Et la tâche est énorme ! J'ai pu m'en rendre compte quand j'ai fait du conseil en agroalimentaire et notamment pour le milieu scolaire. On veut y encourager le végétal, sans rien faire pour que les légumes soient assaisonnés correctement, soient goûteux... Une des clés est le budget alloué : comment faire du merveilleux avec trois fois rien ? Comment préparer deux repas de qualité avec un seul euro ? Les municipalités doivent en avoir conscience, et je crois que c'est de plus en plus le cas.

Une autre piste pour initier les enfants aux bonnes pratiques alimentaires est l'aspect ludique. Ils apprécieront d'autant plus un plat, même inhabituel, qu'ils connaîtront les histoires parfois extraordinaires qui se cachent derrière.

La dimension sociale dont nous parlions doit également être renforcée, particulièrement auprès des personnes âgées dans les Ehpad, un domaine dans lequel je me suis beaucoup investi. Dans ces établissements, j'ai prôné la réintégration de certains produits qui selon moi manquaient, comme le fromage. Et, surtout, j'ai encouragé cette notion de partage, de convivialité à table. Dans le cadre du service, on ne doit pas se contenter de verser une louche de potage, on doit aussi demander au pensionnaire s'il veut du fromage râpé, en quelle quantité... En faisant ainsi, je l'ai vu, des regards se croisent, des échanges se font, et ça suffit à apporter un peu de bonheur. N'oublions pas que dans les Ehpad, le grand moment de la journée, c'est justement le repas.

Les médias grand public ne peuvent-ils pas eux aussi contribuer ?

Michel Bras : J'aimerais voir une émission télévisée où des chefs livreraient les quelques gestes techniques, les quelques astuces nécessaires pour que tout le monde puisse s'approprier au quotidien la cuisine. Elle est souvent sur un piédestal, mais avec un peu d'imagination, on arrive à traduire de belles gourmandises avec peu de choses. On apprendrait aussi à ne pas gaspiller. Les cuisiniers ont un rôle important à jouer pour améliorer l'alimentation. Ce serait à la fois bon pour la santé humaine et pour la planète, ce qui est plutôt bien, non ?

Alors, à quand une émission de «Top Chef» consacrée aux épluchures ?

Michel Bras : Vous croyez qu'ils seraient preneurs ?

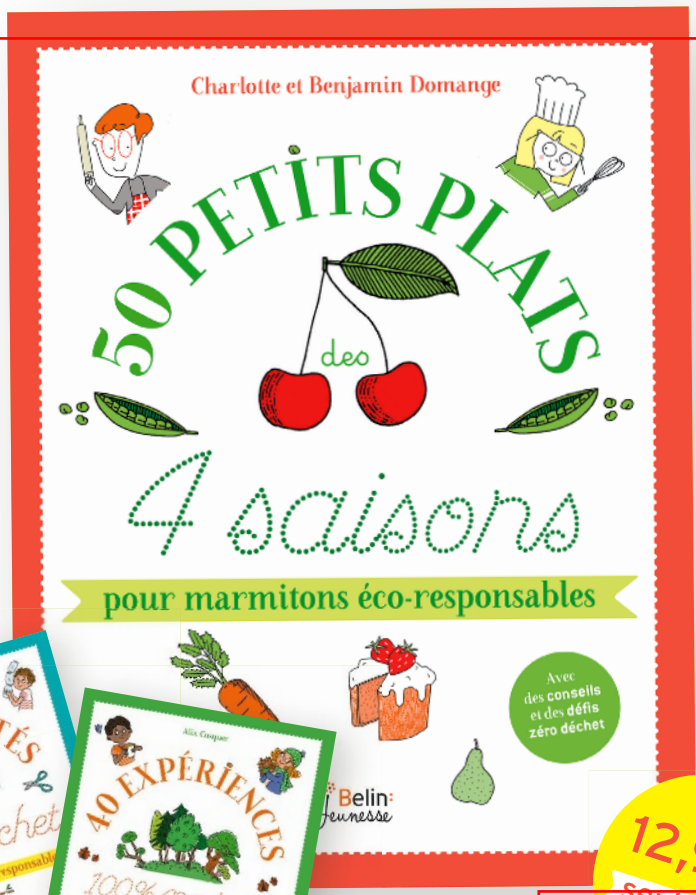
PROPOS RECUEILLIS PAR LOÏC MANGIN

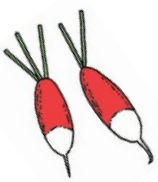
Les enfants apprécieront d'autant plus un plat, même inhabituel, qu'ils connaîtront les histoires parfois extraordinaires qui se cachent derrière

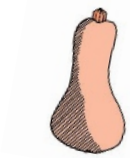
Dès 6 ans

Pour petits éco-responsables

De délicieuses recettes pour protéger la planète et être bien dans son assiette !







Dans la même collection

12,90 € seulement

En vente chez votre libraire

Belin: Jeunesse

@Belinjeunesse belin-jeunesse.com @belinjeunesse

© Getty Images/Ilka & Franz

LA SANTÉ EST DANS L'ASSIETTE

Équilibre ! Voilà le maître mot d'une alimentation réussie et saine. C'est d'abord un équilibre dans notre façon de manger : dans l'environnement complexe de nos civilisations, nos mécanismes cérébraux de régulation de l'appétit sont vulnérables. De leurs dysfonctionnements s'ensuivent alors divers troubles alimentaires dont certains mènent au surpoids. Mais on peut y remédier de plusieurs façons : se méfier de l'abondance, ne pas se laisser distraire, contrôler nos émotions, manger en pleine conscience... Ensuite, un bon équilibre dans les aliments et leur composition est le gage d'un développement harmonieux de l'organisme et en particulier du cerveau. La recette tient en quelques principes : privilégier le végétal sans en faire un absolu, rechercher la variété, ne pas bannir les lipides...

L'ESSENTIEL

- Notre comportement alimentaire repose sur une séquence physiologique précise : signal de faim, rassasiement, satiété.
- Une structure centrale du cerveau, l'hypothalamus, contrôle notre prise alimentaire en recevant des informations neuronales et hormonales de l'estomac, du tissu adipeux et du pancréas.
- De nombreux facteurs perturbent ce mécanisme de contrôle : trop d'aliments disponibles, trop de variété, le fait d'être distrait par la télévision…

L'AUTEUR

DIDIER CHAPELOT
est maître de conférences à l'université Paris 13, spécialiste de la physiologie du comportement alimentaire.

Manger mieux, mode d'emploi

Nous grossissons souvent parce que nous n'arrivons plus à nous adapter « spontanément » à notre environnement d'abondance. D'où l'importance de comprendre les mécanismes du comportement alimentaire pour garder la ligne…

Buffet à volonté ! Dans les établissements proposant ce genre d'offre, vous n'aurez pas manqué d'observer que certains n'hésitent pas à remplir des assiettes débordant de victuailles pour l'entrée, le plat, le fromage, le dessert… Assurément, l'apport calorique dépasse les besoins. Comment l'expliquer ?

Notre comportement alimentaire repose sur des mécanismes biologiques issus d'une adaptation à un environnement, qui fut relativement stable et marqué par une certaine rareté des ressources, durant de nombreux millénaires. Mais depuis quelques décennies, ces mécanismes sont confrontés à des changements de modes de vie qui perturbent cette adaptation vers un déséquilibre énergétique : les apports sont supérieurs aux dépenses. Cela conduit à un stockage d'énergie sous forme de graisse et à ce que certains nomment même une « épidémie d'obésité ».

TROP D'APPORTS ÉNERGÉTIQUES

Pour échapper à cette « sanction » pondérale, un contrôle conscient de notre alimentation s'impose. Mais si nutrition et diététique sont nécessaires, analyser le fonctionnement et d'où vient notre comportement alimentaire peut éviter de verser dans une lutte perpétuelle avec notre organisme, parfois destructrice, notamment pour l'estime de soi.

Ce comportement repose sur une séquence précise, dite « prandiale ». D'abord, un signal de faim dans le cerveau nous incite à prendre un repas. Puis le mécanisme dit de « rassasiement » provoque progressivement l'arrêt de la consommation alimentaire. Enfin, durant une période sans signal, dite de « satiété », nous n'avons pas faim. Cette séquence définit le comportement alimentaire physiologique (*voir l'encadré page 18*).

© Shutterstock.com/PR Image Factory

Toute autre consommation, par exemple quand nous mangeons sans faim, simplement par l'attrait qu'exerce sur nous un aliment, par ennui ou même pour nous consoler, peut être considérée comme répondant à d'autres facteurs, que nous serions tentés d'appeler abusivement extraphysiologiques. Ces derniers mettent simplement en œuvre des mécanismes différents, liés au plaisir et à la distraction.

UN SIGNAL DE FAIM

Détaillons la physiologie en jeu. Le mécanisme à l'origine du signal de faim fait toujours l'objet de vives controverses. L'une des hypothèses les plus robustes est celle de la «glucopénie centrale»: une chute, modérée mais subite, d'approvisionnement en glucose des neurones situés dans l'hypothalamus, la «tour de contrôle» cérébrale du comportement alimentaire, produirait ce signal. L'hypothalamus déclenche alors la prise alimentaire, en communiquant avec de nombreuses autres régions cérébrales.

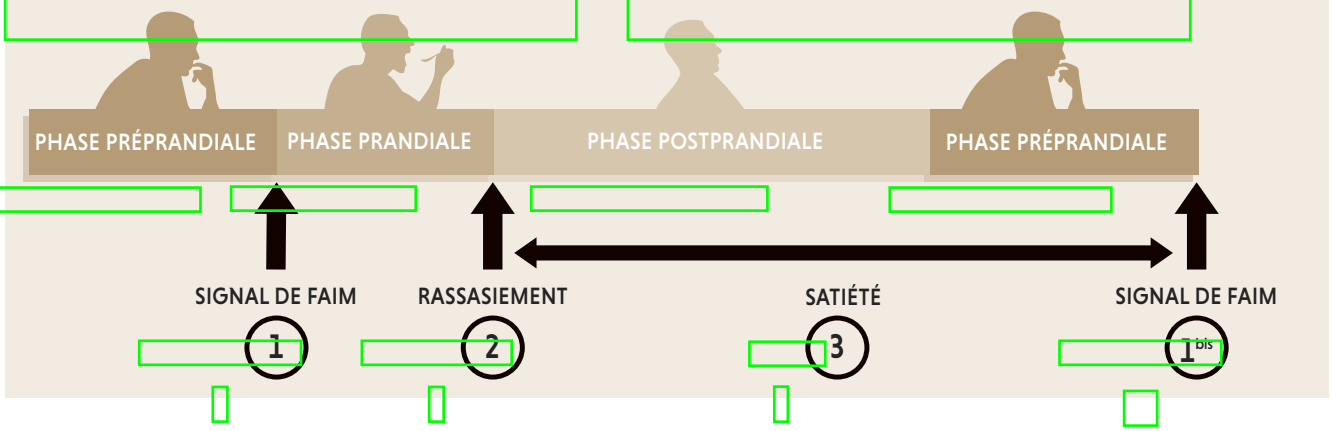
Dans la circulation sanguine, une diminution discrète, mais mesurable, de la glycémie précède le début du repas. Grâce à cela, notre équipe, sous la direction de Jeanine Louis-Sylvestre, de l'École pratique des hautes études, a montré au début des années 2000 que ce phénomène permet de «distinguer» un repas d'un en-cas: seul le premier est précédé d'une baisse de la glycémie. Grâce à la miniaturisation, les dispositifs de mesure du glucose peuvent aider à l'éducation alimentaire en indiquant les vrais signaux de faim.

Le rassasiement, quant à lui, est l'arrêt de la motivation à manger. Il est surtout sensoriel (mais pas exclusivement) : à mesure de l'ingestion d'un aliment, la cavité buccale envoie des stimuli sensoriels aux neurones de l'hypothalamus qui s'éteignent progressivement jusqu'à l'arrêt de la consommation. Il s'agit donc d'un phénomène d'habituation, une sorte d'épuisement sensoriel: nous ne sommes plus motivés à manger... cet aliment.

Toutefois, cette motivation réapparaît si un aliment nouveau est présenté. C'est la clé du repas à la française, une succession de mets, chacun entamé avec autant d'appétit, même le dessert. On parle de «rassasiement sensoriel spécifique», mis en évidence en 1981 par Barbara Rolls, alors à l'université d'Oxford. Des études chez l'animal ont cependant montré qu'un relais intestinal est nécessaire pour obtenir un arrêt >

LA SÉQUENCE PRANDIALE

Notre comportement alimentaire correspond à une séquence physiologique dite « prandiale », qui est contrôlée par le cerveau, notamment l'hypothalamus. D'abord, un signal de faim, émis par les neurones de cette région cérébrale, nous indique que nous devons prendre un repas. La phase prandiale débute. Quand nous mangeons, des mécanismes, surtout sensoriels, se mettent progressivement en place et aboutissent au rassasiement, qui interrompt le repas. Commence alors la phase postprandiale, durant laquelle nous sommes en état de satiété : nous n'avons aucune envie de manger (pendant une durée variable selon les individus et les cultures) jusqu'au signal de faim suivant, sauf si des aliments trop attirants sont aisément accessibles…



> complet du repas. Ce sont principalement les hormones intestinales et le nerf vague (qui relie les intestins au cerveau), ainsi que la distension de l'estomac, qui participent au rassasiement.

Il importe de comprendre que le rassasiement est sujet à un apprentissage, c'est-à-dire à un conditionnement. Sans même y prêter attention, nous modulons les quantités d'un aliment que nous consommons en fonction des effets que notre organisme a associés à ses caractéristiques sensorielles. Imaginez que le plat de votre déjeuner soit allégé en calories à votre insu, de sorte que vous ayez faim plus tôt dans l'après-midi. Si cela se répète, vous allez, inconsciemment, augmenter les quantités que vous vous servirez le midi. Dans les années 1980, l'équipe de Jeanine Louis-Sylvestre a montré que cet apprentissage nécessite quatre ou cinq « rencontres » avec l'aliment. C'est ainsi que nous « apprenons nos gammes sensorielles » pour que notre « partition » alimentaire soit harmonieuse.

APPRENDRE SES « GAMMES »

Ce mécanisme de rassasiement par apprentissage est essentiel, car il nous protège de la surconsommation. Nous devons permettre à ce conditionnement de se réaliser, en conservant une certaine « routine » dans le choix de nos aliments, et même dans leur association au cours d'un même repas. D'ailleurs, la variété constamment renouvelée est, chez l'animal, la procédure expérimentale la plus efficace pour le rendre obèse. Ainsi, en 2014, Amy Reichelt, de l'université de South Wales, en Australie, et ses collègues ont montré que les rats dits « cafétéria », auxquels on offre à volonté des biscuits, gâteaux, cookies et autres sucreries, prennent plus de deux fois plus de poids que les rats témoins, et que leur rassasiement sensoriel spécifique est fortement amoindri. Plus inquiétant encore, même si les aliments sont peu caloriques (et toujours très nombreux), nous aurions plus de risques de ne pas bénéficier de la « protection » du rassasiement sensoriel, de consommer trop de calories, et donc de prendre du poids.

La troisième phase de la séquence prandiale est la satiété, un état de non-faim qui persiste plusieurs heures après un repas. La satiété correspond en réalité à l'absence de motivation alimentaire : nous n'avons pas envie de manger. Plus précisément, considérons le modèle coût/bénéfice du spécialiste du comportement alimentaire George Collier : le déclenchement d'une motivation alimentaire dépend de l'effort nécessaire pour obtenir satisfaction. En dessous d'un certain seuil, par exemple quand nous sommes en présence d'aliments « attrayants », à portée de main ou aisément disponibles, le signal de faim n'est pas requis. La satiété est donc l'état dans lequel nous sommes jusqu'au signal de faim suivant, qui nous donne la motivation nécessaire pour chercher de la nourriture. Évitez donc d'avoir à votre disposition des aliments trop attrayants, susceptibles de rétablir cette motivation.

Pourquoi sommes-nous dans un état de satiété ? D'abord, la concentration en glucose

© L'Essentiel Cerveau & Psycho/Nathalie Ravier

au niveau des neurones de l'hypothalamus doit être suffisante. Mais d'autres facteurs renseignent le cerveau sur la situation périphérique, c'est-à-dire si les différents tissus et organes de l'organisme ont assez d'énergie. Le réseau d'informations périphériques, ou « afférences périphériques », est porté par des hormones provenant du tube digestif, du tissu adipeux (ou graisseux) et du pancréas.

Ainsi, l'estomac libère une hormone, la ghréline. Un temps considérée comme un déclencheur du repas, elle correspond plutôt à une « préoccupation alimentaire », issue d'un conditionnement ; sa concentration augmente quand on attend un repas. Un taux sanguin plus élevé en ghréline contribue bien à augmenter la prise alimentaire au cours du repas. Le tissu adipeux, où sont stockées la majeure partie des graisses, et le pancréas sécrètent quant à eux deux signaux de satiété, respectivement la leptine et l'insuline. La découverte de la leptine, il y a près de 30 ans, en reliant les réserves en graisse et le comportement alimentaire, montrait que le tissu adipeux n'est pas qu'une masse inerte, mais un tissu endocrine, c'est-à-dire sécrétant des hormones capables de communiquer avec notre cerveau.

Les trois afférences considérées à ce jour comme cruciales pour le contrôle du comportement alimentaire sont la ghréline, l'insuline et la leptine (*voir l'encadré page suivante*). Toutes trois agissent sur la partie inférieure de l'hypothalamus, le noyau arqué, qui correspond à une sorte de péage cérébral, puisqu'une grande partie des afférences périphériques y convergent.

Notons que ces afférences empruntent souvent une double voie, endocrine d'une part et neuronale d'autre part. Dans ce dernier cas, elles agissent *via* le nerf vague, qui relie dans les deux sens les organes des intestins au tronc cérébral, à la base du cerveau. Ainsi, à mesure du repas et dans les heures qui suivent, la distension de l'estomac et la stimulation de récepteurs intestinaux envoient par le nerf vague un signal de rassasiement qui sera interprété selon la situation dans le noyau arqué.

Tout cela donne quelques idées à certains, comme les créateurs de la start-up israélienne Melcap, qui ont mis au point une puce placée dans une gélule que le patient avale. Dans l'estomac, cette puce peut être activée grâce à une application smartphone, de sorte qu'elle stimule le nerf vague lors d'un repas pour augmenter la sensation de rassasiement et diminuer la quantité de nourriture consommée.

Revenons à nos neurones. Dans le noyau arqué, deux populations distinctes de neurones acheminent l'ordre de modération ou d'amplification de la motivation alimentaire. Les premiers sécrètent deux neuromédiateurs orexigènes (le NPY pour neuropeptide Y et l'AGPR pour *agouti-related protein*) ; ils sont activés par la ghréline. Les seconds libèrent deux neuromédiateurs anorexigènes (le CART pour *cocaïne and amphetamine regulated transcript* et le POMC pour *pro-opiomelanocortine*) ; ils sont activés par la leptine et l'insuline. Ces messagers agissent ensuite sur des structures supérieures de l'hypothalamus qui modulent le comportement. Et, nous l'avons vu, c'est le glucose qui sert d'interface avec le déclenchement du repas : dans le noyau arqué, il stimule les neurones anorexigènes et inhibe les neurones orexigènes.

Mais ces ordres sont aussi modulés par toute une série de projections neuronales provenant d'aires spécialisées dans les traitements cognitif, émotionnel et associatif du cerveau. C'est ainsi que nos émotions, nos envies ou le contexte influencent aussi notre prise alimentaire.

ET LE PLAISIR ?

Depuis longtemps, deux écoles s'opposent sur le rôle du plaisir dans la prise alimentaire. Pour les uns, le plaisir est le moteur essentiel de l'initiation du comportement : sans lui, pas de motivation. Pour les autres, le plaisir ne fait que renforcer la motivation : nous pouvons manger des aliments n'apportant aucun plaisir. Des travaux récents semblent plutôt donner raison aux seconds.

À la fin des années 1990, Kent Berridge, de l'université du Michigan, introduit le concept du *wanting versus liking* pour comprendre le rôle du plaisir dans la prise alimentaire. L'intérêt de ce modèle est de distinguer le plaisir (*liking*) de la motivation (*wanting*). Dès lors, le plaisir ne serait pas un chaînon obligatoire de la motivation. D'ailleurs, les réseaux neuronaux impliqués sont différents.

UN TAUX SANGUIN PLUS ÉLEVÉ EN GHRÉLINE CONTRIBUE À AUGMENTER LA PRISE ALIMENTAIRE

Pour preuve : le plaisir et la motivation se « déroulent » principalement dans une partie du cerveau nommée le « noyau accumbens », mais chacun dans des aires distinctes. La dopamine, neuromédiateur que l'on a longtemps cru être responsable à la fois du plaisir et de la motivation, stimule certes le noyau accumbens, mais uniquement sa périphérie : la « coquille ». Cette zone est active quand nous avons envie de manger. Or, c'est une autre zone au centre du noyau accumbens, nommée *hedonic hotspot* (le centre du plaisir), qui provoque du plaisir : elle est stimulée par des molécules opioïdes dont celles que notre cerveau libère naturellement quand nous prenons du plaisir.

Kent Berridge a décrit chez l'animal les manifestations faciales et comportementales traduisant le « plaisir » ; elles sont d'ailleurs semblables aux nouveau-nés humains et aux primates. C'est ainsi qu'il a montré que les opioïdes >

> et les endocannabinoïdes (les analogues du cannabis produits dans le cerveau) stimulent cette petite zone du noyau accumbens et provoquent du plaisir, indépendamment de la dopamine. Mais plus intéressant encore, il a révélé qu'il est possible de bloquer tout circuit du plaisir sans pour autant éteindre la motivation, engendrée par l'action de la dopamine à la périphérie du noyau accumbens.

Dans ce cas, le renforcement, le fait qu'un même comportement a plus de chances de se répéter, ne met pas en jeu une composante hédonique, mais un phénomène nommé *incentive salience* (que l'on peut traduire par « saillance stimulante »). Cela signifie que la seule présence d'un aliment peut produire la volonté de le consommer, sans que nous n'en ressentions ni n'en attendions du plaisir.

La dopamine n'est donc pas la molécule du plaisir ; elle ne nous permet pas d'associer l'aliment consommé au plaisir qu'il nous procure. Elle est plutôt le médiateur de la « compulsion » alimentaire, c'est-à-dire de la motivation à manger, même lorsque nous n'avons pas faim. Chez certains, pourtant en état de satiété, l'« hyperréactivité » de ce système activé par la dopamine expliquerait que les aliments représentent une « saillance stimulante », ce qui déclencherait une compulsion alimentaire proche de celle que nous ressentons lorsque nous avons faim.

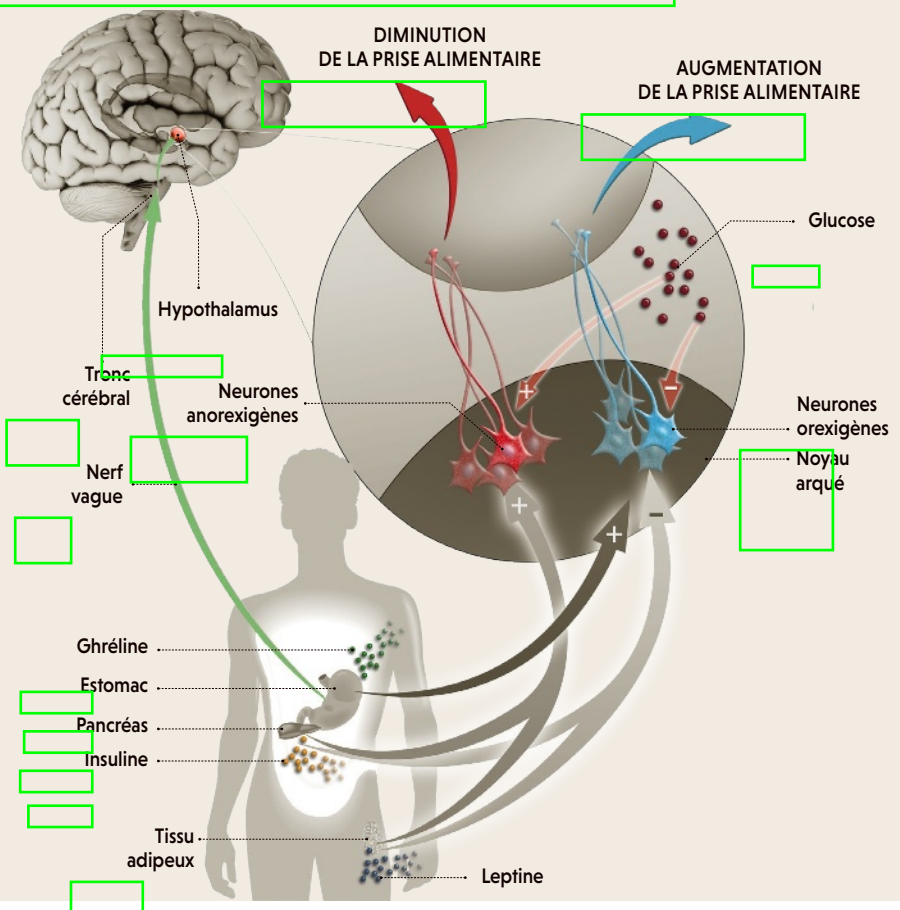
MANGER SANS PLAISIR

Le plaisir de manger n'est donc pas une finalité en soi, mais il module le désir éprouvé envers un aliment. Il participe à la récompense et renforce notre comportement vis-à-vis d'un aliment. En effet, il joue le rôle de « rhéostat », associant les propriétés sensorielles de l'aliment (saveur, odeur, apparence, texture) et la satisfaction de nos besoins métaboliques et psychiques.

Toutefois, tout ne se joue pas entre ce qu'il y a dans notre assiette, notre hypothalamus et notre tissu adipeux. Manger est rarement un acte solitaire. Nous aimons manger en famille, entre amis, entre collègues. Le rôle des facteurs sociaux sur la consommation est majeur. En revanche, leurs conséquences sont variables.

HYPOTHALAMUS ET APPÉTIT

C'est l'hypothalamus qui contrôle notre prise alimentaire. Dans son noyau arqué, il contient deux populations de neurones qui communiquent avec des structures cérébrales supérieures responsables du comportement alimentaire.
Les premiers neurones, dits « orexigènes » *(en bleu)*, stimulent la prise alimentaire ; ils sont activés par la ghréline et inhibés par le glucose, la leptine et l'insuline. Le glucose est la source d'énergie de toute cellule ; il est présent dans le sang et les tissus, dont l'hypothalamus. L'estomac sécrète la ghréline en quantité d'autant plus élevée qu'il est vide ; le tissu adipeux produit de la leptine quand les réserves de graisse augmentent ; et le pancréas libère l'insuline quand la concentration sanguine de glucose augmente.
Les seconds neurones, dits « anorexigènes » *(en rouge)*, diminuent la prise alimentaire ; ils sont activés par le glucose, la leptine et l'insuline.
En outre, le nerf vague, reliant l'estomac et les intestins au tronc cérébral puis au noyau arqué, module la prise alimentaire.



© Raphael Queruel

John De Castro, de l'université Sam-Houston, au Texas, explore depuis les années 1970 les déterminants de la prise alimentaire dans l'écosystème naturel des êtres humains. Il a notamment montré que manger avec d'autres convives augmente la dimension des repas proportionnellement au nombre de participants. Le fait de voir manger les autres nous inciterait à consommer, et les repas pris en groupe étant souvent plus festifs, nous mangerions davantage. Ce qui paraît contradictoire avec les recommandations habituelles selon lesquelles mieux vaut manger en famille que seul devant la télévision...

LE MANGEUR DISTRAIT

C'est que l'impact des facteurs sociaux sur l'alimentation est très nuancé. Ainsi, une série d'études menées entre 2010 et 2012 en Île-de-France par France Bellisle, de l'Inra, et ses collègues a révélé que la convivialité diminue plutôt la consommation alimentaire des jeunes femmes et des adolescents. En revanche, dans ces études, la télévision augmente la prise alimentaire des adolescents en surpoids ou obèses. Il est désormais bien établi que la télévision favorise l'obésité, non seulement par la sédentarité et le grignotage, mais aussi par la stimulation de la prise de repas. Quelle en est la raison?

La distraction contribuerait largement à cet effet. En 2013, l'équipe de Suzanne Higgs, de l'université de Birmingham, a analysé 24 études sur la consommation alimentaire et conclu que la distraction augmente la quantité d'aliments consommée au cours du repas, mais plus encore celle consommée plus tard dans la journée... comme si l'état de satiété était diminué. Cet effet serait largement contrecarré par plus d'attention à ce que nous mangeons. D'autres distractions, comme la musique, sont susceptibles d'augmenter la consommation lors d'un repas.

Les conséquences pratiques sont importantes, notamment d'inciter à cultiver une certaine attention à ce que nous mangeons, non pas pour y exercer un contrôle cognitif excessif, mais pour que les mécanismes inconscients, que nous avons décrits, puissent s'exprimer de manière fine et complète. D'ailleurs, si vous avez un animal domestique, vous savez qu'il n'apprécie guère que vous le distrayiez lorsqu'il mange...

Nous ne saurions conclure sans évoquer le rôle essentiel de l'activité physique. Dès 1967, Jean Mayer et Donald Thomas, de l'École de santé publique de Harvard, ont montré que des rats compensent exactement la dépense énergétique occasionnée par des séances d'exercice physique en mangeant, de sorte que leur poids se maintienne. Plus important encore, l'absence d'exercice physique conduit à une surconsommation, apparemment paradoxale, et à une prise de poids importante et rapide.

En fait, ce n'est pas si paradoxal que cela quand on sait que le lien «descendant» entre cerveau et périphérie se fait en grande partie *via* le système nerveux dit «autonome» qui est entretenu par... l'exercice physique! Donc, sans exercice physique, ce lien n'est pas pleinement fonctionnel, de sorte que l'organisme n'adapte pas correctement les apports énergétiques aux dépenses. Voilà qui devrait s'ajouter aux arguments en faveur d'une activité physique quotidienne.

Mais comme les rats, compensons-nous l'énergie dépensée au cours d'une séance d'exercice physique en mangeant plus? En 2013, en reprenant l'ensemble des études publiées, Matthew Schubert, de l'université Griffith, en Australie, et ses collègues ont conclu qu'il n'y a pas, en moyenne, de compensation énergétique, que ce soit lors du repas qui suit la séance ou dans les 24 heures. En d'autres termes, les mécanismes de dépense énergétique piocheraient en priorité dans les réserves du tissu adipeux plutôt qu'en stimulant la motivation alimentaire. Bien sûr, cela nécessite d'avoir des réserves corporelles suffisantes. Le sportif «sec», c'est-à-dire avec une très faible masse grasse, récupère partiellement, voire entièrement, l'énergie consommée en mangeant.

LA PART DE L'ENVIRONNEMENT

Finalement, notre comportement alimentaire dépend-il plus de notre environnement que de notre physiologie? En 2011, De Castro estimait à 86% la part de l'environnement dans la prise alimentaire, réduisant à la portion congrue la part de la neurobiologie. C'est une vision réductrice qui méconnaît le rôle de la biologie dans l'impact de l'environnement; l'idée qu'il n'y aurait pas de réponse physiologique aux facteurs environnementaux est fausse. Comme nous l'avons dit, en s'accroissant, la masse grasse produit de la leptine, qui diminue au niveau cérébral la motivation alimentaire. Aussi certains n'ont-ils pas besoin de se restreindre volontairement après quelques jours d'agapes festives, leur corps procédant spontanément à cet ajustement.

L'interdépendance des neuromédiateurs et leur ubiquité rendent donc à ce jour illusoire la séparation entre phénomènes internes et externes à l'organisme. Le comportement alimentaire est le type même de mécanisme intégratif qui peine à se décrire de manière simplifiée. Pourtant, si nous apprenions à ceux qui en ont besoin comment fonctionne leur organisme vis-à-vis de la nourriture, qui sait si nous ne trouverions pas plus de solutions aux problèmes de suralimentation que rencontre une part croissante de l'humanité. ■

NOS ÉMOTIONS, NOS ENVIES OU LE CONTEXTE INFLUENCENT NOTRE PRISE ALIMENTAIRE

BIBLIOGRAPHIE

D. CHAPELOT ET K. CHARLOT, Physiology of energy homeostasis: Models, actors, challenges and the glucoadipostatic loop, *Metabolism*, vol. 92, pp. 11-25, 2019.

D. CHAPELOT, Quantifying satiation and satiety, in Satiation, satiety and the control of food intake, Theory and practice, Woodhead Publishing Series in *Food Science*, 2013.

A. MEKHMOUKH *ET AL.*, Influence of environmental factors on meal intake in overweight and normal-weight male adolescents. A laboratory study, *Appetite*, vol. 59, pp. 90-95, 2012.

D. CHAPELOT ET J. LOUIS-SYLVESTRE, *Les Comportements alimentaires*, Lavoisier, 2004.

D. CHAPELOT *ET AL.*, A role for glucose and insulin preprandial profiles to differentiate meals and snacks, *Physiology Behavior*, vol. 80, pp. 721-731, 2004.

CHRISTOPHE ANDRÉ

« Nos instincts alimentaires sont dérégulés, mais on peut y remédier »

Pourquoi manger est-il devenu un problème pour beaucoup ?

Christophe André : Je vais vous répondre par une autre question : quand avez-vous eu faim pour la dernière fois ? Pour ma part, je sais en tout cas que cela fait assez longtemps. Nous ne nous en apercevons même plus : nous avons perdu la vraie sensation de la faim – et par conséquent, celle de la satiété. Je ne dis pas ici qu'il faudrait retourner à une situation économique ou historique telle que nous devrions souffrir de la faim. Simplement, il s'agit de retrouver le sens de la satiété. Car la satiété est le signal de notre corps qui nous dit si nous avons assez mangé ou non. En l'absence de ce signal, nous recherchons mille conseils et instructions pour savoir comment nous alimenter. Notre société, qui a banni la faim, a en même temps fait la part belle aux donneurs de conseils en matière de diététique.

Qu'est-ce qui dérégule ces signaux ?

Christophe André : Partout et en permanence, la nourriture nous est présentée à profusion. Jamais dans l'histoire de l'humanité un nombre aussi grand d'individus n'a eu un accès aussi large à la nourriture. La société occidentale a atteint une sorte de folie de ce point de vue. À la fois quantitativement, et parce qu'on nous incite en tout temps et en tout lieu à consommer de la nourriture. Un exemple représentatif, parce que se rapportant aux étapes les plus précoces de la vie : nous avons parfaitement intégré l'idée que nos enfants auront un coup de barre à l'école à différentes heures de la journée, et qu'il faut absolument ajouter une barre énergétique dans leur sac, ce qui dérégule la glycémie et provoque ce que l'on redoute. Alors que si l'on a bien mangé le matin, le coup de barre n'arrive pas. La dérégulation est aussi qualitative : nourriture chargée en exhausteurs de goût, trop salée, trop sucrée. Nous ne pouvons plus faire confiance à nos instincts car ils sont dérégulés.

Comment retrouver le sens de la satiété ?

Christophe André : Nos instincts alimentaires étant en grande partie dérégulés, nous devons utiliser pour cela notre conscience, qui peut toujours être développée. C'est cette conscience qui peut nous aider, à force de temps et de discipline, à mieux savoir ce qui nous incite à

BIO EXPRESS

12 JUIN 1956
Naissance à Montpellier.

1980
Doctorat en médecine à Toulouse.

1992-2018
Médecin psychiatre à l'hôpital Sainte-Anne, à Paris.

2019
Publie *Le Temps de méditer*, aux éditions de L'Iconoclaste.

manger. Je veux parler en premier lieu des influences dont il a été question plus haut. Ainsi, savoir que la taille des portions proposées dans le commerce nous incite à manger plus sans que nous en ayons besoin permet d'opter pour des portions plus modestes. Avoir conscience du fait que la simple vue d'un fast-food diminue notre perception des saveurs (comme cela a été établi en 2013 par une équipe de chercheurs canadiens) et que donc, pour cette raison, nous avons tendance à compenser la qualité par la quantité, tout cela doit faire partie aujourd'hui de notre éducation à l'alimentation.

Quel est le rôle de nos émotions dans l'alimentation ?

Christophe André : Ce rôle est aussi important que celui des influences externes. Notamment, nous mangeons bien souvent non pas pour nous nourrir mais pour des raisons affectives ou personnelles. La plus courante est l'ennui ou la lassitude : l'envie de manger nous prend « au creux de la vague », parce que l'on est fatigué de travailler, que l'on cherche à se distraire ou à se faire plaisir. Il ne s'agit pas de faim ni de besoin, mais de moments où l'aliment régule l'affect. Ce besoin de régulation devient particulièrement puissant en situation de stress. Combien de patients viennent consulter en disant que manger les apaise… Malheureusement, les raisons du stress aujourd'hui sont souvent liées à l'accélération des rythmes de travail. Ironie du sort, la vitesse est en soi un ennemi de la satiété, puisqu'on sait que celle-ci a besoin d'un minimum de temps pour prendre forme dans notre cerveau !

Comment défaire l'association stress-alimentation ?

Christophe André : Par la conscience. Les patients soumis à cet engrenage décrivent toujours un même enchaînement d'émotions et d'actions : un malaise intérieur suivi d'une impulsion à aller manger ou boire. C'est un phénomène de compensation : une situation initiale de détresse fait place à une solution toute faite. Le patient en retire un sentiment de contrôle qui atténue son impression d'impuissance face à sa propre détresse psychique. L'enjeu, pour lui, est alors de prendre conscience de ce mécanisme. Puis, avec l'aide de son thérapeute, d'examiner quelle peut être la meilleure façon d'interrompre la réponse automatisée aux moments de détresse intérieure. Des gestes simples suffisent parfois : respirer, s'arrêter, se demander ce qui s'est passé, savoir ce que l'on a envie de faire maintenant, se demander si cela va résoudre les problèmes. La conscience, dans ce contexte, est le début de la solution : à chaque fois que la personne intercale un espace de conscience au sein de la séquence automatique qui s'accomplit, elle diffère l'accomplissement de l'impulsion et, peu à peu, entrave ses automatismes. Développer sa conscience de ses émotions et de ses sensations peut se faire par la méditation de pleine conscience, éventuellement associée à une approche de thérapie comportementale et cognitive visant à remplacer les pensées ou les gestes inappropriés par de nouveaux, plus constructifs.

En quoi consiste l'acte de « manger en pleine conscience » ?

Christophe André : Un bon exemple est l'exercice du grain de raisin. Ayant réuni une douzaine de participants, le thérapeute fait passer parmi eux un sachet de raisins secs en leur demandant d'en prendre un – mais sans le manger. Il s'agit donc, dans un premier temps, de résister à la tentation de l'avaler. Puis se déroule une série d'instructions : « Regardez ce grain de raisin » ; « Reniflez-le » ; « Mettez-le dans votre bouche » ; « Passez la langue dessus, essayez de sentir la saveur » ; « Donnez un premier coup de dent, sans mâcher et sans avaler, sentez le goût du raisin » ; « Donnez un deuxième coup de dent, mâchez, avalez : que reste-t-il comme impression dans votre bouche ? » Au total, les patients passent environ un quart d'heure avec ce grain de raisin. Ils se rendent compte de tout ce qu'ils éprouvent en mangeant un si petit morceau de nourriture. Leur conscience de leurs sensations et de leurs impressions est décuplée. Alors qu'ils reconnaissent avaler ces raisins par poignées à l'apéritif sans y faire attention. Mais à la suite de cet exercice, ils s'aperçoivent que lorsqu'on prend conscience du fait de manger, quand on ralentit en tournant son attention sur ce qu'on est en train de faire, on découvre des richesses auxquelles on était aveugle auparavant.

Qu'est-ce qui nous empêche de voir les « richesses simples » de l'assiette ?

Christophe André : Le manque de temps, tout d'abord. Mais aussi l'importance accordée à l'aspect matériel de nos actions et à leur rentabilité. Les psychologues commencent à identifier les effets du matérialisme sur l'alimentation. Par exemple, en demandant à des personnes de penser à de l'argent, ils constatent qu'elles prennent ensuite moins le temps de déguster et de savourer des chocolats. L'argent crée l'impatience alimentaire… Ainsi, bien manger – telle n'est pas la moindre leçon de ces observations – suppose peut-être de bien vivre et de savoir où placer ses priorités.

Peut-on manger en pleine conscience quotidiennement ?

Christophe André : Évidemment, les contraintes de la vie professionnelle et familiale rendent difficile une approche aussi ralentie des repas. Disons qu'une bonne solution est de le faire de temps en temps. Concrètement, les patients débutent par un programme de huit semaines puis doivent prendre un repas en pleine conscience une fois par semaine. Ils ne doivent pas lire en mangeant, ni téléphoner : simplement regarder les aliments, les sentir, en percevoir le goût, la texture, tout en se demandant s'ils mangent juste pour finir leur assiette, ou parce qu'ils ne savent pas quoi faire d'autre. Le but, pour le patient, est de savoir détecter son propre niveau de satiété, afin de savoir s'arrêter au bon moment. Les méditants, plusieurs études l'ont montré, détectent mieux que les autres personnes ce niveau de satiété. C'est sans doute ce qui fait que la méditation de pleine conscience est efficace pour lutter contre l'obésité. En améliorant notre conscience du corps, elle >

Nous mangeons souvent, non pas pour nous nourrir, mais pour des raisons affectives ou personnelles

© Shutterstock.com/Nataly Studio

MANGER SANS FAIM

Notre « instinct » ne suffit plus aujourd'hui pour nous indiquer quoi manger, ni en quelle quantité. Cet instinct est dérégulé par des signaux dont notre environnement social est saturé : publicités, logos et marques de produits qui, ancrés dans notre mémoire et nos représentations mentales, font naître à tout moment l'envie de manger (d'autant qu'il est aisé d'assouvir immédiatement ces besoins si l'envie nous en prend). L'extrême visibilité de la nourriture mise en avant sous tous ses formats, emballages, vitrines, devantures de magasins, aux caisses de supermarchés ou à la télévision, est aussi un facteur déclencheur : des expériences ont montré que des bonbons placés dans des bocaux transparents sont mangés 46 % plus vite que dans des bocaux opaques…

Par ailleurs, trente années de recherches ont montré que des portions plus larges conduisent à ingérer davantage de nourriture, même lorsque celle-ci est de mauvaise qualité et peu savoureuse. Or, la taille des portions alimentaires est une des caractéristiques de nos sociétés qui ont constamment augmenté depuis le Moyen Âge. En 2010, une étude a montré que la taille des portions dans les représentations du dernier repas du Christ a pratiquement doublé entre le XII[e] et le XVIII[e] siècle, avant même la révolution industrielle qui a elle-même augmenté la production alimentaire.

Tout au long de la journée, notre appétit est mis en branle par des horaires, des habitudes et aussi… par les autres. Des expériences ont ainsi révélé que des étudiants mangent d'autant plus qu'ils voient d'autres étudiants faire de même. Le plus étonnant est qu'ils attribuent leur appétence à la faim, signe que cette sensation est malléable et influençable par l'environnement. Pour revenir à une satiété plus conforme à nos besoins, prendre conscience de ces influences est crucial.

> nous affranchit du déterminisme de nos humeurs et des incitations alimentaires délivrées sans interruption par notre environnement.

Les changements obtenus dans les premières semaines se maintiennent-ils par la suite ?

Christophe André : Au cours des premières séances de pleine conscience, cette nouvelle façon de manger procède d'une démarche volontaire qui demande des efforts de concentration et de contrôle de soi. Mais peu à peu, elle devient pour ainsi dire naturelle. Nous avons des retours de suivi de certains patients, qui reviennent deux fois par mois pour faire le point. Chez une partie d'entre eux – un tiers, environ – le rapport à la nourriture a été modifié de façon profonde, sans qu'ils aient dû se faire violence. Au cours d'un repas en famille, ou d'un déjeuner d'affaires, alors qu'ils pourraient se laisser aller à enchaîner les coups de fourchette, ils éprouvent de temps à autre le besoin de s'arrêter de manger, de ressentir ce qui se passe en eux. Ils constatent aussi qu'à l'occasion de moments de stress ou de fatigue, leur ancien rapport à la nourriture refait surface, enclenchant une alimentation plus compulsive. C'est alors le moment de produire un autre acte de conscience : se rendre compte que l'on mange en réaction à des tensions intérieures…

Bon nombre d'entre nous mangent parfois devant un écran. Quel est l'impact de cette habitude ?

Christophe André : Les images capturent notre attention, laquelle ne peut plus alors être dirigée vers l'acte de manger. Vous pouvez croire partager votre attention entre ces deux actions, mais ce n'est pas le cas. Nous ne pouvons pas focaliser notre attention sur deux choses à la fois. Cet effet est particulièrement préoccupant parce que 20% du temps passé par les Français à manger l'est devant la télévision, selon un rapport de l'Insee en 2010. Pendant toutes ces heures passées à regarder défiler des images ou des sons, nous sommes dans un état d'absence relative où ce qui entre dans notre estomac est pour ainsi dire « perdu » pour notre conscience. Le résultat est très net : en 2013, une étude britannique montrait que nous ingérions 25 % de nourriture en plus lorsque nous prenons un repas devant le petit écran.

La télévision n'est pas le seul facteur de distraction qui fait obstacle aux moments de pleine conscience. Le même effet se produit lorsque nous mangeons devant notre smartphone pendant la pause de midi, ce qui est le cas de nombreux salariés aujourd'hui. Il s'agit le plus souvent de se distraire en mangeant, or la conscience peut difficilement se développer dans la distraction.

Pourquoi est-ce si difficile d'être concentré sur ce que l'on fait ?

Christophe André : Ce problème ne se pose pas seulement pour notre rapport à l'alimentation. J'entendais récemment des parents me dire que lorsqu'ils lisaient des histoires à leurs enfants le soir, ils avaient déjà hâte que ce soit terminé, qu'ils étaient préoccupés par ce qui leur restait à faire, que ce soit le programme télé du soir ou un fil d'info à suivre. Je pense aussi aux promeneurs du dimanche que l'on voit parfois avec leurs téléphones portables dans la forêt, entourés de leurs proches, mais sans être véritablement à ce qu'ils font, détournés de l'instant par un fil invisible qui les relie à autre chose, ailleurs, sans véritable attention à ce qui se passe ici et maintenant. Beaucoup de nos activités sont polluées par ces valeurs de vitesse, de réactivité, d'accélération, de rentabilisation du temps. Il y a vingt ans, un journaliste a créé un terme pour désigner cette surenchère informationnelle. Il parle d'« infobésité ». ■

PROPOS RECUEILLIS PAR SÉBASTIEN BOHLER

BIBLIOGRAPHIE

J. QUOIDBACH *ET AL.*, Money Giveth, Money Taketh Away: The Dual Effect of Wealth on Happiness, *Psychological Science*, vol. 21, pp. 759-763, 2010.

B. WANSINK, Environmental factors that increase the food intake and consumption volume of unknowing consumers, *Annu. Rev. Nutr.* vol. 24, pp. 455-479, 2004.

Le site de Ch. André : http://christopheandre.com

OFFRE D'ABONNEMENT 1 AN

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

2 FORMULES AU CHOIX

	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an		✓
Le hors-série papier 4 numéros par an	✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an		✓
Accès à pourlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996		✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	**79 €** Au lieu de ~~114,40 €~~	**99 €** Au lieu de ~~174,40 €~~
	31 % de réduction *	**43 %** de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :
Service Abonnement Pour La Science - 56 rue du Rocher - 75008 Paris - serviceclients@groupepourlascience.fr

PAG21STDDOS

☑ **OUI, je m'abonne pour 1 an à POUR LA SCIENCE**

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher)

☐ FORMULE **PAPIER + HORS SÉRIE** — **79€** Au lieu de ~~114,40€~~
- 12 n° du magazine papier
- 4 Hors-série papier

1-F-HSPAP-N-12N-79€

☐ FORMULE **INTÉGRALE** — **99€** Au lieu de ~~174,40€~~
- 12 n° du magazine (papier et numérique)
- 4 Hors-série (papier et numérique)
- Accès illimité aux contenus en ligne

1-F-INT-N-12N-99€

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/03/2022 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site boutique.groupepourlascience.fr. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément les numéros de *Pour la Science* pour 6,90 € et les hors-séries pour 7,90 €.

2 / J'indique mes coordonnées

☐ M. ☐ Mme

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code postal ..... Ville : .....

Téléphone .....

Email : (indispensable pour la formule intégrale)

..... @.....

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / Je choisis mon mode de règlement

☐ **Par chèque** à l'ordre de *Pour la Science* en nous retournant ce bulletin d'abonnement complété

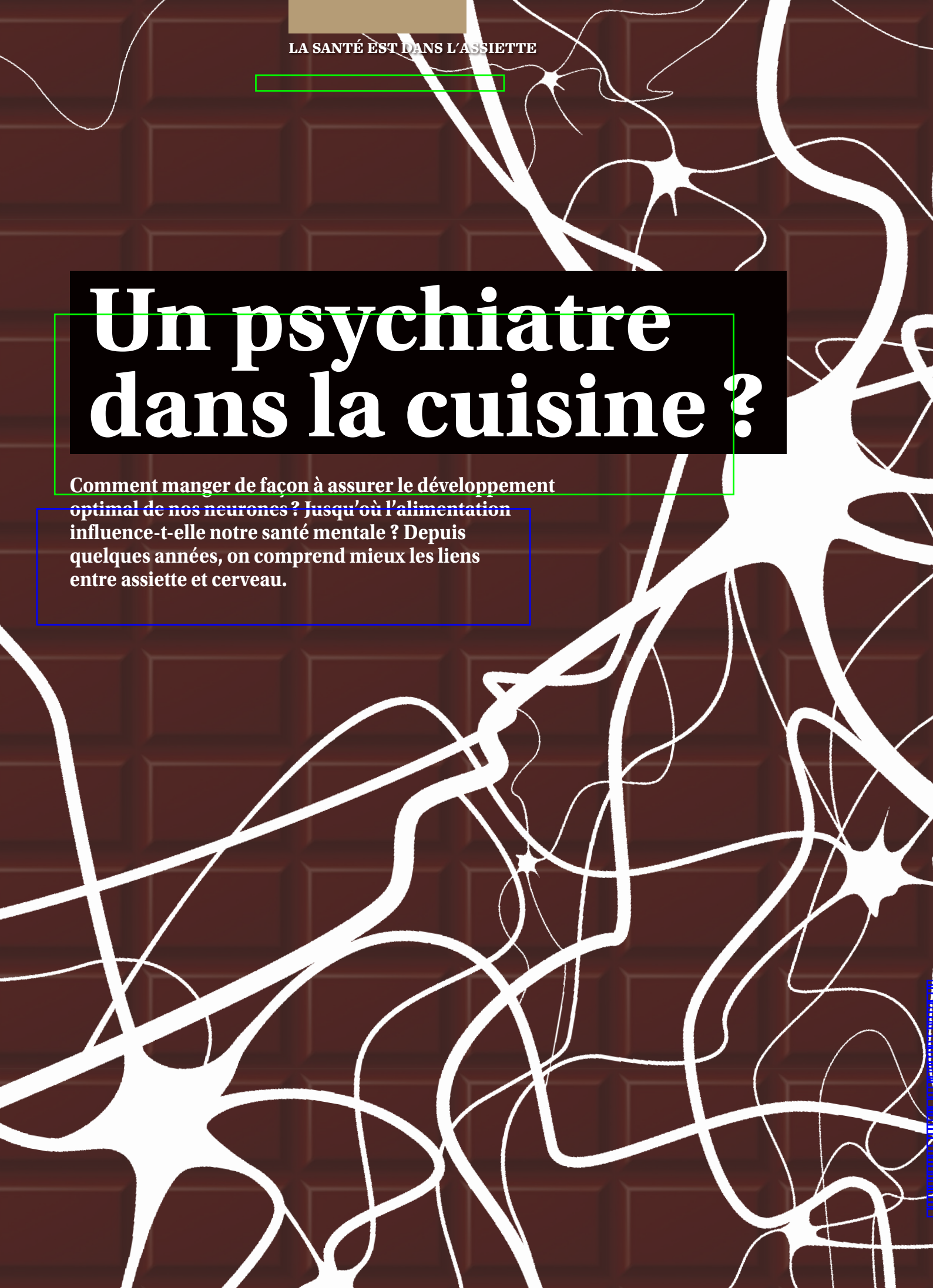
Pour un paiement par carte bancaire, rendez-vous sur boutique.groupepourlascience.fr

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour la Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : https://rebrand.ly/charte-donnees-pls. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris CEDEX 14 - Sarl au capital de 32 000€ - RCS Paris B 311 797 393 - Siret : 311 797 393 000 23 - APE 58.14 Z

Un psychiatre dans la cuisine ?

Comment manger de façon à assurer le développement optimal de nos neurones ? Jusqu'où l'alimentation influence-t-elle notre santé mentale ? Depuis quelques années, on comprend mieux les liens entre assiette et cerveau.



L'ESSENTIEL

- Certains régimes traditionnels, comme le régime méditerranéen, stimulent les capacités cognitives et diminuent le risque de dépression.
- Ces régimes sont riches en oméga-3, des acides gras essentiels au fonctionnement cérébral.
- Des patients souffrant de troubles mentaux pourraient bénéficier d'aliments sur mesure, en plus des traitements médicaux usuels.
- Cette alimentation calibrée pour améliorer le fonctionnement du cerveau aiderait à dépasser le modèle uniquement pharmacologique.

L'AUTEUR

BRET STETKA
est directeur éditorial du site médical Medscape.

À 75 ans, Carolyn tient une forme étincelante. Entre une activité sociale débordante et quatre petits-enfants, elle n'a pas le temps de s'ennuyer. Cela n'a pas toujours été le cas. Quelques années auparavant, cette retraitée de Pittsburgh était dépressive et apathique, elle se nourrissait mal et souffrait d'un excès de poids, de diabète et d'une maladie pulmonaire chronique. « Je venais de perdre ma mère et mes deux fils étaient partis », se souvient-elle.

Mais un jour, un ami lui parle d'une étude sur la prévention de la dépression en préparation à l'université de sa ville. Elle décide d'y participer. Comme Carolyn, les 247 personnes incluses dans cette étude sont âgées et souffrent de troubles dépressifs légers qui, s'ils ne sont pas traités, conduisent à une grave dépression dans 20 à 25% des cas. La moitié des participants bénéficient d'une psychothérapie cognitivo-comportementale qui doit leur permettre de mieux gérer leur stress. Les autres reçoivent des conseils nutritionnels. C'est le cas de Carolyn, qui découvre qu'elle aime les aliments sains comme le saumon ou le thon. Elle les substitue alors aux frites, gâteaux et sucreries auxquels elle était habituée.

Quinze mois plus tard, en 2014, une surprise attend le psychiatre Charles Reynolds et ses collègues : l'état des patients s'est très nettement amélioré, dans les deux groupes. Or celui de Carolyn servait de témoin. Les conseils diététiques n'étaient pas censés avoir un quelconque effet sur la santé mentale des patients… Pourtant, les résultats du test de Beck – un questionnaire à choix multiples utilisé pour mesurer la gravité de la dépression – sont sans appel : tous les patients ont enregistré une diminution de 40 à 50% de leurs symptômes dépressifs. Seuls 8% ont développé une forme sévère de la maladie.

BIEN NOURRIR SON CERVEAU

Il est probable que l'effet placebo ait joué un rôle dans l'amélioration de l'état des patients. Le simple fait de rencontrer un médecin ou un professionnel de santé et de s'occuper de soi est parfois bénéfique et aide à se montrer plus combatif. Néanmoins, pour Carolyn, pas de doute : le changement d'alimentation l'a sortie de son état dépressif.

Elle n'est pas la seule de cet avis. Scientifiques et médecins sont de plus en plus nombreux à établir une connexion entre ce que nous mangeons et la santé de notre cerveau. Un exercice délicat, car le lien de cause à effet n'est pas toujours évident à déterminer. Par exemple, les gens qui font attention à leur alimentation pratiquent souvent un exercice physique régulier et ont un sommeil bien réglé, ce qui est également bon pour leur cerveau. >

© Shutterstock.com/Paket ; © Shutterstock.com/tanyalmara

Mais les preuves s'accumulent. Chaque année, la liste des publications révélant le rôle de certains aliments sur le bien-être mental s'accroît : les acides gras oméga-3 contre la psychose et la dépression ; les aliments fermentés contre l'anxiété ; le thé vert et les fruits riches en antioxydants contre la démence ; la vitamine B12 contre la fatigue et les problèmes de mémoire ; un régime riche en graisses et très pauvre en glucides (on parle de diète cétogène) réduit la sévérité des crises d'épilepsie…

LE RÉGIME MÉDITERRANÉEN

Il n'existe probablement pas d'ingrédient miracle. Plutôt des combinaisons d'aliments calibrées par des millions d'années d'évolution de notre espèce, et qui renforcent nos capacités cognitives et psychologiques. Mais quelles sont-elles ? L'objectif de la psychiatrie nutritionnelle est de les identifier. Avec, à la clé, la prise en charge les patients souffrant de troubles mentaux, non seulement avec les thérapies et médicaments habituels, mais aussi avec des alimentations personnalisées.

Le régime le plus connu pour ses effets bénéfiques sur la santé est le régime méditerranéen, traditionnellement pratiqué en Italie, en Espagne ou en Grèce : beaucoup de fruits, légumes, poissons, céréales complètes, huile d'olive ; de la viande maigre et du vin rouge avec modération. Est-il bon aussi pour notre cerveau ?

Oui, répond l'experte en santé publique Almudena Sánchez-Villegas de l'université de Las Palmas, de Grand Canarie, en Espagne, qui a suivi, avec ses collègues, plus de 12000 Espagnols pendant six ans. Les personnes qui mangent « méditerranéen » sont globalement moins touchées par la dépression que les autres (jusqu'à 30% de risque en moins).

Deux ans plus tard, en 2013, l'équipe d'Almudena Sánchez-Villegas confirme ces résultats. Elle épluche alors les données de l'étude espagnole Predimed dont l'objectif est de savoir si un régime méditerranéen (enrichi avec des noix) protège des maladies cardiovasculaires chez des personnes à haut risque : les 7500 participants (âge moyen : 70 ans) cumulent plusieurs facteurs de risque (tabagisme, hypertension, cholestérol élevé…) ou ont un diabète de type 2. La réponse apportée par ce suivi est positive. Mais l'étude montre

TROIS RÉGIMES « NEURONAUX »

MÉDITERRANÉEN

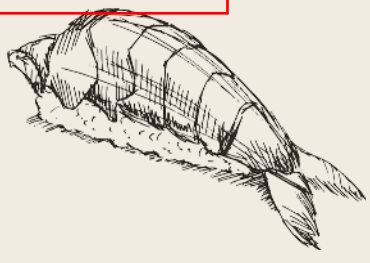
Les études scientifiques montrent que les habitudes alimentaires des cultures issues du bassin méditerranéen (Grèce, Italie, Espagne, Moyen-Orient…) sont parmi les plus saines au monde. Elles sont associées à une baisse du risque de maladie cardiovasculaire et à une amélioration des fonctions neurologiques et mentales.

- Huile d'olive
- Poissons riches en oméga-3 (sardine, thon, saumon)
- Fruits et légumes riches en antioxydants (tomate, poivron, aubergine)
- Céréales complètes
- Légumes secs
- Viande maigre et vin rouge en quantité modérée
- Peu de sucre et d'aliments transformés

JAPONAIS

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), les Japonais ont la plus longue espérance de vie du monde, en partie grâce à la population de l'île d'Okinawa et à ses habitudes alimentaires particulièrement bénéfiques. Les habitants se nourrissent notamment d'une patate douce de couleur pourpre très nutritive, qui remplace souvent le riz. Ils mangent moins de poisson, de viande, de riz ou de sucre que les autres Japonais.

- Légumes riches en antioxydants (patate douce pourpre)
- Algues
- Poisson
- Viande
- Peu de sucre et de riz (blanc)



SCANDINAVE

Hormis les boulettes de viande des Suédois, la Nouvelle cuisine nordique est l'une des meilleures qui soient pour notre santé. Elle est associée à une réduction de l'inflammation, du risque cardiovasculaire ou de diabète. Les Scandinaves consomment de l'huile de colza, qui contient beaucoup plus d'acides gras oméga que l'huile d'olive.

- Fruits (airelles)
- Légumes (pomme de terre)
- Noix, noisettes
- Céréales complètes (pain de seigle)
- Produits de la mer
- Viande et produits laitiers en quantité modérée
- Huile de colza

© Shutterstock.com/Amili, LeMyppp, Olga Koshka

que les effets sont également probants pour la dépression. Ce régime pauvre en sucres, aliments transformés et viandes grasses est donc réellement bénéfique pour notre cerveau. Alors, qu'en est-il de la cuisine occidentale plus largement répandue ?

Les premiers résultats obtenus ne sont guère réjouissants : selon une étude australienne conduite par la psychiatre Felice Jacka, de l'université Deakin, la *junk food* (sodas, snacks, hamburgers, frites…) augmente le risque d'anxiété et de dépression. Mais ce n'est pas tout : ce type d'alimentation agit aussi sur la taille de notre cerveau ! En septembre 2015, son équipe montre que les personnes âgées (60-64 ans) les plus adeptes de « malbouffe » non seulement souffrent davantage de troubles de l'humeur, mais ont aussi un hippocampe réduit à gauche (*voir la figure page 31*). Or cette structure cérébrale joue un rôle central dans l'apprentissage et la mémoire.

Comment des aliments peuvent-ils être néfastes pour le cerveau ? On ne le sait pas encore très bien, mais plusieurs hypothèses sont à l'étude. Celle de Felice Jacka et d'autres scientifiques est la piste inflammatoire : les aliments riches en sucres déclencheraient une cascade de réactions métaboliques conduisant à un emballement du processus inflammatoire, qui serait nuisible pour notre cerveau. Normalement, l'inflammation est bénéfique : elle fait partie de l'arsenal de notre système immunitaire pour combattre les infections et favoriser la guérison. Mais lorsqu'elle est dérégulée, elle peut détruire les tissus sains.

Plusieurs travaux ont déjà suggéré un lien entre l'inflammation et certaines pathologies du cerveau. Par exemple, deux métaanalyses de 2010 et 2012, rassemblant les résultats de 53 études, révèlent ainsi que les patients souffrant de dépression présentent une augmentation significative des marqueurs sanguins associés à l'inflammation. En outre, l'activité de certaines cellules immunitaires appelées « microglies » – qui jouent un rôle clé dans la réponse inflammatoire du cerveau – est modifiée chez des patients souffrant de troubles psychiatriques (dépression, schizophrénie…). Alors, est-ce l'inflammation qui provoque la maladie mentale, ou l'inverse ?

Pour Felice Jacka, pas de doute : si l'on veut préserver la santé de notre cerveau, il faut privilégier les aliments qui ne déclenchent pas une telle réaction inflammatoire. C'est le cas du régime méditerranéen, mais aussi des régimes japonais et scandinave (*voir l'encadré page ci-contre*).

Venons-en maintenant au mode d'action du régime méditerranéen. Une étape importante en ce sens a été franchie en septembre 2015 par une équipe française : grâce à une technique d'imagerie ultrasensible (la morphométrie cérébrale), Amandine Pelletier, Christine Barul et leurs collègues de l'université de Bordeaux montrent que le régime méditerranéen aide à préserver les connexions entre neurones chez des sujets âgés de 65 ans ou plus. Avec, à la clé, de nombreux bénéfices cognitifs. Peu de temps après, Martha Morris, de l'université Rush et ses collègues révèlent que le régime alimentaire Mind (régime méditerranéen associé au régime Dash pauvre en sel et en graisses saturées) ralentit le déclin cognitif chez les séniors, voire aide à prévenir la maladie d'Alzheimer. Parmi les 960 participants, ceux qui avaient suivi le régime Mind de façon stricte pendant cinq ans ont obtenu des résultats à leurs tests cognitifs correspondant normalement à des personnes plus jeunes de 7,5 ans. Par conséquent, tous ces travaux montrent que certains aliments prennent soin de notre cerveau. Mais d'où leur vient ce rôle neuroprotecteur ? Nos ancêtres peuvent nous aider à comprendre.

UN RÉGIME JAPONAIS, MÉDITERRANÉEN OU SCANDINAVE ÉVITE L'INFLAMMATION, CE QUI PROTÈGE LE CERVEAU

UN CERVEAU BIEN GRAS

Il y a quelque 150 000 à 200 000 ans, la Terre a connu une ère glaciaire qui a duré des dizaines de milliers d'années. S'alimenter était alors difficile pour les humains. Comment ont-ils survécu ? Selon un scénario suggéré par des fouilles archéologiques menées en Afrique du Sud, ils se seraient tournés vers des ressources alimentaires marines : il y a environ 160 000 ans, ils se seraient mis à consommer des poissons d'eau froide et des coquillages, aliments riches en acides gras oméga-3 (*voir l'encadré page suivante*). Cet apport aurait favorisé le développement unique et complexe du cerveau humain, composé à 60 % de graisses. Parmi ces acides gras, le DHA (acide docosahexaènoïque) semble particulièrement crucial.

Dès 1972, le psychiatre Michael Crawford, de l'Imperial College de Londres, a révélé l'importance du DHA dans le fonctionnement cérébral. Une découverte confirmée depuis par de nombreuses études. Le DHA se révèle être un composant essentiel de la membrane neuronale, facilitant la communication entre les neurones et stimulant la production d'une protéine impliquée dans la croissance et la survie des cellules du cerveau : le BDNF (ou *brain-derived neurotrophic factor*, « facteur neurotrophique cérébral »). Certes, notre organisme est capable de produire cette molécule miracle ; mais il a besoin pour cela d'un autre acide gras oméga-3, l'acide alpha-linolénique, qui ne peut être apporté que par les aliments. D'où l'importance >

> d'une alimentation riche en oméga-3 pour un cerveau bien huilé !

Mais le besoin en acides gras n'est pas le seul héritage de notre passé lointain. Nos ancêtres nous en ont également légué un autre qui, de manière surprenante, agit aussi sur la santé mentale : la flore intestinale.

INTESTIN SAIN, CERVEAU SAIN

Notre corps abrite des milliers de milliards de bactéries, champignons et autres microorganismes qui ont évolué avec nous. Ce microbiote – et l'ensemble de ses gènes, c'est-à-dire le microbiome – représente plus de la moitié des cellules de notre corps ! Utile à l'organisme, il intervient dans la formation et le fonctionnement des systèmes immunitaire et digestif. Mais des études menées sur la flore intestinale (le microbiote le plus étudié) montrent qu'il peut également agir sur notre cerveau.

Une des démonstrations les plus spectaculaires en a été donnée en 2014 par un étudiant anglais de 23 ans du nom de Tom Spector. Celui-ci se livre en effet à une drôle d'expérience : il mange dans le plus célèbre des fast foods à chaque repas pendant dix jours. À la manière de Morgan Spurlock, dans le documentaire *Super Size Me*. Il doit trouver un sujet pour valider son diplôme de génétique, et il s'agit pour lui de répondre à une question essentielle : un excès de *junk food* modifie-t-il la flore intestinale ? Au bout de quelques jours seulement, Tom Spector commence à se sentir mal (léthargie, troubles du sommeil, mauvaise digestion…). Les résultats sont spectaculaires : le régime « fast food » lui a fait perdre un tiers des espèces bactériennes composant son microbiote intestinal ! Ce qui n'est pas anodin sur le plan médical.

En effet, on sait aujourd'hui qu'un tel bouleversement de la flore peut conduire à une

LE JOUR OÙ NOUS AVONS MANGÉ DES FRUITS DE MER

Où nos ancêtres ont-ils trouvé leur source d'oméga-3 ? Sur la terre ferme ou dans les eaux ? Des découvertes archéologiques suggèrent que les produits de la mer ont joué un rôle essentiel dans notre développement cérébral. Pendant presque vingt ans, l'archéologue Curtis Marean, directeur associé de l'Institut sur les origines de l'homme à l'université de l'État d'Arizona, a dirigé les fouilles sur les sites de Pinnacle Point, sur la côte australe de l'Afrique du Sud. Son travail laisse penser qu'il y a environ 160 000 ans, durant une période glaciaire (appelée MIS 6 par les scientifiques), nos ancêtres ont radicalement changé d'habitudes alimentaires. Alors qu'ils consommaient auparavant des aliments d'origine terrestre (animaux, plantes, parfois poissons des lacs et rivières), ils se sont alors tournés vers des ressources marines, exploitant des bancs de mollusques, de crustacés ou de coquillages. Pour Curtis Marean, c'est la preuve qu'ils connaissaient les marées et en tiraient profit. D'ailleurs, ils savaient aussi écailler les huîtres. Le développement cérébral associé à cette activité aurait été permis, selon lui, par l'accès à une source d'acides gras de type oméga-3, essentiels au développement du cerveau, avant la période glaciaire. Peut-être en mangeant des animaux qui eux-mêmes s'étaient nourris d'acides gras.

La grotte de Pinacle Point, en Afrique du Sud, recèle les traces d'un changement d'alimentation de nos ancêtres.

Pour le psychiatre Michael Crawford, de l'Imperial College de Londres, l'acide gras DHA (l'acide docosahexaènoïque), particulièrement crucial pour le cerveau, n'a pas pu être fourni intégralement par la consommation d'animaux dans la savane (ni même de plantes). Pour le démontrer, il s'est lancé, avec des collègues, dans des expériences de biochimie dont l'objectif est d'évaluer l'accessibilité de cet acide gras dans diverses conditions. Les premiers résultats montrent, par exemple, que le DHA issu d'une ressource marine est incorporé dix fois plus vite dans le cerveau d'un rat en cours de développement que le DHA issu des plantes. L'un de ses collègues, le physiologiste Stephen Cunnane de l'université de Sherbrooke, au Québec, n'exclut néanmoins pas le fait qu'un cocktail de nutriments bénéfiques pour le cerveau (oméga-3 mais aussi iode, fer, zinc, cuivre ou sélénium) ait pu être apporté par la consommation de poissons (des lacs et des rivières) avant la période glaciaire. Que ce soit le cas ou non, il n'en demeure pas moins qu'un changement majeur dans l'évolution du cerveau humain pourrait s'être produit il y a 160 000 ans, quand nos ancêtres africains se sont tournés vers les ressources de la mer.

© C. Marean

inflammation gastro-intestinale qui aura, elle-même, des effets néfastes sur le cerveau. Comment ? L'un des mécanismes est la diminution de la production d'un neurotransmetteur, la sérotonine, qui a lieu à 90 % dans l'intestin. La sérotonine est remplacée par des composés neurotoxiques, synthétisés à partir du même précurseur (l'acide aminé tryptophane). La preuve que pour un cerveau sain, il faut soigner l'intestin. Ce qui ouvre des perspectives intéressantes puisqu'il est possible de le faire en agissant sur sa propre alimentation.

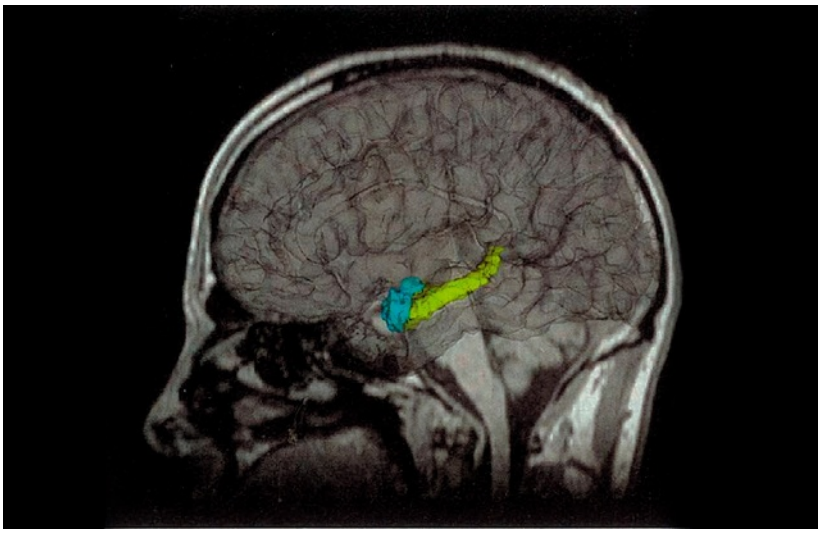
Une expérience conduite en 2015 à l'université de Pittsburgh en livre une preuve éclatante. Dans cette étude, 20 Américains de Pennsylvanie ont échangé leurs repas avec 20 Sud-Africains ruraux. Ceux qui mangeaient habituellement beaucoup de protéines animales et de graisses (hamburgers, frites…) sont passés à un régime riche en fibres et pauvre en graisses (légumes, poissons…). Et inversement. Résultat : au bout de 15 jours, le côlon des Américains est apparu moins irrité, contrairement à celui des Sud-Africains.

Et, surtout, l'analyse de leurs selles révélait une augmentation (de 250 %) des bactéries produisant du butyrate, une molécule connue pour protéger du cancer du côlon. De leur côté, les Sud-Africains voyaient augmenter dans leur sang la concentration de certains biomarqueurs de risque du cancer du côlon. Cette expérience a montré à quel point il est possible, en changeant nos habitudes alimentaires, d'agir sur la santé de notre intestin… et donc de notre cerveau.

Certains psychiatres ont déjà franchi le pas et donnent systématiquement des conseils nutritionnels à leurs patients. C'est le cas d'Emily Deans, de l'école de médecine de Harvard, convaincue que cela peut aider certains patients dépressifs. De même que de manger à des horaires réguliers. En revanche, elle se méfie des probiotiques, ces microorganismes vivants, bactéries ou levures, utilisés comme compléments alimentaires et qui prétendent soigner tous nos maux. Pour la santé mentale, elle milite plutôt en faveur d'une alimentation saine et équilibrée, par exemple le régime méditerranéen.

JE MANGE, DONC JE SUIS

Revenons à Carolyn. Depuis qu'elle a modifié ses habitudes alimentaires (moins de sucres, plus de poisson…), elle n'a plus de problème de poids et son diabète est sous contrôle. Mais la plus grande révolution est ailleurs, car elle a compris à quel point la façon de manger influe sur la façon dont on se porte. Bien sûr, pour certains spécialistes comme les endocrinologues, cardiologues ou gastroentérologues, c'est une évidence. Mais pour les psychiatres, c'est un vrai changement. Ainsi, en 2019, le collège européen de neuropsychopharmacologie a publié un appel à approfondir l'étude des liens entre santé et alimentation selon des protocoles rigoureux.



Une alimentation grasse et sucrée endommage l'hippocampe *(en vert sur ce cliché d'IRM)*, une zone essentielle au bon fonctionnement de la mémoire. Des personnes ayant suivi un tel régime pendant quatre ans ont un hippocampe plus petit que des sujets ayant mangé plus sainement.

De son côté, dans un rapport publié en mars 2015, la Société internationale pour la recherche en psychiatrie nutritionnelle, propose l'intégration de programmes nutritionnels dans la prise en charge des maladies mentales. La chef de file de cette initiative, Felice Jacka, a démarré un essai clinique destiné à évaluer l'efficacité de cette approche chez des patients souffrant d'une dépression sévère. Les résultats publiés en 2019 semblent prometteurs et les auteurs appellent à explorer dans le détail les mécanismes, notamment pour identifier les composants de l'alimentation bénéfiques pour la santé mentale.

C'est sans doute la prochaine étape dans le développement de la psychiatrie nutritionnelle : comprendre les rouages qui font de la nourriture un acteur majeur du bon fonctionnement du cerveau. Elle est déjà enclenchée et l'on devrait bientôt savoir pourquoi le régime méditerranéen est si efficace.

Beaucoup y voient le moyen d'aller au-delà des limites des médicaments actuels contre les maladies psychiatriques. Par exemple, le Prozac (un inhibiteur de la recapture de la sérotonine), l'antidépresseur le plus prescrit du monde, n'est efficace que dans les cas sévères. Pour les formes légères ou modérées de dépression, il ne vaut guère mieux que le placebo ! De plus, certains patients ne répondent pas aux traitements. Certes, d'autres médicaments plus adaptés verront sûrement le jour, au fur et à mesure des avancées scientifiques sur ces maladies. Mais il est fort probable qu'une approche nutritionnelle, dénuée d'effets secondaires et peu coûteuse, occupera une place de choix dans la future prise en charge des maux de notre cerveau. ■

BIBLIOGRAPHIE

W. MARX *ET AL.*, Diet and depression: exploring the biological mechanisms of action, *Mol. Psychiatry*, prépublication en ligne, 2020.

R. ADAN *ET AL.*, Nutritional psychiatry: Towards improving mental health by what you eat, *European Europsychopharmacology*, vol. 29(12), pp. 1321-1332, 2019.

W. MARX *ET AL.*, Nutritional psychiatry: the present state of the evidence, *The Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 76, pp. 427-436, 2017.

F. N. JACKA *ET AL.*, Western diet is associated with a smaller hippocampus, *BMC Medicine*, vol. 13, 2015.

© Nicolas Cherbuin

JULIA BAUDRY

Manger bio réduit-il les risques de cancer ?

Dans une étude récente que vous avez dirigée, vous avez examiné le lien entre la consommation d'aliments bio et le cancer. Ce lien avait-il déjà été étudié ?

Julia Baudry : Concernant le lien direct entre cancer et consommation de produits bio, il n'existait qu'une étude d'une équipe anglaise, menée en 2014 auprès de 600 000 femmes sur une durée de 9 ans, donc de grande puissance statistique. Cette étude n'a pas noté d'association significative entre la consommation d'aliments bio et le risque de cancer, tous types confondus. Néanmoins, elle a pointé une diminution du risque de lymphome non hodgkinien chez les femmes déclarant consommer plus fréquemment du bio.

Qu'en est-il de votre étude ?

Julia Baudry : Notre analyse a porté sur un échantillon d'environ 70 000 personnes (78 % de femmes, âge moyen 44 ans) de la cohorte française NutriNet-Santé sur une durée d'environ 4,5 ans. Nous avons utilisé une mesure de la consommation de produits bio plus fine que l'étude anglaise, bien que non quantitative. Les participants renseignaient l'étude *via* un questionnaire de fréquence de consommation (« jamais », « de temps en temps », « la plupart du temps ») pour 16 groupes alimentaires (fruits, légumes, produits à base de soja, etc.). Nous avons ensuite divisé la population en 4 groupes de taille égale selon leur consommation de produits bio.

L'une des difficultés d'une telle étude est que ceux qui mangent des produits bio ont aussi, en moyenne, des comportements plus sains, un régime alimentaire plus équilibré et fument moins que les autres. Lors de nos analyses, nous avons pris en compte ces facteurs dits « de confusion », qui tendent à brouiller les résultats. Pour ce faire, nous avons utilisé des modèles statistiques spécifiques qui réduisent au maximum tous ces biais, par divers ajustements. Nous avons ainsi comparé les risques d'apparition de cancers chez les petits consommateurs de bio et les gros, toutes choses étant égales par ailleurs.

BIO EXPRESS

1988
Naissance.

2016
Doctorat en épidémiologie de la nutrition/santé publique, à l'université Paris 13.

2017
Chercheuse dans l'équipe d'épidémiologie moléculaire de l'Institut allemand de nutrition humaine.

2019
Épidémiologiste de la nutrition à INRAe.

© Shutterstock.com/Pixelbliss

Et quels sont les résultats ?

Julia Baudry : Nous avons constaté que les individus qui déclarent consommer le plus souvent des aliments bio ont un risque de développer un cancer inférieur de 25 % par rapport aux non-consommateurs ou aux consommateurs épisodiques de produits bio. Cette association est particulièrement forte pour le cancer du sein postménopause, avec une réduction du risque de 34 %, et le lymphome non hodgkinien, avec une réduction de 86 %.

Que peut-on en conclure ?

Julia Baudry : Nous avons envisagé plusieurs hypothèses pour expliquer ces résultats. La principale résiderait dans le fait que les produits bio présentent bien moins de résidus de pesticides de synthèse que leurs homologues de l'agriculture classique. Mais bien que divers indices soutiennent cette piste, notre étude ne démontre pas ce lien. Il est important de souligner que celle-ci est observationnelle et que, malgré ces premiers résultats importants, il faut être prudent quant à leurs interprétations et leurs implications. Nous n'avons pas démontré un lien de cause à effet, mais seulement constaté une association entre la consommation d'aliments bio et un risque réduit de cancer.

En outre, il n'existe que deux études sur le sujet, en comptant la nôtre, ce qui est très peu. D'autres travaux épidémiologiques sur d'autres populations sont nécessaires. C'est sur la base de la convergence des résultats d'études observationnelles couplées à des approches expérimentales qu'il sera possible de tendre vers la causalité et d'émettre des recommandations.

Le bio procure-t-il des avantages dans d'autres maladies ?

Julia Baudry : En effet, nous avons récemment observé que la consommation de produits bio est associée à une diminution du diabète de type 2. Plus largement, de nombreuses équipes en épidémiologie et en toxicologie s'intéressent aux liens entre santé et pesticides issus de l'alimentation.

Précisons qu'aujourd'hui, ces thèmes de bio, d'alimentation, d'exposition aux pesticides… ne peuvent plus être pensés seulement à l'échelle de la santé humaine. Le cadre doit s'élargir à l'idée de santé planétaire, suivant en cela les idées du mouvement « One Health », qui promeut une approche intégrée et unifiée de la santé publique, animale et environnementale. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR SEAN BAILLY

BIBLIOGRAPHIE

E. KESSE-GUYOT *ET AL.*, Prospective association between organic food consumption and the risk of type 2 diabetes: findings from the NutriNet-Santé cohort study, *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, vol. 17(1), art. 136, 2020.

J. BAUDRY *ET AL.*, Association of frequency of organic food consumption with cancer risk, findings from the NutriNet-Santé prospective cohort study, *JAMA Internal Medicine*, 2018.

L'ESSENTIEL

- Depuis quelques décennies, la nutrition met l'accent sur les nutriments de ce que nous mangeons : glucides, lipides, protides…
- Les aliments ultratransformés qui résultent de cette vision nutricentrée restent néanmoins associés à plusieurs maladies chroniques.
- Il est donc nécessaire de revoir les prescriptions et de favoriser une nourriture moins ultratransformée, plus compatible avec le bien-être.
- De plus, en faisant la part belle au végétal et à la diversité, une telle alimentation serait bénéfique pour la planète, même habitée de 10 milliards d'humains.

L'AUTEUR

ANTHONY FARDET
est chargé de recherche dans l'unité de Nutrition humaine, Inrae, université de Clermont-Auvergne.

La recette d'une alimentation saine et durable

Une bonne alimentation n'est pas une simple somme de nutriments. Pour favoriser la santé humaine et celle de la planète, elle doit composer avec des aliments plutôt d'origine végétale, variés et surtout le moins transformés possible.

Mieux vaut préférer une nourriture peu modifiée, plutôt d'origine végétale et variée, à des aliments ultratransformés car ceux-ci sont associés à divers troubles de la santé.

Prenons un plat au hasard, vendu en supermarché : protéines, 7 grammes ; glucides, 9 grammes, dont sucres, 1 gramme ; lipides, 9 grammes, dont acides gras saturés, 4,5 grammes ; fibres alimentaires, 1 gramme, sodium, 0,232 gramme… Assurément, l'alimentation est devenue une science réductionniste et quantitative, et l'on parle de « nutritionnisme », un concept défini en 2013 par l'Australien Gyorgy Scrinis de l'université de Melbourne. L'idée est que des nutriments ajoutés les uns aux autres déterminent la valeur santé d'un aliment et constituent les indicateurs clés d'une alimentation saine. En un mot, l'aliment est réduit à la somme de quelques composés.

Cette vision des choses est certes utile. Ainsi, grâce à la découverte des calories, des protéines, des lipides, des glucides, des fibres, des minéraux, des vitamines… les médecins ont pu quantifier les besoins de l'organisme humain en ces composés et en prévenir les déficiences. C'est ainsi qu'une carence en vitamine D a été associée au rachitisme, celle en vitamine B_3 à la pellagre, la vitamine C au scorbut… Cependant, se focaliser sur les nutriments et leur quantification n'aide pas à prévenir les maladies chroniques qui sont multifactorielles. Par exemple, des aliments ultratransformés enrichis en fibres, minéraux et vitamines couvrent nos besoins nutritionnels, mais leur consommation en excès reste associée à des risques accrus d'obésité et de diabète de type 2. C'est tout le paradoxe de cette « malbouffe de très bonne qualité » !

L'acte de manger lui-même a été victime de réductionnisme : aujourd'hui on nous propose des repas en poudre à reconstituer, ultratransformés et à consommer seul devant un écran en cinq minutes ou en marchant. Plus encore, certains industriels nous promettent une alimentation préventive personnalisée nutri-centrée : un régime alimentaire « sur mesure » qui risque bien de nous isoler encore plus les uns des autres.

© Shutterstock.com/Ratov Maxim

Alors, comment retrouver le sens du « bien manger » ? Comment lutter contre la quantification extrême de l'alimentation ? Une piste à suivre est l'approche holistique et qualitative. Plutôt que de se concentrer sur les parties, les nutriments, mieux vaut regarder l'ensemble, c'est-à-dire l'aliment dans sa complexité et sa globalité. C'est tout l'inverse du réductionnisme ! Une façon de comprendre l'intérêt de ce renversement est de penser l'alimentation en termes de matrices. De quoi s'agit-il ?

PILULE BLEUE OU ROUGE ?

Le principe est le suivant : à compositions égales, deux aliments avec des matrices différentes auront des effets différents sur l'organisme, et donc à long terme sur sa santé, car ils ne se présentent pas de la même façon. En effet, leurs matrices (du latin *mater*, pour « mère »), leur structure tridimensionnelle en quelque sorte, sont distinctes. Par exemple, selon qu'elle soit entière ou en poudre, une amande n'aura pas la même digestibilité et entraînera donc des réponses physiologiques et métaboliques différentes.

L'effet « matrice » s'applique aussi aux ingrédients alimentaires et même aux nutriments. Ainsi en va-t-il des sucres. L'amidon peut être fractionné en glucose puis une partie de celui-ci transformé en fructose. Ces deux molécules ont la même composition atomique ($C_6H_{12}O_6$), une teneur en calories similaire, mais une structure différente. Les effets physiologiques s'en ressentent : les index glycémiques, c'est-à-dire la vitesse de l'augmentation du taux de sucre dans le sang après ingestion, du glucose et du fructose sont distincts. En outre, malgré un index glycémique bas, la consommation excessive de fructose est associée à un excès de graisses dans le foie.

La matrice influe également sur la satiété, une sensation stimulée par la mastication, la libération des nutriments dans le tube digestif et le transit intestinal. De fait, une amande entière est plus rassasiante, libère moins de lipides dans le sang et le fait plus lentement qu'une amande en poudre. En d'autres termes, le tout n'est pas égal à la somme des parties. Les liens entre les nutriments au sein d'une matrice alimentaire sont les premiers contributeurs de notre bonne santé, avant les nutriments eux-mêmes.

Précisons d'emblée que l'approche holistique n'est pas suffisante à elle seule. Elle peut >

BIBLIOGRAPHIE

A. FARDET ET E. ROCK, Exclusive reductionism, chronic diseases and nutritional confusion: Degree of processing as a lever for improving public health, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, prépublication en ligne, 2020.

M. ASKARI *ET AL.*, Ultra-processed food and the risk of overweight and obesity: A systematic review and meta-analysis of observational studies, *International Journal of Obesity*, vol. 44 (10), pp. 2080-2091, 2020.

R. LEVY *ET AL.*, Ultra-processed food consumption and type 2 diabetes incidence: A prospective cohort study, *Clin. Nutr.*, prépublication en ligne, 2020.

K. HALL *ET AL.*, Ultra-processed diets cause excess calorie intake and weight gain: An inpatient randomized controlled trial of *Ad Libitum* food intake, *Cell Metabolism*, vol. 30, pp. 67-77, 2019.

> coexister harmonieusement avec le réductionnisme nutritionnel. En effet, il est parfois essentiel d'isoler les constituants d'un aliment pour comprendre certains mécanismes, nous l'avons vu pour les vitamines. Mais seul, le réductionnisme nutritionnel nous déconnecte de l'aliment… et donc du réel. C'est là notre erreur des soixante dernières années en termes de santé publique et de recommandations nutritionnelles : on a trop tardé à définir ce qu'était un régime alimentaire, à la fois sain pour notre corps et la santé de la planète.

RESPONSABILITÉ PARTAGÉE

Entre la production agricole et la consommation, la transformation s'est fait oublier. En conséquence, toute la responsabilité de notre mauvaise alimentation a été portée sur le consommateur (celui qui « mal bouffe ») et l'agriculteur (le « pollueur »). Pourtant, les transformateurs jouent aussi un grand rôle dans la qualité de notre production agricole et surtout de notre alimentation. Cette prise de conscience a conduit des épidémiologistes à s'intéresser aux liens entre le degré de transformation des aliments et le risque de maladies chroniques. Ainsi est né le concept d'aliments ultratransformés en 2009. Depuis, le nombre d'études s'intéressant à leurs effets sur la santé croît de façon exponentielle. Et l'on sait désormais qu'ils sont associés à des risques accrus, outre d'obésité et de diabète de type 2, de maladies cardiovasculaires, de cancers, de dépression, de mortalité précoce…

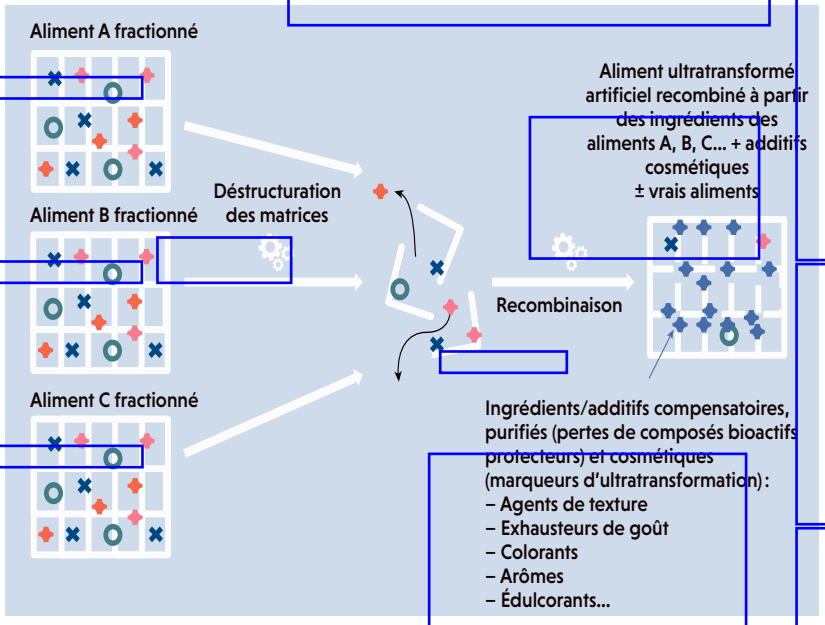
La responsabilité de notre alimentation est désormais aussi celle de l'« ultratransformateur ». Ce changement est important, car il met le doigt sur le cœur du problème, ce que ne faisait pas le terme « malbouffe », un terme générique et vague incluant *fast-foods*, *junk food*, produits sucrés, salés, gras. Le concept d'aliment ultratransformé va beaucoup plus loin et est plus impactant socialement : il englobe certes la malbouffe, mais aussi pléthore d'aliments présentés comme sains au consommateur alors qu'ils ne le sont pas… quand on regarde l'ensemble. Des artifices publicitaires attirent notre attention sur quelques nutriments supposés protecteurs pris isolément (approche réductionniste) pour masquer la misère de l'ensemble (approche holistique).

Des céréales du petit déjeuner peuvent bien être au blé complet ou enrichies en vitamines, elles n'en demeurent pas moins des « bombes » de sucres, la cuisson-extrusion des farines et semoules céréalières transformant l'amidon en sucres à index glycémique très élevé, sans compter l'ajout de sucres ultratransformés comme les sirops de glucose, les extraits de malt d'orge ou les maltodextrines : l'ajout de minéraux ou de blé complet n'y changera rien si la matrice est dégradée.

Quant aux aliments ultratransformés, ce n'est pas leur composition qui pose problème en premier lieu, mais leurs matrices dégradées, artificialisées et rendues hyperattractives et hyperagréables au palais (on parle de palatabilité) par l'utilisation d'ingrédients ultratransformés pour modifier goût, couleur, arôme et texture. Plusieurs études, comme notamment celle de Kevin Hall, de l'institut américain de la santé, à Bethesda, ont montré que ces aliments poussent à consommer entre 56 et 100 % en plus de calories par minute (*voir La malbouffe est-elle une drogue, par P. Kenny, page 42*) ! Le problème de fond est donc bien que ces aliments dérégulent la satiété, puis la prise alimentaire, entraînant un excès de sucres rapides de mauvaise qualité, de gras, de sels et de xénobiotiques, notamment des additifs, aux effets mal connus à long terme.

Se focaliser sur les effets, plutôt que sur la cause, l'ultratransformation, est une erreur. Or aujourd'hui on continue d'incriminer les excès de sucre, sel et gras en utilisant des scores de composition. La conséquence est la reformulation toujours plus poussée des aliments qui, de plus en plus ultratransformés, se voient pourtant attribuer une meilleure note que les vrais aliments.

De toute façon, aucun des aliments fournis par « mère nature » n'est équilibré nutritionnellement, à part le lait maternel pour le bébé. Rappelons que l'ensemble de nos aliments peut fournir jusqu'à plus de 25 000 composés différents. Et il n'y a aucun lien entre la composition des vrais aliments et les risques de maladies chroniques, à moins de manger toujours la



L'élaboration des aliments ultratransformés passe par la modification extrême des matrices, c'est-à-dire la structure et l'organisation tridimensionnelle des aliments sources, qui perdent alors toutes leurs propriétés.

© Siga

même chose. La seule préoccupation à avoir est de ne pas avoir la main trop lourde sur les assaisonnements en sucre, sel et gras, de varier le plus possible et de végétaliser davantage votre assiette.

MANGER POUR LA PLANÈTE

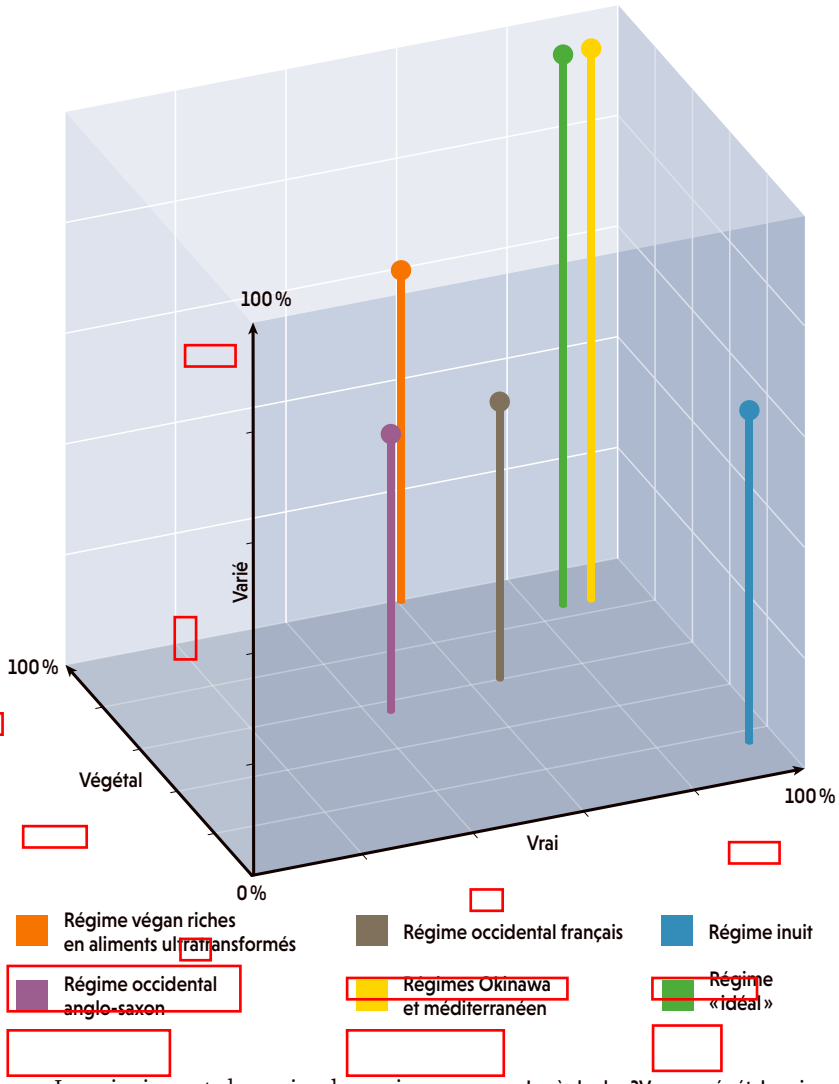
Les vrais aliments sont une chose, mais aujourd'hui on ne peut plus manger seulement pour notre santé: manger doit aussi être bon pour la planète et ses systèmes alimentaires dans toutes leurs facettes que sont l'environnement, la biodiversité et le bien-être animal, la protection des petits producteurs, l'accès à une alimentation de qualité pour tous, le respect des traditions culinaires et de la vie sociale. Pourra-t-on nourrir près de 10 milliards d'êtres humains tout en réservant la planète? Oui, la bonne nouvelle est que cela est possible en adoptant une approche holistique.

Première étape, identifier les différentes dimensions qui gouvernent la relation alimentation-santé globale (le concept nommé en anglais «*one health approach*»), puis déterminer dans ces dimensions le bon équilibre pour protéger en même temps la santé humaine, animale et environnementale. En d'autres termes, il s'agit de commencer par le global plutôt que partir de l'équilibre nutritionnel en nutriments pour déterminer un régime pour tous.

À partir de la littérature scientifique et de nos propres travaux, avec Edmond Rock, de l'Inrae, nous avons identifié trois dimensions. Elles sont interconnectées, irréductibles et inclusives: le ratio «produits végétaux/animaux», le degré de transformation des aliments et la diversité alimentaire, cette dernière pouvant prendre en compte également le mode production (bio ou non), le lieu de production (local ou non) et la saisonnalité. Ces paramètres constituent la base de la règle générique et holistique des $3V_{BLS}$ pour Végétal, Vrai, Varié, et si possible Bio, Local et de Saison.

Ensuite, nous avons déterminé où placer le curseur de chacune de ces dimensions grâce à l'étude des régimes alimentaires reconnus protecteurs pour la santé dans différentes parties du globe (Okinawa, méditerranéen, végétarien...) et de scénarios prospectifs pour des régimes alimentaires sains et durables à l'horizon 2050, comme ceux élaborés par l'Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI), la commission internationale EAT-Lancet, le WWF...

Résultat, des seuils optimaux ont été définis: la part de calories d'origine animale et celle provenant d'aliments ultratransformés ne devrait pas dépasser 15% des apports journaliers. Un régime tendant vers ces «règles» permet de remplir tous ses besoins nutritionnels sans dépasser les seuils sensibles en sel, sucres libres, acides gras saturés, oméga 6...



La règle des 3V, pour végétal, vrai et varié, offre une grille de lecture, sous la forme d'un espace à trois dimensions où les régimes de la planète peuvent être placés. Un régime idéal *(en vert)* tend vers 85% de calories d'origine végétale, au moins 85% de calories peu transformées (vrai) et 100% de variété.

Le principe est donc simple, mais encore faut-il prendre en considération les trois V ensemble, et pas seulement un ou deux à la fois, comme on le faisait avant. Quand une dimension vient à manquer, tout s'écroule aussi bien pour notre santé que pour celle de la planète: trop de produits animaux n'est pas viable, trop de produits ultratransformés non plus et des régimes trop monotones entraînent carences, déficits nutritionnels et perte de biodiversité animale et végétale consécutive à une production intensive. Notons que tous les régimes sur la planète se placent dans un espace à trois dimensions, chacune correspondant à un des 3V (*voir la figure ci-dessus*).

Manger est d'abord un acte social et de plaisir avant d'être un acte pour notre santé. Nous devons donc retrouver le plaisir des vrais aliments aux goûts plus subtils, exigeants et non formatés ou standardisés comme ceux des aliments ultratransformés. Cela commence par une éducation à l'alimentation préventive et holistique dès le plus jeune âge. Revalorisons l'acte alimentaire, il est précieux, et replaçons-le au centre de nos préoccupations. Après tout nous consommons environ 90000 repas au cours d'une vie! ■

© A. Fardet

PHILIPPE LEGRAND

« Démontons les discours caricaturaux sur les lipides : ils sont désastreux ! »

Pourquoi les lipides ont-ils été si longtemps diabolisés ?

Philippe Legrand : Ils l'ont été, car tous nos excès, qu'ils soient lipidiques, glucidiques ou alcooliques, se transforment en lipides, ceux du gras que l'on retrouve dans les bedaines, les bourrelets et les fessiers. Le premier réflexe, il y a une cinquantaine d'années, a donc été d'appeler à manger moins de gras, mais c'était méconnaître la réalité biochimique : trop de boissons sucrées ou de pâtes ont les mêmes conséquences sur la silhouette, parce que tout simplement, les stocks d'énergie de l'organisme sont sous forme de lipides, les molécules les plus efficaces en termes de densité d'énergie. Le rapport est de 1 à 6 avec les glucides.

Je vous invite à faire le calcul de la masse adipeuse d'un individu qui n'est pas en surpoids, soit 17% de son poids. Multipliez par 5 et ajoutez le résultat à ce poids. Avec des réserves glucidiques plutôt que lipidiques, une personne de 80 kilogrammes en pèserait près de 150.

Les consignes enjoignant à manger moins gras pour lutter contre l'obésité n'ont évidemment pas eu les effets escomptés. Au contraire, la proportion d'obèses dans la population a augmenté. Le gras n'était pas la bonne piste.

En effet, quel que soit le combustible, sucre ou gras, c'est l'équilibre énergétique entre l'énergie ingérée et l'énergie dépensée qui régule nos réserves. À l'appui de ces idées, des études avaient déjà montré que l'obésité est en fait corrélée au nombre de voitures par foyer ou au temps passé devant l'écran. Tout est bien une affaire de balance énergétique, que l'on peut traduire par : « Mangez ce que vous voulez, mais faites du sport ! Et mangez moins si vous ne voulez pas faire de sport. »

BIO EXPRESS

1996
Directeur du laboratoire Biochimie nutrition humaine à l'Agrocampus-Inserm de Rennes.

1998-2012
Expert à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).

© Astrid di Crollalanza (auteur) ; © Shutterstock.com/Tatjana Baibakova (photo) ; © Shutterstock.com/Bacsica (schéma)

Pourtant la lipidophobie est encore en cours…

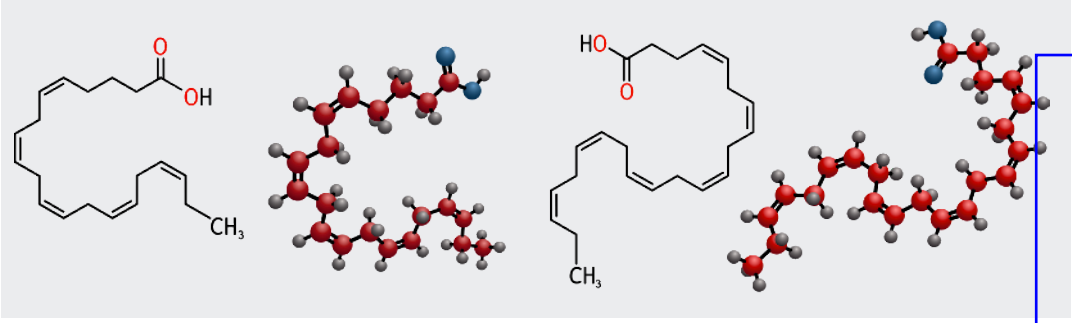
Philippe Legrand : Oui, car les mentalités mettent beaucoup de temps à changer. Ainsi, le Nutri-Score, cette échelle de valeur nutritionnelle d'un aliment, est fondé, à tort, sur cette aversion des lipides : dès qu'ils sont présents, la note du produit est dégradée. Le Nutri-Score fusille ainsi des aliments pourtant essentiels et bruts comme les huiles qui ont le malheur d'être grasses ! C'est plutôt sur la quantité (les portions) qu'un score serait utile, pas sur un jugement de valeur d'aliments plus ou moins équilibrés, car c'est le menu qui fait l'équilibre.

Peut-on rappeler la différence entre les divers types d'acides gras ?

Philippe Legrand : Un acide gras est d'abord une chaîne linéaire de carbone, avec un CH_3 à une extrémité, un groupe carboxyle COOH à l'autre, et entre les deux plusieurs CH_2 sans aucune double liaison lorsque l'acide gras est saturé. Quand une enzyme désaturase installe une double liaison à un endroit de la chaîne, un motif « $CH_2 - CH_2$ » devient un « CH = CH », faisant un acide gras mono-insaturé. Dans un poly-insaturé, le nombre de doubles liaisons augmente. Les acides gras sont rarement libres dans la cellule, ils sont regroupés sous forme de triglycérides et de phospholipides. Les triglycérides sont des assemblages de trois acides gras branchés sur une molécule de glycérol. Ces triglycérides sont des lipides de réserve. Lorsqu'un des trois acides gras est remplacé par un acide phosphorique, on obtient un phospholipide, un lipide de structure, le constituant essentiel des membranes cellulaires.

Sommes-nous capables de fabriquer ces acides gras poly-insaturés ?

Philippe Legrand : C'est le cas pour certains, mais pas pour deux familles pourtant indispensables à nos organismes, les oméga-3 et 6 (le numéro renvoie à la position de l'atome de carbone portant la double liaison la plus proche du CH_3 terminal, désigné par la lettre oméga). Obligatoirement fournis par l'alimentation, les précurseurs de ces oméga-3 et 6 ont le même rang nutritionnel que les acides aminés indispensables, et ont même été appelés « vitamines » à leur découverte. Ces précurseurs ont des doubles liaisons en des endroits spécifiques de la chaîne de carbone pour lesquels nous n'avons pas les désaturases correspondantes. Ces enzymes se trouvent exclusivement chez les plantes. Après ingestion, le métabolisme animal et donc humain ajoute spécifiquement des doubles liaisons supplémentaires pour obtenir les dérivés poly-insaturés oméga-3 et 6. Mais ces conversions sont trop faibles : il nous faut donc des sources animales (poissons et viandes) pour obtenir ces dérivés et satisfaire les apports nutritionnels conseillés. >



L'acide eicosapentanoïque, ou EPA *(à gauche)* et l'acide docosahexanoïque, ou DHA *(à droite)*, sont deux oméga-3 indispensables à l'organisme. Si les oméga-3 en général se trouvent dans l'huile de colza, quelques graines et certains fruits à coques, le DHA et l'EPA sont essentiellement dans les poissons gras comme le saumon.

LIPIDES	APPORTS NUTRITIONNELS CONSEILLÉS (ANC) EN % DE L'APPORT ÉNERGÉTIQUE TOTAL (SAUF DHA ET EPA)
Lipides totaux	35 à 40 %
Acides gras saturés totaux	≤ 12 %
Acides gras saturés à 12, 14 et 16 carbones	≤ 8 %
Acides gras mono-insaturés	15-20 % (acide oléique)
Acides gras poly-insaturés	
• Acide linoléique (oméga-6)	4 %
• Acide alpha linoléique (oméga-3)	1 %
DHA	250 mg par jour
EPA + DHA	500 mg par jour

En quoi les oméga-3 et 6 sont-ils indispensables ?

Philippe Legrand : Depuis les années 1930, on sait qu'ils sont la clé du bon fonctionnement des membranes cellulaires. Sans ces acides gras et leurs dérivés, ces dernières seraient rigides et aucune enzyme ni récepteur ne pourrait s'y insérer ni même y fonctionner. En d'autres termes, les poly-insaturés contrôlent la fluidité membranaire, ajustable en permanence. Dans cette première fonction très structurale, oméga-3 et oméga-6 jouent dans le même sens.

Il en va différemment dans ce qui touche à l'inflammation et la régulation de l'agrégation plaquettaire (la formation de caillots) où intervient tout un monde de dérivés d'acides gras indispensables: prostaglandines, leucotriènes, thromboxanes, résolvines, neuroprotectines... Globalement, les oméga-6 ont plutôt des propriétés pro-inflammatoires (par exemple, l'acide arachidonique) tandis que les oméga-3 sont anti-inflammatoires. De même, l'agrégation plaquettaire repose sur l'équilibre entre les dérivés des oméga-6 et ceux des oméga-3.

Est-ce à cause de cet antagonisme que les recommandations nutritionnelles en oméga-3 et 6 s'expriment selon un ratio ?

Philippe Legrand : Exactement. Précisons que l'on ne parle pas ici de l'inflammation aiguë après une blessure par exemple, mais de celle hors traumatisme, une inflammation à bas bruit qui se traduit par le vieillissement de nos artères et la formation d'éventuelles plaques d'athéromes. Avec un régime trop dominé par les oméga-6, une inflammation se déclenchera à la moindre occasion. Mais avec suffisamment d'oméga-3, le bruit de fond inflammatoire est largement atténué et ses conséquences retardées. Cet équilibre est à la base de toutes les références nutritionnelles pour la population (RNP), autrefois nommées « apports nutritionnels conseillés » (ANC), que l'on a longtemps présentées, par souci de pédagogie, comme un ratio. Cependant, on peut désormais s'en passer pour la bonne raison que l'on connaît les valeurs requises pour les deux familles (*voir le tableau ci-dessus*).

À en croire les études de cohortes, la situation nutritionnelle des Français est aujourd'hui plutôt correcte en ce qui concerne les oméga-6, mais pour les oméga-3, d'énormes progrès restent à faire.

Quelles sont les conséquences de ce déficit en oméga-3 ?

Philippe Legrand : Elles sont importantes, car les oméga-3 ont aussi, et surtout, un rôle déterminant dans le cerveau. C'est particulièrement vrai pour l'acide gras historiquement nommé... « acide cervonique », c'est dire. Il s'agit de l'acide docosahexaénoïque, ou DHA: *docosa* signifie 22, soit le nombre d'atomes de carbone, et *hexa*-6, le nombre de doubles liaisons. Ce DHA et un autre oméga-3, l'acide eicosapentaénoïque (20 carbones et 5 doubles liaisons), ou EPA, sont des constituants majeurs des neurones et d'autres cellules du cerveau dont ils structurent la croissance. En tant que précurseur de nombreuses molécules anti-inflammatoires, les neuroprotectines, le DHA joue également un rôle crucial dans la protection de ces mêmes cellules cérébrales. Le DHA est tellement important qu'une directive européenne oblige depuis février 2020 de l'ajouter à tous les laits infantiles.

Les enfants seraient donc aussi victimes de la lipidophobie ?

Philippe Legrand : Tout à fait, et ce sont même les principales. Depuis trente ans, seul le précurseur végétal du DHA était présent dans les laits. C'était la conséquence d'un raisonnement simple, et erroné: puisque les lipides sont mauvais pour les adultes, pourquoi en serait-il autrement pour les enfants ? Tous les lipides d'origine animale ont été bannis, seules sont restées les huiles de palme, de colza, de tournesol... Rien de dangereux, certes, mais on est loin des quelque 300 acides gras du lait maternel et de l'indispensable DHA.

Des travaux avaient effectivement montré que le cerveau en formation nécessite un apport de DHA. Plus encore, un déficit en DHA pendant la période périnatale (les trois derniers mois *in utero* et les deux premières années) ne se comble jamais par la suite. Et de fait, on observe aujourd'hui que le vieillissement semble être beaucoup plus rapide quand il n'y a pas eu de DHA durant l'enfance. La maladie d'Alzheimer serait aussi plus fréquente. D'ailleurs, le DHA est aujourd'hui la seule molécule un tant soit peu efficace non pas pour soigner, mais ralentir la maladie. En fin de compte, l'enfant et le vieillard se retrouvent autour du déficit en DHA qui est le principal sujet moderne sur les lipides.

L'enfant et le vieillard se retrouvent autour du déficit en DHA, le principal sujet moderne sur les lipides

Soyons un peu pratiques, où trouve-t-on ces oméga-3 ?

Philippe Legrand : On trouve le précurseur dans l'huile de colza par exemple, mais les dérivés oméga-3 actifs sont produits ou concentrés par des animaux, en premier lieu les poissons dont ils constituent le tissu adipeux, surtout chez les grands carnassiers en bout de chaîne alimentaire. Les sources en oméga-3 sont donc à la fois d'origine végétale et animale, et doivent se compléter. De fait, une plante n'ayant pas de cerveau, elle n'a pas besoin d'acide cervonique. Cela pose question pour les végétariens et les végans qui n'ont pas de source directe de DHA.

Quel est le lien entre les lipides et le cholestérol ?

Philippe Legrand : Après la Seconde Guerre mondiale, la population lassée des restrictions a beaucoup mangé et très gras, avec force acides gras saturés et sucres, entraînant un pic de maladies cardiovasculaires. Mais le marqueur biologique associé était exclusivement la cholestérolémie, ce qui a nui à la réputation de cette belle molécule aux multiples fonctions essentielles.

Le premier réflexe a été un haro sur les œufs, le beurre, le lait… et toutes les sources alimentaires de cholestérol. Erreur. L'augmentation de la cholestérolémie est surtout due à sa synthèse dans le foie ainsi qu'à l'excès d'acides gras saturés et de sucre. Il a fallu attendre les années 2010 pour s'en rendre compte.

Les acides gras saturés seraient donc à éviter ?

Philippe Legrand : C'est exagéré, à modérer et seulement pour certains d'entre eux. D'abord, certains des acides gras saturés à chaîne courte à 2, 4, 6 ou 8 atomes de carbone sont très utiles. Ensuite, lorsqu'en 2010, avec le comité que je présidais, nous avons reformulé les RNP, seuls l'excès de trois acides gras saturés était associé à une hypercholestérolémie. Et aujourd'hui, il n'en reste qu'un, l'acide palmitique, le chef de file des saturés. Et c'est justement celui que l'on fabrique quand il est question de transformer en lipides les excès alimentaires de toute nature : témoin de nos écarts, il est le passage obligé pour transformer glucides et alcool en gras.

La situation a beaucoup évolué, et les dernières recommandations autorisent jusqu'à 12 % d'acides gras saturés dans les apports énergétiques totaux. Auparavant, ils étaient honnis. Pourtant, on en fabrique sans doute plus qu'on en mange dès lors qu'on consomme trop de glucose et de fructose par exemple. La phobie des acides gras saturés est désormais dépassée.

D'autant plus que le microbiote intestinal fabrique justement des acides gras saturés à chaîne courte, et qu'ils nous sont utiles ?

Philippe Legrand : Oui, ils sont apportés par les produits laitiers et la viande, mais sont également fabriqués par notre microbiote et lui sont bénéfiques. Les bactéries les fabriquent à partir des fibres végétales que l'on ne sait pas digérer.

La situation nutritionnelle des Français est plutôt correcte en ce qui concerne les oméga-6, mais pas pour les oméga-3

Mais 20 à 30 grammes de ces fibres suffisent. En consommer plus et l'on risque d'avoir des polypes pouvant dégénérer en cancer du côlon.

De même, en bannissant l'alimentation animale, et les sources de gras qui vont avec, les végétariens se retrouvent avec un excédent glucidique à partir duquel ils font le seul acide gras que l'organisme humain sait synthétiser, l'acide palmitique, celui de la graisse de saucisson et des produits laitiers. Il s'ensuit, comme l'a montré en 2019 une équipe de l'université d'Oxford, un risque d'accident cardiovasculaire accru de 21 % par rapport aux omnivores.

En conclusion, comment réhabiliter le gras ?

Philippe Legrand : Par exemple en rappelant que depuis la nuit des temps, nous sommes omnivores. Dès que chacun a eu accès à un peu de produits animaux et de leurs lipides, l'espérance de vie s'en est ressentie et la malnutrition a reculé. C'est le sens de la poule au pot imposée par Henri IV !

Démontons les discours caricaturaux sur les lipides, ils sont désastreux. En effet, pour les lipides comme pour les autres nutriments, il ne faut rien bannir et conserver une complémentarité des aliments végétaux et animaux pour assurer la croissance chez les nourrissons et les jeunes, l'entretien et le renouvellement chez les adultes et la sécurité alimentaire chez les anciens.

PROPOS RECUEILLIS PAR LOÏC MANGIN

BIBLIOGRAPHIE

PH. LEGRAND *ET AL.*, Les lipides ne doivent plus être diabolisés… ni chez l'adulte, ni chez l'enfant, *Médecine/Sciences*, vol. 37, pp. 41-46, 2021.

T. TONG *ET AL.*, Risks of ischaemic heart disease and stroke in meat eaters, fish eaters, and vegetarians over 18 years of follow-up: Results from the prospective EPIC-Oxford study, *BMJ*, vol. 366, art. l4897, 2019.

La malbouffe est-elle une drogue ?

Un beignet dégoulinant de sucres vous fait de l'œil ? Si vous succombez souvent à ce genre de tentation et que ce comportement devient « douloureux », vous souffrez peut-être d'addiction. Un phénomène en cause dans l'épidémie mondiale d'obésité.

Un rat qui risque sa vie pour un carré de chocolat ? C'est possible ! Lors d'une expérience, nous avions offert à des rats un accès illimité à des aliments classiques – pour des rongeurs –, et dressé, à côté, un « buffet » de nourriture fort appétissante et, surtout, très calorique : saucisses, *cheesecake*, chocolat. Qu'ont fait les animaux ? Ils ont vite délaissé les aliments fades, mais sains, pour se jeter sur la « malbouffe », de manière quasi exclusive. Évidemment, ils ont pris du poids. Et sont devenus obèses.

Puis nous avons conditionné les rats à associer un signal, un flash lumineux, à une décharge électrique et donc à un sentiment de peur. Si les rongeurs étaient occupés à manger leur nourriture habituelle au moment du flash, ils détalaient sans demander leur reste, bien effrayés. Mais s'ils étaient obèses et se délectaient de saucisses ou de chocolat quand nous lancions le signal, c'était alors bien différent : ils finissaient leur repas, ignorant le danger. La quête de plaisir prenait le pas sur leur instinct de survie.

L'ESSENTIEL

- Manger trop d'aliments riches ne serait ni un trouble du comportement, ni un problème hormonal. Le seul coupable : la nourriture pleine de sucres et de graisses.

- Cette dernière provoquerait une surexcitation du système de la récompense dans le cerveau, ce dernier perdant alors tout pouvoir coupe-faim. Conséquence, plus on mange, plus on a envie de manger.

- Mais ce n'est pas pour autant que l'on peut considérer la surconsommation de malbouffe comme une addiction. De nombreuses questions restent en suspens. Y répondre permettra peut-être de trouver de nouveaux traitements.

L'AUTEUR

PAUL KENNY
est directeur du département de neurosciences à l'école de médecine Icahn du Mont-Sinaï, à New York.

© Getty Images/Peter Dazeley

Nos observations vont dans le même sens que celles d'une étude conduite par l'équipe de Barry Everitt, à l'université de Cambridge, en Angleterre. Mais les chercheurs avaient alors placé les rats face à de la cocaïne… et non des aliments gras et sucrés. D'où une question préoccupante : nos rats obèses sont-ils accro à la nourriture ? Et si oui, une telle dépendance se retrouve-t-elle chez les humains ?

L'incapacité à interrompre un comportement toxique ou dangereux est fréquente dans les cas d'addiction. Et, de fait, les scientifiques ont montré que de telles envies irrépressibles face à la nourriture existent aussi chez l'homme. La majorité des personnes obèses affirment souvent vouloir réduire leur consommation calorique, mais se révèlent en général incapables de s'empêcher de trop manger, malgré les risques encourus, tant physiques, pour leur santé, que sociaux, pour leur vie de tous les jours.

QUAND LE PLAISIR L'EMPORTE SUR LA SATIÉTÉ

Jusqu'au début des années 1990, la plupart des gens considéraient l'obésité comme un trouble du comportement : les personnes en surpoids ou obèses manquaient de volonté et de contrôle de soi, voilà tout. Cette perception a bien sûr radicalement évolué, du moins au sein de la communauté scientifique. D'abord, grâce aux travaux de Douglas Coleman, du laboratoire Jackson de Bar Harbor, aux États-Unis, et de Jeffrey Friedman, de l'université Rockefeller, à New York. En étudiant deux lignées de souris candidates à l'obésité et au diabète, les chercheurs ont isolé, dans un des groupes, une anomalie génétique dans les cellules graisseuses qui produisent une hormone, la leptine. Les souris, comme les humains, sécrètent cette dernière en fin de repas, ce qui stoppe la sensation de faim et évite de manger davantage. En revanche, les souris déficitaires en leptine ont un appétit insatiable et deviennent obèses.

Puis, dans une seconde étude, Douglas Coleman et Jeffrey Friedman ont montré que l'obésité des souris de l'autre lignée s'expliquait là encore par une anomalie génétique : les animaux étaient incapables de répondre à l'action de la leptine et de la réguler. Ainsi, autant au niveau de la production que de la réception par les organes cibles, la leptine participe de l'obésité. C'était la première fois que l'on mettait en évidence le rôle clé des hormones dans la régulation de l'appétit et donc de la masse corporelle. Un déséquilibre hormonal peut donc entraîner une surconsommation d'aliments, et l'obésité se propagerait dans certaines familles qui présentent un déficit de synthèse ou d'action de la leptine.

Alors l'obésité est-elle un trouble hormonal ? En partie seulement. Car, selon les observations, peu de personnes obèses souffrent effectivement de ce genre de dérégulation génétique des hormones de l'appétit. Si l'obésité s'expliquait par ce seul déséquilibre hormonal, les tests sanguins révéleraient soit une carence en hormones coupe-faim, soit, à l'inverse, un excès en hormones qui stimulent l'appétit. Or, souvent, les individus obèses ont un taux élevé d'hormones de satiété, comme la leptine et l'insuline. Paradoxe.

C'est ici que le concept d'addiction entre en jeu. Les hormones de régulation de l'appétit activent ou inhibent différents réseaux de neurones, logés dans l'hypothalamus, une structure située au centre du cerveau. Mais elles agissent aussi sur le circuit cérébral de la récompense, du plaisir et de la motivation – celui-là même qui est activé par l'alcool ou d'autres drogues. Tout cela fait sens : si vous n'avez pas mangé depuis plusieurs heures, vous allez passer du temps, dépenser de l'argent et faire des efforts pour obtenir de la nourriture – votre récompense –, et elle aura alors du goût !

Lors de ces périodes de faim, les hormones de la prise alimentaire amplifient la réaction aux aliments du circuit de la récompense du cerveau, d'une région notamment : le striatum (*voir l'encadré page ci-contre*). Celui-ci est « hyperconcentré » en endorphines, les molécules analogues à la morphine qui provoquent des sensations de plaisir et de récompense. Normalement, à mesure que vous mangez, votre estomac et vos intestins libèrent des hormones de satiété qui diminuent la sensation de plaisir déclenchée par le striatum et le reste du système cérébral de la récompense. La nourriture devient alors moins appétissante, votre attention s'en détourne, et vous pouvez passer à autre chose. Ainsi, des interactions hormones-neurones contrôlent l'appétit, en partie en modulant le plaisir associé à la consommation de nourriture.

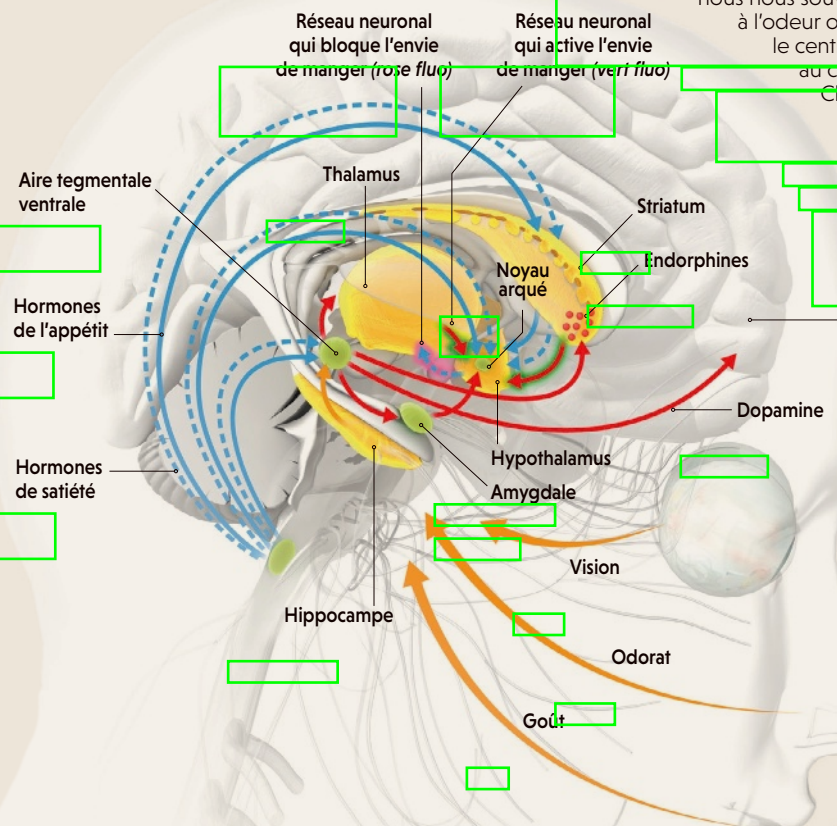
UNE TOLÉRANCE À LA MALBOUFFE

Mais ça, c'était avant l'arrivée de la nourriture moderne, très appétissante, en particulier des aliments gras, sucrés et savamment présentés et vendus. Cette nourriture active le circuit de la récompense de façon si intense qu'elle parvient à prendre le dessus sur les mécanismes hormonaux de la satiété, et nous invite à manger toujours plus alors que nous ne devrions pas avoir faim. Elle surpasse la leptine et décuple le plaisir. Nous en avons tous fait l'expérience : nous venons de terminer un bon plat et ne pouvons plus avaler une bouchée. Mais notre gâteau préféré arrive sur la table et nous trouvons toujours une petite place pour un dernier morceau, qui est, en plus, le plus calorique de la journée.

De là vient le problème. Nous sommes naturellement dotés d'un système cognitif et

DE L'ALIMENTATION NORMALE À L'ADDICTION

Des circuits cérébraux associés à différentes hormones *(en bleu)* contrôlent notre comportement alimentaire : nous savons quand manger et quand arrêter afin de garder un poids de forme (c'est-à-dire équilibrer les pertes et les gains énergétiques). Il existe ainsi des hormones et des réseaux neuronaux de l'appétit et de la satiété. Mais les aliments gras ou sucrés nous incitent parfois à manger plus que nécessaire *(en rouge)*. Et plus nous consommons, plus nous voulons continuer. Des troubles également assez fréquents chez les toxicomanes.



1 ALIMENTATION NORMALE

Quand nous avons faim, les intestins libèrent des hormones *(flèches bleues épaisses)* qui stimulent l'appétit en alertant des réseaux neuronaux particuliers situés dans le noyau arqué de l'hypothalamus. Ces hormones activent aussi le centre cérébral de la récompense, dont font partie l'aire tegmentale ventrale, le striatum, le thalamus et l'amygdale, ce qui augmente le plaisir associé au fait de manger. À mesure que les intestins se remplissent et que les concentrations de nutriments augmentent dans le sang, des hormones de satiété comme la leptine et l'insuline sont sécrétées dans l'hypothalamus et le centre de la récompense *(flèches bleues en pointillé)*, ce qui coupe l'appétit et supprime le plaisir. La nourriture est moins attractive.

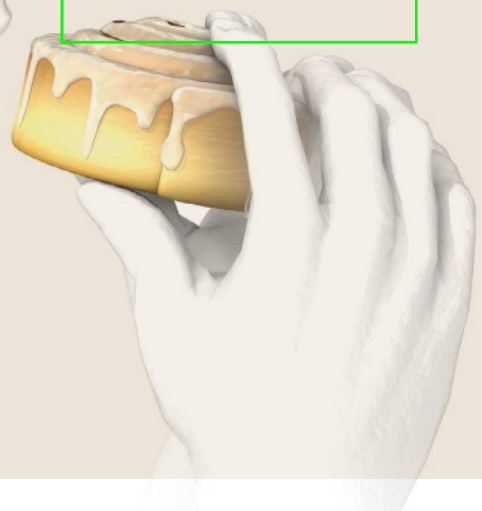
2 SURALIMENTATION

Quant aux aliments riches en graisses et en sucres, ils incitent le striatum à synthétiser plus d'endorphines, des molécules du bien-être proches de la morphine et à l'origine du *binge fooding* (le fait de trop manger de nourriture malsaine). Les endorphines amplifient alors la libération de dopamine *(flèches rouges)* par le striatum, ce qui nous motive à manger encore plus, d'autant que dans le cortex préfrontal, la dopamine perturbe aussi la prise de décision. Et en général, nous nous souvenons bien du plaisir associé au goût, à l'odeur ou à la vue d'un aliment, car l'hippocampe, le centre cérébral de la mémoire, est aussi connecté au circuit de la récompense *(flèches orange)*.

Chez certaines personnes, les effets des endorphines, de la dopamine et d'autres molécules qui régulent le système de la récompense prennent le dessus sur les signaux hormonaux de satiété et sur leur capacité à stopper la prise alimentaire quand l'estomac est plein.

3 DES TRAITEMENTS POTENTIELS ?

Les drogues, comme les aliments hypercaloriques, entraînent la libération de dopamine et le développement de boucles de rétroaction dans le cerveau qui motivent les patients à consommer toujours plus. Les molécules capables de bloquer ces interactions, déjà utilisées dans le traitement des addictions aux drogues, représentent un espoir dans la lutte contre l'obésité.



© Bryan Christie

> hormonal capable de nous aider à maintenir notre « poids de forme », en nous signalant quand manger et quand nous arrêter. Mais la malbouffe parvient souvent à éteindre ces signaux hormonaux et cérébraux, ce qui nous fait prendre du poids. Bien sûr, l'organisme, alerté, réagit en sécrétant dans le sang de plus en plus d'hormones coupe-faim. Mais à force de côtoyer ces dernières, le corps et le cerveau apprennent aussi à les tolérer. De sorte que l'impact et l'efficacité de ces hormones diminuent au fil du temps.

Encore plus frappant : des études en imagerie cérébrale ont montré que le circuit de la récompense des individus en surpoids est moins sensible et réagit moins fortement à la nourriture, malbouffe comprise, que celui des personnes ayant un poids normal. Et ce dysfonctionnement entraîne une baisse du moral. Alors comment les personnes obèses réagissent-elles pour surmonter les soucis ou la déprime du quotidien ? En se réfugiant dans la nourriture, censée leur faire plaisir. D'où un cercle vicieux. En d'autres termes, les sujets obèses auraient besoin de davantage se nourrir pour parvenir au même degré de plaisir que les personnes minces.

L'obésité ne serait donc pas une affaire de volonté. Elle ne serait pas non plus toujours liée à un déséquilibre hormonal. Dans certains cas, le plaisir de manger plus prendrait en otage le système cérébral de la récompense. Comme les drogues, les aliments activent alors une boucle de rétroaction : plus nous consommons, plus nos besoins augmentent, et plus ces derniers sont difficiles à satisfaire. Cela suffit-il pour considérer le plaisir de manger comme une addiction ?

MORPHINE, ALCOOL, SUCRE, GRAS : MÊME COMBAT ?

Certaines substances, drogues ou médicaments, comme la morphine, utilisent les mêmes mécanismes que la malbouffe pour stimuler le circuit de la récompense. Et les similitudes ne s'arrêtent pas là. Quand de la morphine est injectée dans le striatum de rats, elle déclenche une « fringale » terrible chez les rongeurs, qui se mettent alors à manger comme quatre, même s'ils viennent d'être nourris et sont rassasiés. Ce qui suggère que la morphine et les autres opiacés miment les effets de certains neurotransmetteurs, les molécules de communication entre neurones, comme les endorphines, qui sont naturellement libérées dans le cerveau pour stimuler les comportements de prise alimentaire.

UN INGRÉDIENT UNIQUE NE PROVOQUE PAS UNE ADDICTION À LA NOURRITURE. CE SERAIT PLUTÔT UNE COMBINAISON DE GRAISSES ET DE SUCRES, ASSOCIÉE À UN FORT POTENTIEL CALORIQUE

Dans ce cas, on pourrait s'attendre à ce que les molécules ou médicaments qui bloquent l'action des endorphines aient par ailleurs un effet coupe-faim. Des études récentes ont montré que ces inhibiteurs d'endorphines diminuent en effet l'activation du circuit de la récompense chez les hommes et les rongeurs à qui l'on présente de la nourriture fort appétissante. De sorte que les sujets mangent moins. Ces inhibiteurs permettent aussi de réduire la consommation d'héroïne, d'alcool et de cocaïne chez les personnes dépendantes, ce qui suggère l'existence de mécanismes de régulation communs. Pour preuve, des rats adeptes du *binge fooding* (une alimentation excessive et compulsive) et traités avec ces bloquants se sèvrent progressivement.

Ces découvertes confortent l'idée selon laquelle le fait de trop manger partage, dans certains cas, des caractéristiques communes avec l'addiction aux drogues. Un autre point importe : l'intervention de la dopamine. Toutes les drogues provoquent une sécrétion de dopamine dans le striatum. Ce neurotransmetteur est un élément clé de la motivation : elle incite les individus à chercher de la drogue. Pour la plupart des spécialistes, son action conditionne l'addiction, même si les mécanismes précis sont encore largement débattus. Le fait de manger sans frein et par pur plaisir stimule aussi la production de dopamine dans le striatum, ce qui encouragerait les sujets à se concentrer sur la quête et la consommation de nourriture.

Toutefois, de façon paradoxale, les rongeurs obèses synthétisent de la dopamine en très faible quantité, sans doute parce que leur circuit de la récompense s'est adapté à une « surstimulation » constante. De sorte que cette sécrétion moins importante de dopamine chez les sujets obèses conduirait à la consommation excessive de nourriture, juste pour obtenir le même plaisir que celui des individus minces. Ivan de Araujo, de l'université Yale, aux États-Unis, et ses collègues en ont fait la démonstration. Ils ont d'abord montré que des souris ayant un régime alimentaire riche en graisses présentaient une concentration particulièrement faible d'un lipide produit par les intestins : l'oléoyléthanolamine. Puis, s'ils injectaient ce dernier aux rongeurs obèses, leur concentration cérébrale en dopamine retrouvait un niveau normal et les animaux mangeaient plus d'aliments pauvres en graisses et moins de malbouffe (ou *junk food*).

Les études en imagerie cérébrale ont révélé d'autres points communs entre

surconsommation d'aliments et addiction. Le striatum des personnes obèses présente peu de récepteurs D2 à la dopamine (D2R). Tout comme les sujets alcooliques ou dépendants à un opiacé, à la cocaïne ou aux méthamphétamines. Par ailleurs, les individus nés avec un déficit en récepteurs D2R ont plus de risques de devenir obèses ou addicts aux drogues. Le manque de ces récepteurs entraînerait une moindre activation du système cérébral de la récompense, ce qui suggère que la suralimentation serait un comportement adaptatif pour retrouver du plaisir à manger. Souvent, ces individus ne savent pas non plus résister à des actes qui leur seraient préjudiciables. Sans doute parce que le système cognitif qui permet de se contrôler et d'éviter les comportements plaisants mais risqués, comme la consommation de nourriture riche en graisses ou de drogues, n'est plus efficace. Ce système met notamment en jeu le cortex préfrontal, essentiel à la prise de décision.

Nos études réalisées avec des rats confirment ces résultats. Les rongeurs obèses qui continuaient à manger de la *junk food* en ignorant le signal annonçant une décharge électrique présentaient eux aussi des concentrations faibles en récepteurs D2R à la dopamine dans leur striatum. Consommer de la nourriture en quantité excessive ou de la drogue persiste même si c'est dangereux pour le sujet. D'ailleurs, de nombreuses personnes obèses sont si démunies qu'elles en viennent elles-mêmes à tenter des procédures risquées, comme la pose d'un anneau gastrique, censée les aider à contrôler leur appétit. Ce qui, souvent, ne les empêche pas de trop manger et se solde par un échec.

Ce cercle vicieux de mauvaises habitudes qui provoquent trop peu de plaisir quand on mange, des tentatives d'évitement et des rechutes ressemble beaucoup à celui de l'addiction aux drogues. De sorte que la plupart des scientifiques considèrent maintenant que l'obésité serait due à un puissant désir de satisfaire le centre de la récompense du cerveau. Les désordres hormonaux et métaboliques dont sont victimes les personnes obèses seraient une conséquence de leur surpoids, plutôt qu'une cause.

Ces similitudes entre obésité et addiction ont conduit certains experts à suggérer que l'obésité soit intégrée à la version la plus récente du *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*, le *DSM-5*, la « bible » de la psychiatrie qui présente les procédures de diagnostic à suivre pour toutes les maladies psychiatriques. Mais cette proposition fait encore aujourd'hui l'objet d'un débat animé entre neuroscientifiques et psychiatres et les auteurs du *DSM-5* l'ont pour l'instant écartée, notamment pour éviter que les personnes obèses ne soient cataloguées comme « malades mentaux ».

LA « NICOTINE » DE LA MALBOUFFE ?

Par ailleurs, cette prudence se justifie. Car malgré leurs ressemblances, obésité et addiction diffèrent sur plusieurs points. Par exemple, si la nourriture était une drogue, elle devrait contenir un élément unique qui déclenche l'addiction. Un peu comme s'il existait une « nicotine » de la malbouffe. Plusieurs études, comme celles de Nicole Avena, à l'école de médecine du Mont-Sinaï, à New York, ou de Bartley Hoebel, de l'université de Princeton, donnent du crédit à l'idée que des lipides ou des sucres particuliers seraient responsables de la dépendance à la nourriture.

De même, David Ludwig, de l'hôpital pour enfants de Boston, suggère que les carbohydrates, ou sucres complexes, qui sont vite synthétisés et digérés, déclencheraient l'état de manque. Mais aujourd'hui, la plupart des recherches montrent qu'un ingrédient unique ne peut pas être à l'origine de comportements addictifs vis-à-vis de la nourriture. Ce serait plutôt une combinaison de lipides et de sucres, associée à un fort potentiel calorique, qui serait mise en jeu.

D'autres spécialistes, dont Hisham Ziauddeen, I. Sadaf Farooqi et Paul C. Fletcher, de l'université de Cambridge, affirment que la tolérance et le sevrage ne fonctionnent pas de >

L'OBÉSITÉ DANS LE MONDE

650 millions
d'adultes sont obèses selon l'OMS (données de 2016) et 1,9 milliard sont en surpoids.

3
La prévalence de l'obésité a presque triplé au niveau mondial entre 1975 et 2016.

38 millions
d'enfants de moins de 5 ans étaient en surpoids ou obèses en 2019 dans le monde.

15,3 %
des Français seraient obèses (données de 2017) selon l'OCDE.

© Shutterstock.com/Picsfive

la même façon chez les personnes obèses et chez les sujets drogués. Pour eux, obésité et addiction aux drogues seraient deux choses fondamentalement différentes. Mais ce point de vue est contestable. Car si les individus obèses doivent manger toujours plus pour compenser un défaut d'activation du circuit cérébral de la récompense, on peut considérer qu'il s'agit de tolérance. Et comme la perte de poids provoque parfois des troubles de l'humeur, voire une dépression, tout comme l'abstinence chez les anciens toxicomanes, cela suggère l'existence d'un phénomène de sevrage.

NOUS SOMMES TOUS OBLIGÉS DE MANGER

Autre objection de certains spécialistes : il est absurde d'appliquer le concept d'addiction à l'alimentation puisque nous sommes tous, dans un certain sens, accro à la nourriture. Sinon, nous ne pourrions pas survivre. Mais il y a une différence avec l'alimentation compulsive : la malbouffe hypercalorique est la seule à pouvoir prendre en otage notre système de régulation de l'appétit et de la récompense. Les autres aliments, même consommés en grande quantité, ne provoquent pas ces changements cérébraux ou hormonaux.

Pendant des millions d'années, le problème majeur des êtres humains n'était pas de réduire leur appétit, mais bien de chasser et de stocker ou de produire suffisamment de nourriture pour survivre pendant les périodes de disette. Notre système de régulation du comportement alimentaire est probablement meilleur pour traquer de la nourriture en cas de faim que pour réprimer notre appétit une fois l'estomac plein. Et il est facile d'imaginer que le cerveau considère comme bénéfique le fait de se gaver d'aliments très caloriques alors que rien ne laisse présager que la nourriture sera de nouveau disponible. Mais ce comportement n'est plus adapté à nos sociétés modernes et serait contre-productif dans un monde où la nourriture, notamment celle servie dans les *fast-foods*, est abondante et omniprésente.

Certains scientifiques ont donc marqué des points en s'opposant à un modèle de l'obésité calqué sur celui des addictions. Moi-même, je ne suis pas à l'aise avec certains amalgames. Mais c'est désormais aux chercheurs de déterminer si les analogies sont anecdotiques ou proviennent des mêmes altérations cérébrales, et surtout si le modèle des addictions est transposable, ou non, à l'obésité. Car l'objectif est de trouver de nouveaux traitements, pas seulement de nourrir le débat académique.

EN ACTIVANT LE CIRCUIT DE LA RÉCOMPENSE, LA MALBOUFFE PREND LE DESSUS SUR LES SIGNAUX DE SATIÉTÉ

Quelques médicaments ont été proposés, le jour. Arena Pharmaceuticals a ainsi obtenu l'agrément de la Food and Drug Administration américaine en 2012 pour la mise sur le marché du médicament anorexigène Belviq (lorcaserine) contre l'obésité et le surpoids. La molécule stimule le récepteur 2C à la sérotonine, impliqué dans la satiété. Cependant, en février 2020, suite à la parution d'une étude suggérant l'augmentation du risque d'apparition de cancer chez les personnes prenant ces médicaments, la FDA a demandé au laboratoire fabricant le Belviq (le Japonais Eisai) de renoncer volontairement à sa commercialisation.

Un autre traitement, le rimonabant, a été quant à lui brièvement autorisé en Europe jusqu'en 2008. Il a été retiré du marché à cause d'effets secondaires d'ordre psychiatriques parfois graves (dépression et risque de suicide). Il diminuait l'appétit des patients obèses en bloquant une protéine du cerveau, le récepteur 1 cannabinoïde.

Le marché des médicaments luttant contre l'obésité n'en est donc qu'à ses balbutiements. D'autres composés sont à l'étude ou déjà autorisés. Citons l'association d'un inhibiteur des opiacés (la Naltrexone) et d'un antidépresseur (le Bupropion) prescrite pour le sevrage tabagique.

Que faire pour améliorer la prise en charge des personnes obèses ? D'abord, il importe de préciser quels réseaux et quelles modifications cellulaires du cerveau conduisent chez les toxicomanes à la consommation compulsive de drogues. Puis d'explorer le rôle de ces mêmes mécanismes chez les personnes obèses. Car il est probable que les réseaux activés par la cocaïne et par la nourriture relèvent de mécanismes similaires, mais dans des régions distinctes du cerveau. Par exemple, une étude récente a montré que la consommation excessive de sucre stimulait des régions qui relient l'hypothalamus aux neurones à dopamine du circuit de la récompense. Mais rien ne prouve que ce circuit soit aussi impliqué dans l'addiction aux drogues. Les chercheurs s'intéressent aussi aux variations génétiques communes à l'obésité et à l'addiction, comme celles qui concernent le gène du récepteur D2R à la dopamine, afin de déterminer de nouvelles cibles thérapeutiques.

Mais même si on finit par trouver des traitements, les personnes obèses devront continuer de se battre… Car nous vivons dans des sociétés saturées en graisses et en tentations de tout genre, où la nourriture malsaine est omniprésente. La première chose à faire est de ne pas y exposer nos enfants. ■

BIBLIOGRAPHIE

P. FLETCHER ET P. KENNY, Food addiction: a valid concept? *Neuropsychopharmacology*, vol. 43, pp. 2506-2513, 2018.

E. BOHULA *ET AL.*, Design and rationale for the cardiovascular and metabolic effects of Lorcaserin in overweight and obese patients–thrombolysis in myocardial infarction 61 (CAMELLIA-TIMI 61) trial, *American Heart Journal*, vol. 202, pp. 39-48, 2018.

L. A. TELLEZ *ET AL.*, A gut lipid messenger links excess dietary fat to dopamine deficiency, *Science*, vol. 341, pp. 800-802, 2013.

H. ZIAUDDEEN *ET AL.*, Obesity and the brain: How convincing is the addiction model?, *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 13, pp. 279-286, 2012.

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

OFFRE D'ABONNEMENT

DURÉE LIBRE

2 FORMULES AU CHOIX

	FORMULE PAPIER + HORS-SÉRIE	FORMULE INTÉGRALE
Le magazine papier 12 numéros par an	✓	✓
Le magazine en version numérique 12 numéros par an		✓
Le hors-série papier 4 numéros par an	✓	✓
Le hors-série en version numérique 4 numéros par an		✓
Accès à pourlascience.fr actus, dossiers, archives depuis 1996		✓
VOTRE TARIF D'ABONNEMENT	**6,50 €** PAR MOIS	**8,20 €** PAR MOIS
	31 % de réduction *	**43 %** de réduction *

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :
Service Abonnement Pour La Science - 56 rue du Rocher - 75008 Paris - serviceclients@groupepourlascience.fr

PAG21STDDOS

☑ **OUI, je m'abonne à Pour la Science en prélèvement automatique**

1 / **Je choisis ma formule** (merci de cocher) et je complète l'autorisation de prélèvement ci-dessous.

☐ FORMULE **PAPIER + HORS SÉRIE** — 6,50€ PAR MOIS - 31 %
- 12 n° du magazine papier
- 4 Hors-série papier

1-F-HSPAP-N-3PVT-6,5€

☐ FORMULE **INTÉGRALE** — 8,20€ PAR MOIS - 43 %
- 12 n° du magazine (papier et numérique)
- 4 Hors-série (papier et numérique)
- Accès illimité aux contenus en ligne

1-F-INT-N-3PVT-8,2€

2 / **Mes coordonnées**

Nom : .....
Prénom : .....
Adresse : .....
.....
Code postal |_|_|_|_|_| Ville : .....
Tél. : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
E-mail : ..... @ .....
(indispensable pour la formule intégrale)

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / **Mandat de prélèvement SEPA**

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte
Nom : ..... Prénom : .....
Adresse : .....
.....
Code postal |_|_|_|_|_| Ville : .....

Désignation du compte à débiter
BIC (Identification internationale de la banque) |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
IBAN |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte
Nom : .....
Adresse : .....
Code postal |_|_|_|_|_| Ville : .....

Date et signature

Organisme Créancier : Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse – 75014 Paris
N° ICS FR92ZZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

4 / **MERCI DE JOINDRE IMPÉRATIVEMENT UN RIB**

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

* Réduction par rapport au prix de vente en kiosque et l'accès aux archives numériques. Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/03/2022 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site boutique.groupepourlascience.fr. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément les numéros de *Pour la Science* pour 6,90 € et les hors-séries pour 7,90 €.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour la Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : https://rebrand.ly/charte-donnees-pls. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris cedex 14 – Sarl au capital de 32 000€ – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 58.14 Z

© Getty Images/Science Photo Library

UNE NOUVELLE RÉVOLUTION VERTE

Dans les années 1960, la première révolution verte a sauvé de la faim des millions d'individus en augmentant drastiquement les rendements. De ce mouvement est née l'agriculture intensive dont les piliers sont la sélection de variétés à hauts rendements, le recours aux intrants chimiques, la surexploitation des ressources hydriques... Les conséquences environnementales sont dramatiques : baisse de la biodiversité, déforestation, épuisement des sols. Cependant, de nouvelles pratiques plus respectueuses font leurs preuves. Il s'agit notamment de l'agroécologie, de l'agroforesterie et du retour des variétés anciennes. Leur essor, s'il est soutenu par les politiques publiques, constituera une seconde révolution verte au terme de laquelle on pourra espérer nourrir 10 milliards d'êtres humains sans détruire la planète.

L'ESSENTIEL

- L'agriculture se résume souvent à un sol devenu une matrice recevant les engrais et sur lequel poussent des plantes homogènes.
- L'agroécologie pourrait changer la donne grâce à un ensemble de pratiques variées favorisant des fonctions écologiques utiles à l'amélioration de l'activité agricole.
- Dans les faits, elle consiste à augmenter l'hétérogénéité des plantes cultivées ou en périphérie de parcelles de façon à exploiter les complémentarités.
- De la sorte, on privilégie l'énergie solaire par rapport aux énergies fossiles, et on profite du moindre interstice, qu'il soit spatial ou temporel.

L'AUTEUR

SAMUEL REBULARD
est ingénieur agronome, professeur en écologie, botanique et agronomie à l'université Paris-Saclay.

Les vertus d'une agriculture fondée sur la biodiversité

L'agriculture, dont la finalité est notre alimentation, est confrontée à de nombreux défis d'ordre économique, politique, environnemental et culturel. Pour les relever, la piste de l'agroécologie est pertinente : elle consiste notamment à compter sur la biodiversité.

Progressivement il y a quelque 11 000 ans au Proche-Orient, et plus tard sur d'autres continents, l'humanité a cessé de compter sur la chasse, la pêche et la cueillette pour son alimentation. C'était la « révolution » du néolithique, fondée sur la domestication des plantes et des animaux, soit, en un mot, sur l'invention de l'agriculture. Depuis, sa raison d'être n'a pas changé : elle a toujours pour finalité de nourrir l'humanité en produisant de la biomasse, animale et végétale, exportée des champs jusque dans les assiettes. Pour mener à bien cette mission, le premier prérequis consiste à disposer de surfaces dont les humains pilotent, autant qu'ils le peuvent, la production. Ils ajoutent des engrais fertilisant les cultures et exercent une contrainte forte sur la biodiversité en favorisant les espèces recherchées et en luttant contre celles considérées comme indésirables, en l'occurrence les adventices, les animaux, les microorganismes parasites…

Pour ce contrôle, les agriculteurs disposent de deux alliés, les phytosanitaires et le travail du sol. Cela a abouti au paradigme agricole du xx^{e} siècle selon lequel une parcelle

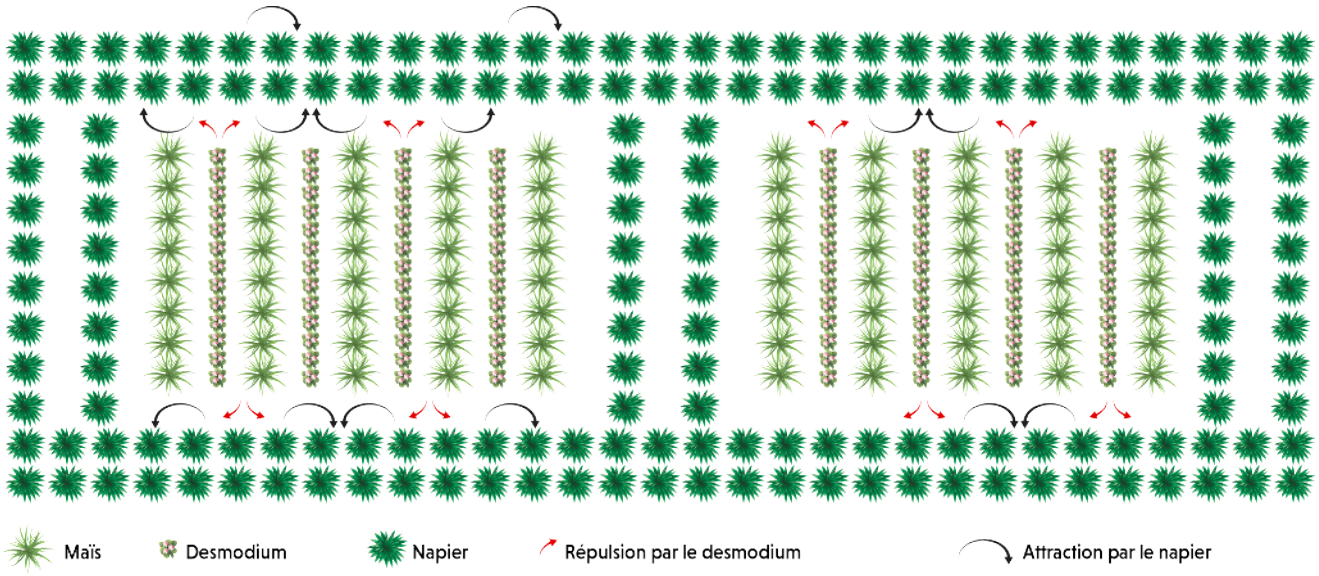
© Philippe Guichard

cultivée pouvait, voire devait se résumer à un sol, réduit au rôle de matrice recevant les engrais et pouvant être sans vie, sur lequel pousse des plantes les plus homogènes possible en termes d'espèces et le plus souvent même de génome. Cette simplification autorise un traitement uniformisé, mécanisé, à grande échelle, propre à fournir la biomasse attendue. Cette simplification s'est par ailleurs accompagnée d'une spécialisation des exploitations et souvent de modifications des paysages. Les surfaces non productives entre les parcelles, les haies ainsi que les bords de champs et de chemins ont alors fréquemment disparu.

Mais l'agriculture est beaucoup plus qu'une activité de production de biomasse alimentaire. Depuis bientôt trente ans, les attentes de la société vis-à-vis de cette activité ont beaucoup évolué et désormais, la grande emprise territoriale de l'agriculture explique que ses acteurs se voient confier, parfois malgré eux, des fonctions socioéconomiques, environnementales et culturelles collectives : maintien de l'emploi rural, garantie du bien-être animal, respect du terroir, entretien des paysages, accroissement de la biodiversité locale, évitement des pollutions, stockage du carbone, amélioration de la qualité de l'alimentation fournie…

L'agroécologie propose un large panel de réponses, au moins partielles, à ces nouvelles demandes sociétales. De quoi s'agit-il ? Le terme agroécologie forgé à la fin des >

L'association de légumineuses *(ici, de la luzerne)* et céréales *(du blé)* profite aux deux plantes grâce à l'enrichissement du sol, la réduction des adventices, la diminution des maladies, la réduction du risque d'érosion… C'est l'une des pratiques de l'agroécologie grâce à laquelle l'agriculture peut répondre aux nombreux défis qu'elle se doit de relever pour notamment fournir une alimentation de qualité en réduisant son impact environnemental.



Dans la technique du *push-pull*, née au début des années 2000, deux plantes auxiliaires sont associées à une culture principale, ici le maïs. Les pyrales adultes, des papillons ravageurs, sont repoussées par le desmodium *(Desmodium uncinatum)* et attirées par le napier *(Pennisetum purpureum)*, cette plante piégeant également les chenilles du papillon. En outre, le desmodium produit des substances toxiques contre le striga, une plante parasite du maïs. Les rendements du maïs ainsi protégés sont quasiment triplés.

> années 1920 voit sa popularité augmenter à compter des années 1990. Plusieurs définitions en sont habituellement données. Tout d'abord, opérationnellement, l'agroécologie est un ensemble de pratiques variées destinées à créer ou renforcer des fonctions écologiques utiles à l'amélioration de l'activité agricole. Ces améliorations portent sur le contrôle des bioagresseurs, la gestion de la ressource en eau, la fertilité des sols, la réduction de leur érosion, la diminution des usages d'intrants… L'agroécologie est aussi une science, dont le nom évoque l'appropriation par l'agronomie des concepts et méthodes de l'écologie scientifique. En particulier, elle étudie la conception et la pertinence de systèmes agricoles productifs, qui chercheraient en même temps à renforcer les fonctions non productives assurées par les êtres vivants. Mais, l'objet de l'agroécologie, en tant que science, est en fait plus vaste. Elle mobilise les sciences politiques, économiques et sociales ne serait-ce que par son intégration dans un projet de société sur l'alimentation et ses transitions qui va au-delà de la seule dimension agricole. Enfin, elle est aussi un mouvement social, notamment par sa capacité à aider les agriculteurs les plus modestes à augmenter leurs productions sans augmenter le recours aux intrants.

Dans les faits, l'agroécologie se traduit par une diversité de techniques, de pratiques et de nouveaux concepts qu'il est difficile de résumer. Cependant, en détaillant une poignée d'exemples, quelques caractéristiques générales se dégageront : compter davantage sur l'énergie solaire et moins sur les énergies fossiles ; exploiter les interstices temporels entre les cultures et spatiaux entre les parcelles cultivées. Dans tous les cas, l'idée est de se reposer sur la biodiversité pour améliorer les performances de l'agriculture.

CONTRE L'HOMOGÉNÉITÉ

Aujourd'hui dans les pays industrialisés, toutes les plantes cultivées dans un champ ou un verger sont génétiquement identiques. Cette homogénéité permet une gestion uniforme et industrielle de la parcelle, car toutes les plantes ont en commun les besoins nutritionnels, les sensibilités aux bioagresseurs, la taille et la date de maturité. Mais cette homogénéité rend vulnérable. Un bioagresseur, un insecte par exemple, adapté au génotype d'une espèce cultivée, passera à mesure qu'il se multipliera d'une plante à l'autre sans obstacle et occasionnera des dégâts importants. Cet effet est d'autant plus marqué qu'à l'échelle du paysage, année après année, une proportion importante des parcelles abritera la même plante avec le même génome. Ce risque est aujourd'hui principalement maîtrisé par le recours à la lutte chimique. Laquelle, dans ce contexte homogène, favorise l'émergence de résistance aux pesticides. Une voie de

L'AGROÉCOLOGIE EST UNE SCIENCE, DONT LE NOM ÉVOQUE L'APPROPRIATION PAR L'AGRONOMIE DES CONCEPTS ET MÉTHODES DE L'ÉCOLOGIE SCIENTIFIQUE

© Pour la Science, d'après S. Rebulard

réduction des pesticides, tout en assurant la régulation des bioagresseurs, repose sur une augmentation de l'hétérogénéité biologique dans le champ et sa proximité immédiate.

Historiquement, l'usage de variétés dites « de population » maintenait une hétérogénéité génétique dans les parcelles. Au champ, ces variétés regroupent des individus génétiquement hétérogènes (leurs génomes diffèrent très peu) et phénotypiquement proches (ils se ressemblent beaucoup). Leur productivité maximale est inférieure à celle des variétés génétiquement homogènes, mais elle est souvent plus stable d'une année sur l'autre. Autre avantage, la mise en commun de caractères individuels, comme les résistances aux bioagresseurs et l'adaptation à la sécheresse, limite les intrants tout en assurant une production satisfaisante. Leur résilience et leurs faibles exigences expliquent le regain d'intérêt de certains agriculteurs pour ces variétés (souvent des variétés anciennes modernisées par leur évolution continuelle au champ), et l'on trouve de plus en plus de pains confectionnés à partir de blés de population. Néanmoins, leur manque d'homogénéité et leur composition génétique évolutive les rendent peu compatibles avec les exigences actuelles du commerce des semences.

ASSOCIATION DE BIENFAITEURS

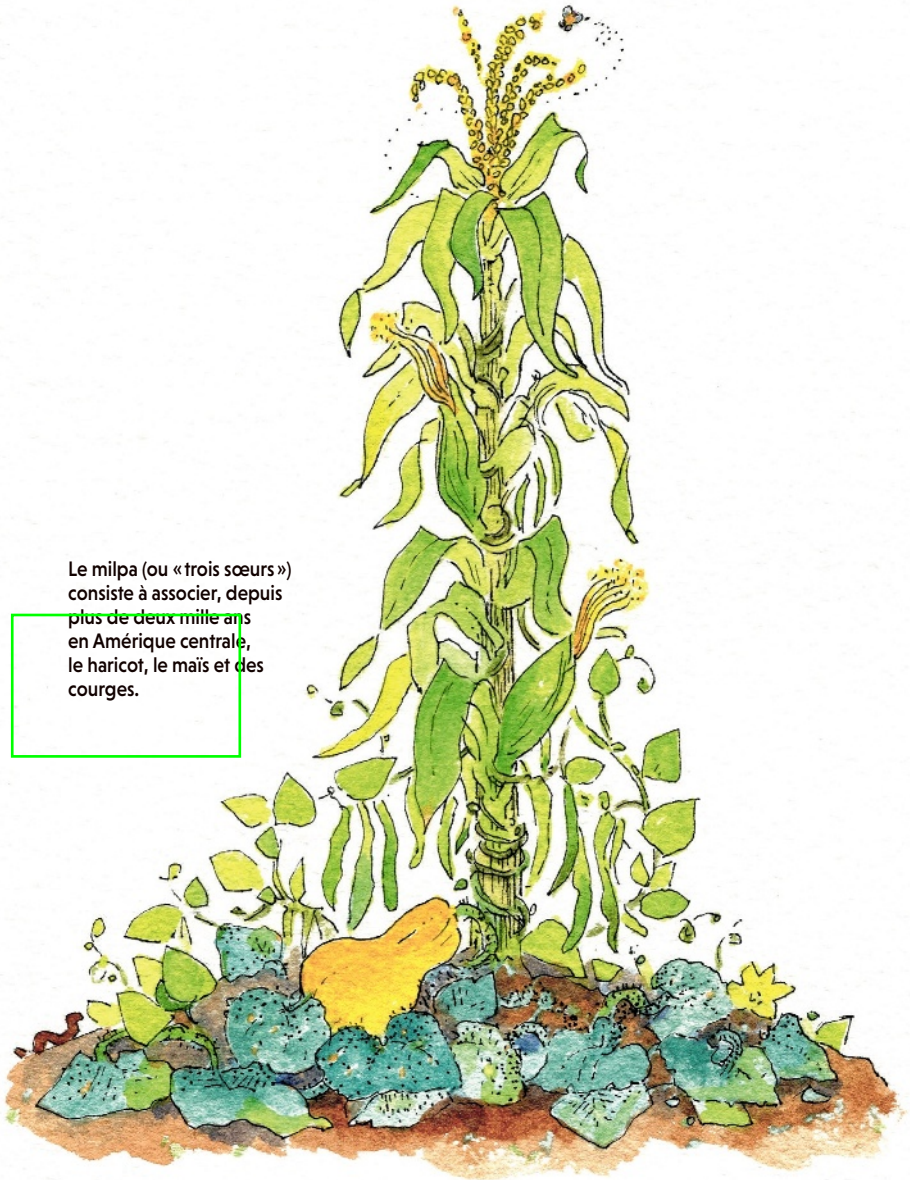
La diversité génétique peut encore être augmentée par l'utilisation non plus d'une seule variété hétérogène, mais par l'association de plusieurs variétés de la même espèce aux caractéristiques complémentaires. Ainsi, dans le Yunnan, en Chine, la combinaison de deux variétés de riz, l'une habituellement utilisée, mais sensible à une maladie provoquée par un champignon, la pyriculariose, et l'autre résistante mais moins productive, réduit considérablement (de 94%) les atteintes du pathogène et ce, sans fongicides. Chaque variété est ainsi utilisée pour les caractéristiques supplémentaires qu'elle apporte au mélange.

Selon le même principe, des variétés précoces de colza semées en périphérie de parcelles protègent la variété de colza choisie pour ses caractéristiques productives. En fleurissant tôt, la première variété attire les méligèthes, de petits coléoptères s'attaquant aux bourgeons, et limite les atteintes à la culture principale.

D'une façon générale, les performances des mélanges variétaux sont très inégales : selon les cultures et variétés, certaines associations favorisent les maladies tandis que d'autres sont protectrices. Souvent les variétés utilisées n'ont pas fait l'objet de sélection particulière pour cet usage, ce qui explique la délicate mise au point des mélanges. Complémentaire de l'amélioration traditionnelle des plantes et de la mise au point de nouvelles variétés, l'étude des mélanges variétaux aiderait à combiner rapidement au champ les caractères de différentes variétés.

Poussons encore plus loin l'hétérogénéité génétique au champ en associant des espèces différentes. Ces combinaisons prennent des formes extrêmement variées, mais les plus communes associent légumineuses et céréales. Les premières, grâce à des symbioses bactériennes racinaires, convertissent le diazote atmosphérique en formes organiques, comme des acides aminés, avec lesquelles elles enrichissent le sol environnant en azote, ce qui profite aux secondes. Des mélanges intimes de pois et d'orge, ou bien de fèveroles et de triticale, récoltés en vrac, sont par exemple régulièrement utilisés pour la production d'aliment pour le bétail, fournissant une ration riche en azote.

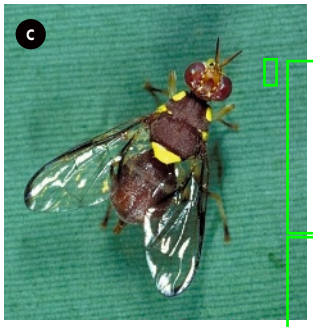
L'archétype d'une telle association est l'historique milpa (ou « trois sœurs ») connue depuis plus de 2 000 ans en Amérique centrale. >



Le milpa (ou « trois sœurs ») consiste à associer, depuis plus de deux mille ans en Amérique centrale, le haricot, le maïs et des courges.

© Cristina Brusca

À La Réunion, dans le cadre du projet Gamour, les cucurbitacées *(ici, des chayottes, ou christophines aux Antilles)* sont notamment protégées grâce à l'augmentorium, un compost *(a et b)* qui piègent les mouches des légumes, ainsi que leurs larves, par l'entremise de guêpes parasitoïdes. Les mouches ciblées sont par exemple *Dacus ciliatus (c)* et *Dacus demmerezi (d)*.



> Dans ce système de culture manuel, le haricot grimpant sur le maïs lui apporte de l'azote au niveau des racines, tandis qu'au pied des courges, avec souvent d'autres légumes, couvrent le sol, limitant ainsi le développement des adventices et l'évaporation.

Dans ses versions contemporaines, surtout dans les systèmes mécanisés, la culture d'association pose de nombreuses questions techniques sur les modalités de mise en place et de récolte de cultures dont les cycles de vie ne sont pas toujours synchronisés. En agriculture biologique, l'association de blé et de pois protéagineux réduit quasiment de moitié la proportion d'adventices entrant en compétition avec les cultures et les attaques de maladies fongiques. Le *land equivalent ratio* (LER), c'est-à-dire le rapport du rendement agricole des deux cultures en association sur la somme des rendements de chacune prise isolément est autour de 1,2: le gain est donc de 20%. On observe également de tels bénéfices en agroforesterie (*voir Agroforesterie: une intensification écologique de l'agriculture?, par C. Dupraz, page 72*). La date de récolte résulte d'un compromis entre la maturité des deux grains que l'on pourra au besoin séparer avec une trieuse.

Deux exemples de systèmes tropicaux illustrent des configurations atypiques d'associations. Le premier, mis au point au Kenya au début des années 2000, est un système d'attraction-répulsion (*push-pull* en anglais) mettant en jeu trois plantes (*voir le schéma page 54*). L'objectif principal est la lutte contre la pyrale (un papillon dont la chenille fore la tige de maïs) et le striga, une plante parasite qui se développe sur les racines du maïs. Ce dernier, la production principale, est associé dans la parcelle au desmodium, une légumineuse fixatrice d'azote et répulsive pour l'insecte qui en outre attire ses prédateurs naturels. Les bords de parcelles sont quant à eux plantés de napier, une graminée jouant le rôle de piège: elle attire les insectes qui y restent collés. Les trois plantes sont utilisables pour l'alimentation humaine ou animale. Dans les faits, les pyrales adultes sont repoussées de l'intérieur du champ vers les bordures et y sont immobilisées. Parallèlement, les effets de compétition de l'association réduisent jusqu'à 90% les infestations par le striga. Ce système, peu coûteux en intrants, adapté à une agriculture manuelle et productif est aujourd'hui adopté par des dizaines de milliers de paysans d'Afrique de l'Est.

Beaucoup d'autres systèmes agricoles reposant sur les plantes pièges sont d'ores et déjà opérationnels ou à l'étude. Ils concernent des productions aussi variées que la canne à sucre, le coton, la mangue, le gombo, la tomate. Ainsi, et c'est le deuxième exemple, le projet Gamour, à la Réunion, propose un ensemble de cinq pratiques pour réduire l'usage intensif d'insecticides contre les mouches des légumes, s'attaquant en particulier aux cucurbitacées (courgettes, chayottes, melons, concombres...). Cette fois, le maïs planté en bordure de parcelle joue le rôle de piège en attirant les insectes cibles et les tuant à l'aide d'un biopesticide utilisé à faible concentration dans des appâts. Cette réduction des insecticides favorise le développement des ennemis naturels des mouches cibles, prédateurs et parasitoïdes. À cette fin, un dispositif original est installé en bord de champ: l'augmentorium (*voir les photos*

© Cirad; © A. Franck/Cirad (mouches)

page ci-contre). Il s'agit d'un bac à compost entièrement grillagé où sont déposés les légumes attaqués par les mouches et contenant donc leurs œufs et leurs larves. Les mouches adultes qui émergent restent piégées par le grillage. En revanche, les guêpes parasitoïdes, plus petites, entrent et sortent à leur guise, afin en particulier de pondre dans les larves des mouches. La population de ces guêpes augmente mécaniquement à proximité immédiate du champ, d'où elles contribuent à réduire les effectifs des mouches des légumes dans la culture même. Avec l'utilisation massive d'insecticides seule, les atteintes de mouches des légumes affectent en moyenne 40 % des récoltes et parfois 100 %; elles sont inférieures à 20 % avec ces nouvelles pratiques.

L'ESPACE-TEMPS AGRICOLE

À la diversification dans l'espace peut s'ajouter celle dans le temps. Les rotations des cultures, des pratiques anciennes renouvelées par l'agroécologie contemporaine, en sont aujourd'hui un pilier. Le principe est de semer chaque année dans une parcelle des plantes différentes selon un cycle de 3 à 10 ans. En décalant le début de rotation sur des parcelles voisines, chaque parcelle est à un stade différent de la rotation et portera une culture différente de sa voisine. Ainsi la diversification temporelle à l'échelle de la parcelle s'accompagne d'une diversification spatiale à l'échelle du paysage. L'efficacité des rotations repose sur leur longueur, supérieure à cinq ans, et sur leur diversité. Celle-ci repose sur des critères de choix variés et raisonnés en fonction des objectifs de l'agriculteur. L'idée est d'alterner au fil des années des plantes de différentes familles et n'ayant donc pas les mêmes exigences nutritionnelles ni les mêmes bioagresseurs, des plantes qui se sèment à différentes périodes de l'année, des plantes qui fertilisent les sols et des plantes exigeantes, des plantes sensibles à la compétition des adventices et d'autres qui le sont moins, comme la luzerne et le sarrasin (elles sont dites «nettoyantes»).

Les rotations interdisent à des bioagresseurs spécialisés de s'installer durablement dans les parcelles, car leur cycle de vie est perturbé, leur source de nourriture disparaissant d'une année sur l'autre. Ce sont donc des leviers agronomiques puissants de diversification et de réduction des pesticides, déjà largement utilisés en agriculture biologique.

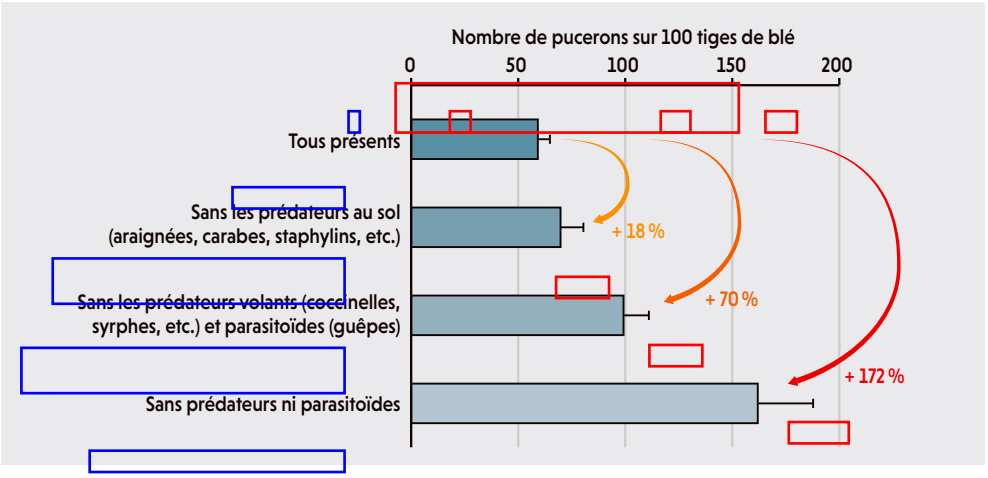
L'une des difficultés réside dans le choix des espèces. En effet, même s'il paraît pertinent à un agriculteur d'insérer une plante peu habituelle dans sa rotation (cameline, lupin, pois carré…), de nombreux freins peuvent l'en empêcher. D'abord, la documentation et le savoir-faire technique sur les espèces mineures sont beaucoup moins riches que pour les espèces dominantes. Ensuite les variétés de semences disponibles pour commencer la culture sont peu diversifiées et parfois mal adaptées au contexte local. Puis lors de la vente de la récolte, l'ensemble des acteurs en aval n'ont pas toujours les moyens logistiques et industriels économiquement viables pour accueillir de petits volumes de nombreuses espèces différentes. Enfin, un marché suffisant reste à créer pour ces cultures.

La diversification temporelle concerne aussi la période d'interculture. Les quelques semaines à quelques mois séparant la récolte d'une culture principale et le semis de la suivante peuvent être mis à profit. Le principe est d'exploiter des ressources disponibles (surface, lumière, nutriments…) pour agir positivement sur les paramètres de production ou environnementaux de la parcelle. La culture n'est souvent pas récoltée, mais détruite sur place. Par exemple, une culture de moutarde prélèvera dans le sol l'azote résiduel, évitant ainsi la pollution des nappes et cours d'eau voisins. En ajoutant une légumineuse, cette culture en mélange enrichira doublement le sol superficiel en azote.

D'autres plantes absorbent plus spécifiquement certains éléments nutritifs du sol et les rendent disponibles aux cultures suivantes à mesure qu'elles se décomposent: les brassicacées (choux, colza, moutarde, cresson…) pour le soufre, le sarrasin et la phacélie pour le phosphore, le tournesol pour le potassium. Ces effets s'ajoutent à d'autres, notamment antinématodes phytophages (moutarde blanche et phacélie) ou attraction des pollinisateurs (sarrasin et phacélie).

D'ailleurs en couvrant le sol en permanence, la biomasse produite apporte de multiples avantages complémentaires. La couverture de matière organique limite l'érosion, maintient l'humidité, et sert de gîte et de couvert à une faune et flore fongique et bactérienne diversifiées. Les lombrics dits «anéciques» en particulier enfouissent progressivement ces couverts végétaux et contribuent à augmenter la teneur en humus du sol tout en libérant lentement les éléments nutritifs mobilisés. Leurs galeries verticales favorisent l'infiltration de l'eau et l'enracinement des cultures suivantes. En augmentant la teneur en matière organique du sol, ces couverts favorisent également une meilleure utilisation de l'eau, les humus se comportant comme des éponges, et le stockage du carbone à moyen terme. Une métaanalyse a montré que les lombrics augmentent la production de 25 % en moyenne. Enfin, la couverture permanente >

L'AGROÉCOLOGIE REVIENT À PROMOUVOIR UNE BIODIVERSITÉ FONCTIONNELLE CHOISIE ET À FAVORISER DES FLUX DE MATIÈRE LOCALISÉS



Plus les espèces auxiliaires sont nombreuses et complémentaires, plus elles sont efficaces, par exemple contre les pucerons du blé d'hiver. Dans des parcelles expérimentales, à l'université de Göttingen, en Allemagne, des expérimentateurs ont retiré différentes catégories d'auxiliaires et ont observé les effets sur le parasite.

des sols entrave les adventices, soit directement en occultant la lumière, soit en abritant une faune se nourrissant de leurs graines.

C'EST LA LUTTE... BIOLOGIQUE

En agroécologie, les alliés sollicités ne sont pas uniquement des végétaux. Dans un système simplifié, les ennemis naturels des bioagresseurs sont peu nombreux, voire absents. Pour ces auxiliaires, le manque de site d'hivernage et de ressources alimentaires alternatives leur impose une reconquête de la parcelle *ex nihilo* chaque année. Les bioagresseurs qui bouclent leur cycle de vie sur place ont alors évidemment une longueur d'avance. La lutte biologique par conservation propose de restaurer des espaces semi-naturels à proximité des parcelles agricoles de façon à favoriser les ennemis naturels des cultures.

Par exemple, le sureau noir, un arbuste commun des haies européennes, abrite une espèce de puceron, le puceron noir, qui épargne les autres cultures. La présence de sureaux en bord de parcelles agricoles maintient sur place la faune diversifiée des prédateurs de pucerons (coccinelles, chrysopes, guêpes parasitoïdes...) qui se tourneront le cas échéant vers d'autres espèces de pucerons présentes dans les cultures. Les syrphidés, par exemple, sont des mouches rayées très communes, faciles à reconnaître par leur capacité à voler sur place. Les femelles adultes volent sans difficulté sur plusieurs centaines de mètres depuis les bords vers l'intérieur d'un champ pour pondre dans une colonie de pucerons (*voir la photo page ci-contre*) qu'elles repèrent à l'odeur. Là, les larves s'attaqueront aux indésirables, chacune en consommant 300 à 800 pour mener à terme son développement. Les adultes, eux, se nourrissent de nectar et de pollen et engendrent jusqu'à huit générations par an. On imagine l'efficacité d'un tel traitement antipucerons! Mais il est inapplicable à une parcelle cultivée simplifiée, faute de conditions nécessaires au maintien des syrphes sur place. En effet, la présence de fleurs (pour les adultes) et de pucerons (pour les larves) est souvent très ponctuelle.

Aussi le maintien des syrphes passe-t-il par des plantes réservoir de pucerons, comme le sureau, et la présence permanente de fleurs entomophiles, *via* par exemple des bandes de fleurs aux floraisons étalées en bord de champ, une prairie fleurie à proximité ou encore une haie offrant des fleurs de la fin de l'hiver (noisetier, saule) à la fin de l'automne suivant (lierre). Cette flore diversifiée nourrira nombre de pollinisateurs pour les cultures et suffisamment d'insectes pour alimenter oiseaux et autres prédateurs contribuant aussi à leur présence à proximité de la parcelle. Ces oiseaux joueront à leur tour un rôle d'auxiliaire si besoin vis-à-vis, par exemple, des chenilles.

Cette proximité des insectivores avec les cultures est aujourd'hui favorisée par l'installation dans les vergers et les vignes de nichoirs à mésanges, celles-ci s'attaquant par exemple au carpocapse, un papillon dont la chenille (le «ver» de la pomme) détruit les fruits.

Pour limiter la concurrence des adventices sur les cultures, la favorisation d'auxiliaires efficaces complète avantageusement les leviers agronomiques déjà cités (rotation, cultures compétitives...). À ce titre, un groupe important de coléoptères, les carabes, est particulièrement intéressant, car certaines espèces sont granivores. Elles consomment jusqu'à 4000 graines d'adventices par mètre carré, soit jusqu'à 50% du stock de graines présent dans le sol, épuisant ainsi d'année en année le réservoir. Ces insectes ont besoin de bandes enherbées permanentes pour passer l'hiver et se reproduire et ne peuvent pas parcourir plus de quelques dizaines de mètres dans le champ à partir de leurs refuges. D'où l'importance de laisser des bordures de champ à la flore

© Pour la Science, d'après R. Withwer et al., 2017.

diversifiée voire d'installer des bandes enherbées au milieu des parcelles les plus grandes.

À l'échelle du paysage, l'hétérogénéité et la complémentarité des espaces ne se limitent à une occupation différente des parcelles cultivées. L'ensemble des éléments semi-naturels convoqués contribue à fournir de vrais services à l'agriculture elle-même. Nous l'avons vu pour les haies et les bandes enherbées, et c'est encore vrai pour les prairies permanentes, les zones humides, les fossés, les bosquets... Toutefois, une large étude de la littérature couvrant près de 7000 sites à travers le monde l'a montré: le lien, positif ou négatif, entre la composition du paysage et le contrôle des espèces indésirables par les auxiliaires est très variable. Comme pour beaucoup d'autres sujets de l'agroécologie, ce qui est vrai à un endroit n'est pas nécessairement généralisable.

ANIMAUX ET VÉGÉTAUX

La complémentarité fondamentale entre animaux et plantes, revalorisée dans les approches agroécologiques, fonctionne aussi avec les animaux d'élevage. Elle est utilisée depuis des millénaires, mais la nouveauté consiste aujourd'hui à raisonner et optimiser ce lien dans des systèmes intégrés. La rizipisciculture asiatique en est un exemple célèbre et vivement encouragé par les instances internationales dont la FAO. La culture du riz inondée y est associée à des élevages de poissons d'eau douce, des carpes par exemple, qui fertilisent le riz de leurs déjections, tandis qu'en surface des canards débarrassent la parcelle de certaines adventices, parasites et phytophages. L'apport d'azote au système est réalisé par une fougère aquatique, l'azolla, fixant l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec la cyanobactérie *Anabaena azollae*.

Dans les campagnes françaises, de telles associations sont plus difficiles à imaginer, car la spécialisation territoriale de la fin du xx^{e} siècle a réduit les possibilités de complémentarités locales. Ainsi les régions de grandes cultures importent l'azote minéral de synthèse pour servir d'engrais, tandis que les zones d'élevage importent du soja et doivent gérer les déjections azotées en excès des animaux. À petite échelle, revenir sur cette partition et favoriser l'installation de productions complémentaires éviterait des flux transcontinentaux de matières qui n'ont pas beaucoup de sens écologique. Enfin, le mode d'alimentation des animaux est lui-même une source possible d'amélioration des performances environnementales de l'agriculture. L'élevage laitier conventionnel par exemple repose pour l'essentiel sur le maïs et le soja, alors que l'on peut nourrir ces mêmes vaches laitières entièrement avec de l'herbe, même si certaines races sont plus efficaces que d'autres de ce point de vue.

LES ROTATIONS DES CULTURES INTERDISENT À DES BIOAGRESSEURS SPÉCIALISÉS DE S'INSTALLER DURABLEMENT DANS LES PARCELLES, CAR LEUR CYCLE DE VIE EST PERTURBÉ

Les syrphidés, comme *Episyrphus balteatus*, sont des mouches rayées dont les larves se repaissent de pucerons. Pourquoi ne pas favoriser les populations des premières pour se débarrasser des secondes?

© Nigel Cattlin / Alamy Banque D'Images

La rizipisciculture associe culture du riz et élevage de poissons dont les déjections fertilisent les plantes. Parfois, des canards, en complément, débarrassent la parcelle de certaines adventices.

> Les prairies permanentes nécessaires composeraient en retour des paysages agropastoraux favorables au bien-être animal, verts toute l'année, et, puisque recevant peu ou pas d'intrants, d'importants réservoirs de biodiversité, qui plus est non soumis à l'érosion des sols. Des quantités considérables de carbone y seraient aussi stockées. Certes, les quantités de lait et de viande produites y sont plus faibles, mais leur qualité, reconnue par des AOP ou autres labels, profiterait à l'agriculteur qui la valoriserait au mieux.

POUR UNE NOUVELLE RÉVOLUTION

Comment généraliser les différentes facettes de l'agroécologie de terrain décrites précédemment? Nous l'avons vu, l'un des principes consiste à privilégier l'énergie solaire. En effet, *via* la photosynthèse et la synthèse de biomasse végétale, celle-ci enrichit le sol en azote, améliore la fertilité des sols, augmente indirectement la production en nourrissant les pollinisateurs, les plantes de services et les auxiliaires, produit les litières limitant l'érosion et favorisant l'infiltration de l'eau et enfin stocke du carbone dans les sols. Pour cela, l'énergie solaire ne doit pas seulement être captée pour la synthèse de biomasse alimentaire, mais aussi pour une «biomasse de service» vivante (espèces associées, haies, bandes enherbées, prairie) ou morte (litières, matière organique des sols).

BIBLIOGRAPHIE

L'AUTEUR REMERCIE PIERRE-ANTOINE PRÉCIGOUT.

S. REBULARD, *Le Défi alimentaire. Écologie, agronomie et avenir*, Belin, 2018.

S. LABRUYÈRE, *Déterminants multi-échelles de la dynamique spatio-temporelle des coléoptères carabiques prédateurs de graines d'adventices*, thèse de l'université de Bourgogne, 2016.

J.-M. MEYNARD *ET AL.*, *La Diversification des cultures: lever les obstacles agronomiques et économiques*, Éditions Quæ, 2015.

J. VAN GROENIGEN *ET AL.*, Earthworms increase plant production: A meta-analysis, *Scientific Reports*, vol. 4, art. 6365, 2014.

G. CORRE-HELLOU *ET AL.*, Le pois au service des systèmes de culture à faibles intrants: quels besoins variétaux? *Les Dossiers de l'environnement de l'Inra*, vol. 30, pp. 111-116, 2006.

Y. ZHU *ET AL.*, Genetic diversity and disease control in rice, *Nature*, vol. 406, pp. 718-722, 2000.

En exploitant au mieux le soleil, ainsi que les interstices temporels et spatiaux, l'agroécologie revient finalement à promouvoir une biodiversité fonctionnelle choisie, ou favorisée, et à préférer des flux de matière localisés. La difficulté consiste à piloter la diversité biologique vers les services écologiques attendus tout en limitant les inconvénients potentiels. Si les principes de l'agroécologie sont applicables à tous les contextes locaux et à tout type de production, il n'en reste pas moins que leur déclinaison impose des phases d'expérimentation afin de les adapter au mieux.

Enfin de tels systèmes sont plus résilients. D'abord parce que la diversification des productions protège contre les aléas climatiques et ceux des marchés. Ensuite, parce que l'utilisation de services écologiques en remplacement de technologies réduit la dépendance aux fournisseurs d'intrants, de carburants, de matériel, de prêts bancaires... Pour toutes ces raisons, les approches agroécologiques sont privilégiées dans les agricultures modestes à faibles capitaux. L'intégration des principes de l'agroécologie peut se faire par étapes, mais nécessite souvent une reconception complète du système de production, un bouleversement qui freine la transition. L'idée fondamentale est de sortir d'un raisonnement qui à chaque problème associe un intrant, et d'envisager une approche globale des systèmes agricoles et alimentaires. Après la révolution néolithique, place à la révolution agroécologique! ■

© Shutterstock.com/Safab Gnana

Comment nourrir 10 milliards d'humains à l'horizon 2050 ?

© Samuel Rebulard

528 pages en couleurs • 20,6 x 28,5 cm • 44,90€

- ✓ Une approche multidisciplinaire d'une question cié
- ✓ 58 modules indépendants pour trouver facilement l'information recherchée
- ✓ Un ouvrage richement illustré avec 400 schémas et 100 photos

belin-education.com

Belin ÉDUCATION

L'ESSENTIEL

- Pour nourrir 9,7 milliards d'individus en 2050, il faudra doubler la production alimentaire.
- Or, déjà aujourd'hui, presque toutes les terres cultivables sont exploitées.
- Une équipe internationale propose un plan d'action pour doubler la production tout en réduisant son impact sur l'environnement.
- Ce plan comporte cinq mesures: améliorer la gestion des terres agricoles pour stopper leur extension, augmenter les rendements les plus faibles, mieux utiliser les engrais et l'eau, consommer moins de viande et éviter le gaspillage.

L'AUTEUR

JONATHAN FOLEY, ancien directeur de l'Institut sur l'environnement de l'université du Minnesota, est aujourd'hui directeur exécutif du programme Drawdown.

Nourrir 10 milliards d'êtres humains

Doubler la production alimentaire d'ici à 2050 tout en réduisant la dégradation de l'environnement: selon une équipe internationale, cet objectif est accessible.

Selon un rapport de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) près de 700 millions de personnes ont souffert de la faim en 2019 (10% de la population mondiale), soit 10 millions de plus qu'en 2018, et 60 millions qu'il y a cinq ans (*voir les repères page 6*). D'où vient le problème? De la quantité de nourriture produite? Non, car elle est suffisante. Mais sa répartition est très inégalitaire, et les prix ne cessent de grimper. Et en 2050, lorsque nous serons selon les projections 9,7 milliards d'habitants (contre 7,8 en 2020) le défi aura pris une tout autre tournure.

Selon plusieurs études, cet accroissement démographique devrait s'accompagner d'un doublement de la demande agricole. Cette prévision tient également compte de l'augmentation du niveau de vie pour bon nombre de personnes Ces deux facteurs entraîneront une hausse de la consommation, en particulier de la viande. Ainsi, même si l'on résout aujourd'hui les problèmes de pauvreté et d'accès aux ressources, il faudra produire deux fois plus pour assurer un approvisionnement mondial suffisant.

Et ce n'est pas tout. L'agriculture est devenue la principale menace environnementale pour la planète du fait de nombreux processus sur lesquels nous reviendrons: le défrichement des forêts tropicales, la perturbation des écosystèmes, la consommation importante en eau douce, la pollution les rivières et les océans... En un mot, pour préserver la planète, il est impératif d'améliorer l'agriculture.

Le système alimentaire mondial est ainsi confronté à trois défis intriqués: nourrir les

© Shutterstock.com/ciggdem

7,8 milliards d'individus qui peuplent la planète aujourd'hui, doubler la production d'aliments au cours des trente prochaines années et atteindre ces deux objectifs tout en respectant l'environnement. Pour répondre simultanément à ces trois défis, j'ai coordonné une équipe internationale d'experts, qui a proposé un programme en cinq mesures à appliquer conjointement.

CULTIVER PLUS POUR NOURRIR PLUS

À première vue, la solution pour nourrir plus de personnes semble évidente: faire pousser plus en étendant les terres cultivées et en augmentant les rendements. Plusieurs obstacles de taille se dressent pourtant.

Actuellement, environ un tiers de la superficie des terres émergées est exploité (cultures et pâturages), et ce sont essentiellement les meilleures terres arables. Les terres non cultivées sont des déserts, des montagnes, de la toundra, des glaciers, des villes… et d'autres surfaces impropres à la culture. Les quelques terres cultivables qui subsistent sont surtout situées dans les forêts tropicales et les savanes, qui sont vitales en tant que réserves de carbone et de biodiversité. L'extension de l'agriculture sur ces zones n'est donc pas une option. Pourtant, 12 à 13 millions d'hectares de forêts sont défrichés chaque année, principalement sous les tropiques. Paradoxalement, la superficie des terres arables n'augmente que très peu, voire pas du tout, car les surfaces «gagnées» compensent celles perdues, par exemple au profit de l'urbanisation.

L'amélioration du rendement semble aussi une piste intéressante. Cependant, notre équipe a observé que le rendement agricole global moyen n'a augmenté que d'environ 20% ces dernières décennies, soit bien moins que ce qui est annoncé en général. Cette amélioration est importante, mais insuffisante pour doubler la production alimentaire d'ici à trente ans.

Nourrir plus de personnes serait plus aisé si tous les produits alimentaires cultivés étaient directement destinés aux humains, mais seulement deux tiers des récoltes mondiales le sont. Le reste est utilisé pour les animaux, des biocarburants, les textiles. >

> La production de viande joue un rôle majeur dans cette répartition. Nourrir des animaux avec des produits issus de l'agriculture, même dans les systèmes de production les plus efficaces, réduit considérablement la quantité de nourriture disponible pour les humains. En général, dans un tel système de production bovine, 30 kilogrammes de céréales en produisent un seul de viande de bœuf comestible, sans os.

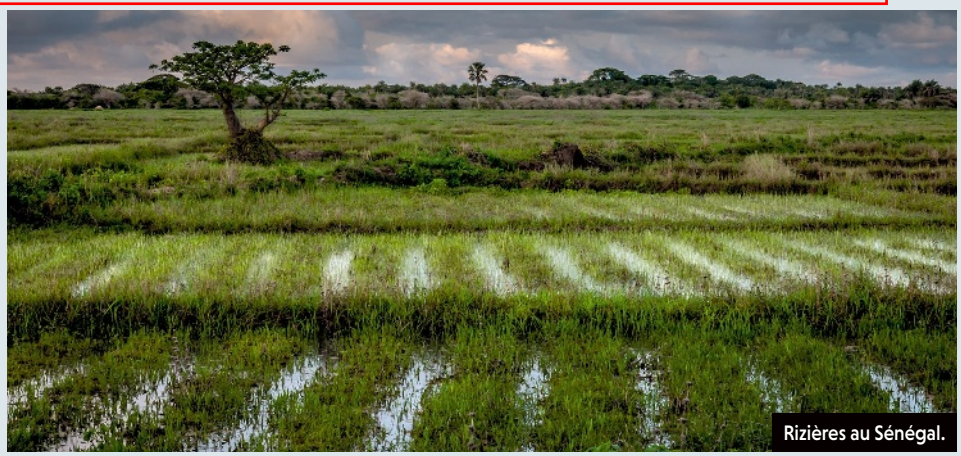
Un autre élément empêche d'augmenter la production de nourriture: la détérioration, déjà bien avancée, de l'environnement. Notre équipe estime que l'agriculture a déjà fait disparaître ou a radicalement transformé 70% des prairies du monde, 50% des savanes, 45% des forêts tempérées à feuilles caduques et 25% des forêts tropicales. L'empreinte de l'agriculture est près de 60 fois supérieure à celle des routes et des constructions.

L'eau douce est l'une des autres «victimes». Les humains utilisent 4000 kilomètres cubes d'eau par an, captée essentiellement dans des rivières et des nappes aquifères. L'irrigation représente 70% de ces prélèvements! En conséquence, le débit de nombreux grands fleuves, comme le Colorado, a diminué, certains cours d'eau se sont taris et les niveaux baissent rapidement dans de nombreuses régions du monde.

Non seulement l'eau disparaît, mais elle est aussi contaminée. Engrais, herbicides et

L'IMPORTANCE DES MARCHÉS LOCAUX

Les solutions proposées par Jonathan Foley recoupent celles préconisées en France par l'étude Agrimonde-Terra de l'Inra et du Cirad publiée en 2016, et par l'Académie des sciences. Tout le monde s'accorde à dire qu'il est impératif d'augmenter les rendements agricoles dans certains pays en développement, comme l'Afrique subsaharienne ou l'Amérique du Sud. Cependant, en 2050, plus de la moitié de l'humanité se trouvera en Asie, où, en général, les rendements sont déjà excellents, et où il reste peu de marges pour les augmenter dans des proportions importantes, avec les technologies connues aujourd'hui. Ce résultat est le fruit de la «révolution verte» commencée autour des années 1950. Malgré des inconvénients (*voir Le retour des riz traditionnels, par D. Deb, page 80*), elle a remarquablement fonctionné en Asie, sans que l'on sache la mettre en œuvre en Afrique. Elle consiste à utiliser des variétés sélectionnées et efficaces, et à produire plus avec trois ingrédients, des engrais, des pesticides, et de l'irrigation. Augmenter la production et les rendements en Afrique, est-ce possible? Assurément. De vastes ressources y sont inexploitées (environ 20% seulement des terres cultivables sont cultivées), les ressources en eau sont immenses dans la zone tropicale. Mais c'est dans cette partie du monde que les aménagements font le plus défaut: peu de barrages, peu de périmètres irrigués, et ceux qui existent fonctionnent mal.



Rizières au Sénégal.

© Shutterstock/Dan Grec

Un paysan africain cultive en général un hectare de terre, et le fait à la main, sans engrais, sans protection des cultures contre les attaques des parasites. Il est si pauvre qu'il n'a pas les moyens d'acheter les outils les plus élémentaires, telles une pelle ou une pioche, sans parler de semences sélectionnées, d'engrais...

L'équipe de Jonathan Foley souligne la nécessité de libéraliser le commerce mondial et les échanges internationaux. Elle ne saurait avoir à la fois aussi tort et aussi raison. Raison, car nourrir la planète en 2050 nécessitera d'énormes échanges de nourriture de continent à continent. L'Asie, avec plus de 5 milliards d'habitants, ne pourra en aucun cas être autosuffisante en produits alimentaires; quand elle aura utilisé tous ses sols cultivables, construit tous les barrages et irrigué tout ce qu'elle peut, et poussé à l'extrême ses rendements, il lui manquera environ le quart de ses besoins. C'est déjà le cas aujourd'hui pour tout le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, où respectivement 30 et 80% des produits alimentaires y sont importés. Pour ces pays, il est impératif de libéraliser les échanges, afin de réduire autant que faire se peut la facture alimentaire, et éviter la sous-nutrition.

Mais si Jonathan Foley a globalement raison, il a

pesticides polluent presque tous les écosystèmes. Les flux d'azote et de phosphore dans l'environnement ont plus que doublé depuis 1960, polluant l'eau et créant d'énormes «zones mortes», privées d'oxygène, à l'embouchure de nombreux fleuves majeurs. Ironie du sort, les engrais lessivés par la pluie compromettent, au nom de l'augmentation de la production alimentaire, une autre source importante d'alimentation: la pêche côtière.

L'agriculture est aussi une importante source de gaz à effet de serre: selon le Giec, elle représente environ 24% du dioxyde de carbone, du méthane et du protoxyde d'azote émis par les activités humaines, soit plus que les émissions liées au transport ou à la production d'électricité. Une partie de ces émissions agricoles sont liées à l'énergie produite et utilisée pour cultiver, transformer et transporter les aliments, mais la plupart sont dues à la déforestation tropicale, à la production de méthane par les animaux et les rizières, et au protoxyde d'azote émis par les sols surfertilisés.

Les précédentes approches pour résoudre les problèmes alimentaires et environnementaux étaient souvent incompatibles. Produire plus en défrichant plus de terres et en utilisant plus d'eau et de produits chimiques, ou restaurer les écosystèmes en reprenant des terres arables à l'agriculture, il fallait choisir. Une autre voie qui concilierait ces deux aspects semble pourtant possible.

Après plusieurs mois de recherches et de délibérations fondées sur l'analyse de données nouvelles sur l'agriculture et l'environnement à l'échelle mondiale, notre équipe a établi un plan en cinq points pour traiter les défis à la fois alimentaires et environnementaux.

STOP À L'EXTENSION

Notre première recommandation est de ralentir et de stopper progressivement l'extension de l'agriculture, qui se fait notamment aux dépens des forêts tropicales et des savanes. La disparition de ces écosystèmes a des conséquences importantes, comme une perte de biodiversité et l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone. Le ralentissement de la déforestation réduirait considérablement les dommages environnementaux, tout en n'imposant que des contraintes mineures sur la production alimentaire mondiale. Des mesures visant à réduire l'urbanisation, la dégradation et l'abandon des terres agricoles aideraient à compenser la perte en capacité agricole.

De nombreuses propositions ont été faites pour réduire la déforestation. L'une des plus prometteuses est le programme des Nations unies de réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts (Redd). Ce programme prévoit qu'en échange de crédits carbone, les nations riches payent les nations concernées pour protéger les forêts tropicales humides. D'autres programmes développent des normes de certification, afin de privilégier les récoltes n'ayant pas été cultivées sur des terres issues de la déforestation. Par ailleurs, une meilleure politique de production des biocarburants, favorisant des cultures non alimentaires, libérerait des terres arables pour l'alimentation.

Pour doubler la production mondiale de nourriture sans nuire à l'environnement, nous devons aussi augmenter les rendements des terres cultivées existantes. Il existe deux options: stimuler la productivité des meilleures exploitations, en relevant leur capacité de rendement grâce à une amélioration des espèces cultivées et de la gestion des >

localement tort. Libéraliser le commerce mondial signifie que le paysan africain cultivant à la main un hectare, avec des rendements de l'ordre de dix quintaux, sera mis sur le même plan que le paysan européen ou américain, qui cultive seul 100 hectares de façon mécanisée, et y obtient des rendements de l'ordre de 100 quintaux. Il y a donc un facteur 1000 entre la productivité d'un Africain et celle d'un agriculteur du Nord, sans parler des aides et subventions que le second reçoit. Les mettre en concurrence, c'est condamner sans équivoque le premier. C'est d'ailleurs ce qui se passe aujourd'hui, entraînant l'exode rural et l'accumulation de ces pauvres ruraux dans les bidonvilles périurbains, où ils ne trouvent pas de travail et vivent d'expédients ou d'aide.

À titre d'exemple, la construction des barrages de Manantali et de Diama, sur le fleuve Sénégal et ses affluents, achevés à la fin des années 1980, devait permettre la culture irriguée de 375000 hectares de riz et conduire à l'autosuffisance en riz de la région. Mais la libéralisation des importations de brisures de riz provenant d'Asie a conduit à la faillite, en 1994, du Crédit Agricole Sénégalais et de l'aménagement hydraulique, et a rendu non rentable la culture du riz dans cette vallée. Ainsi, il est indispensable de maintenir, au moins pour un temps, des barrières douanières régionales pour protéger l'activité des paysans du Sud, élever peu à peu leur niveau de vie, éradiquer leur sous-nutrition, éviter l'exode rural et faire produire régionalement la nourriture des villes alentour. Avec la réduction de la «volatilité» des prix agricoles, liée à la conjoncture économique mondiale et aux épisodes de sécheresse, et amplifiée par la spéculation, c'est la création de marchés locaux protégés qui permettra de relever le défi alimentaire. La technique n'est qu'une facette de ce défi. La régulation économique en est l'aspect majeur.

MICHEL GRIFFON, spécialiste des politiques agricoles des pays en développement au Cirad et à l'Agence nationale de la recherche.

GHISLAIN DE MARSILY, membre de l'Académie des sciences et professeur émérite à l'université Pierre-et-Marie-Curie et à l'École des mines de Paris.

cultures, ou bien améliorer les rendements des exploitations les moins productives. La seconde option donnerait le gain le plus important et le plus immédiat, en particulier dans les régions où la faim est la plus aiguë.

Notre équipe a analysé les rendements des cultures à travers le monde et a constaté que la majeure partie du globe présente un rendement inférieur à ses capacités. En particulier, les rendements pourraient augmenter de façon significative dans de nombreuses régions d'Afrique, d'Amérique centrale et d'Europe de l'Est (*voir l'encadré ci-dessous*). Utiliser tout le potentiel des terres cultivées les moins rentables pour 16 cultures parmi les plus importantes (maïs, pommes de terre, riz, blé…) augmenterait la production alimentaire totale de 50 à 60%, avec peu de dommages pour l'environnement.

L'augmentation du rendement des terres agricoles les moins productives nécessite souvent davantage d'engrais et d'eau. Cependant, de nombreuses techniques permettent d'augmenter le rendement sans nécessiter d'irrigation ni une utilisation débridée de produits chimiques.

UN TIERS DE LA NOURRITURE PRODUITE EST JETÉE, PERDUE, GÂTÉE…

ÉCONOMISER L'EAU

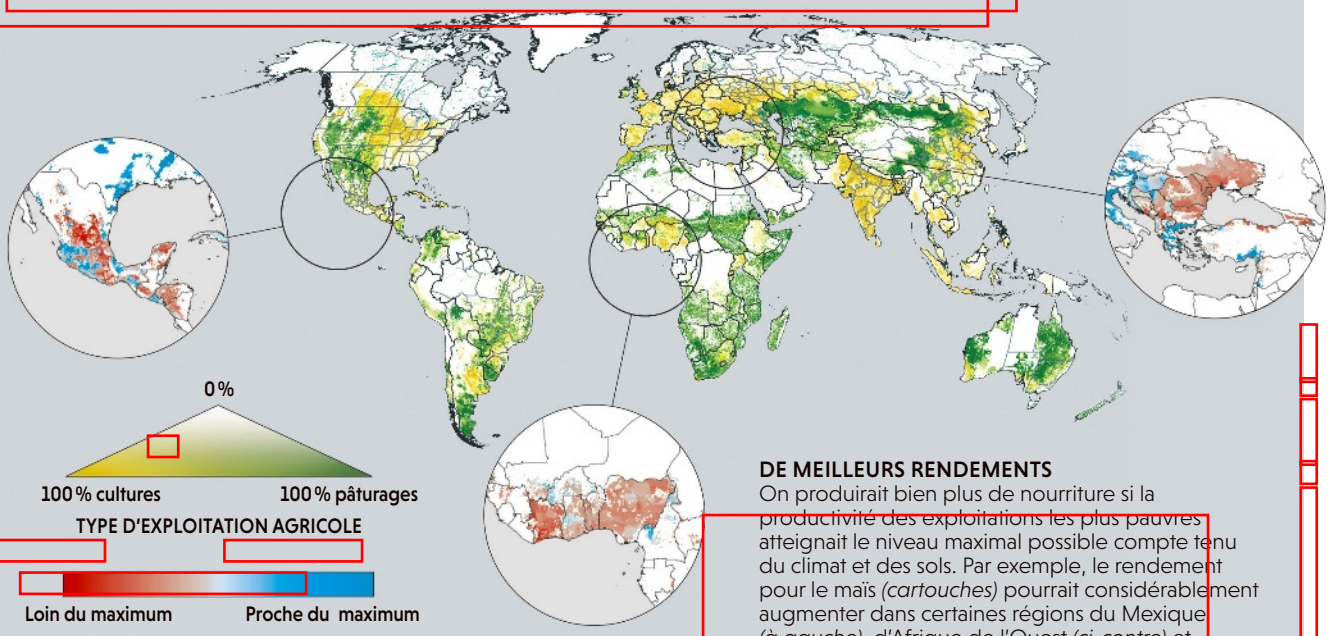
Une réduction du labour perturbe moins le sol et évite l'érosion; des plantes dites «de couverture», cultivées entre les cultures alimentaires, réduisent les mauvaises herbes et apportent des nutriments et de l'azote au sol, lorsqu'elles sont enfouies au moment du labour. Des leçons tirées de systèmes biologiques et agroécologiques peuvent également être adaptées, par exemple laisser les résidus des cultures dans les champs, afin qu'ils se décomposent en nutriments.

Notre troisième recommandation concerne justement l'efficacité des pratiques agricoles: pour réduire les impacts environnementaux, il importe, quel que soit le rendement, d'utiliser moins d'eau, d'engrais, d'énergie.

En moyenne, un litre d'eau d'irrigation est nécessaire pour faire pousser une kilocalorie de nourriture, bien que certains endroits en utilisent beaucoup plus. Notre analyse a

AMÉLIORER LES RENDEMENTS

Si l'on s'interdit de déforester, il reste peu de place pour étendre les terres cultivées, car la plupart des territoires restants sont des déserts, des montagnes, de la toundra ou des zones urbanisées. Cependant, les exploitations de nombreuses régions agricoles pourraient être plus productives *(voir les cartouches)*.



DE MEILLEURS RENDEMENTS
On produirait bien plus de nourriture si la productivité des exploitations les plus pauvres atteignait le niveau maximal possible compte tenu du climat et des sols. Par exemple, le rendement pour le maïs *(cartouches)* pourrait considérablement augmenter dans certaines régions du Mexique *(à gauche)*, d'Afrique de l'Ouest *(ci-contre)* et d'Europe de l'Est *(ci-dessus)*, si on améliorait les semences, l'irrigation, les engrais et les marchés.

James Gerber Institute on the Environment, University of Minnesota

montré que les exploitations peuvent économiser considérablement l'eau sans trop réduire la production de nourriture, en particulier sous les climats secs. Les principales stratégies sont l'irrigation au goutte-à-goutte, le paillage et la réduction des pertes d'eau. Une autre piste consiste à favoriser l'agriculture dite « pluviale », c'est-à-dire qui ne dépend que de l'eau de pluie et ne nécessite donc pas d'irrigation.

Avec les engrais, un ajustement dans les deux sens est impératif. Certains endroits sont trop pauvres en nutriments et fournissent donc une faible production agricole, tandis que d'autres en sont trop riches et sont source de pollution. Les engrais ne sont presque jamais utilisés à la « bonne dose ». Notre analyse montre les points chauds sur la planète, notamment en Chine, dans le Nord de l'Inde, au centre des États-Unis et dans l'ouest de l'Europe, où les exploitations pourraient réduire l'utilisation d'engrais sans diminuer (ou très peu) la production alimentaire : 10 % des terres arables sont à elles seules responsables de 30 à 40 % de la pollution par les engrais agricoles.

Parmi les mesures envisagées figurent des politiques et des incitations économiques, comme la rétribution des agriculteurs pour la gestion et la protection de l'eau des bassins hydrographiques, une réduction de l'utilisation d'engrais, un recyclage des nutriments en excès… La restauration de zones humides augmenterait aussi leur capacité à filtrer les engrais des eaux de ruissellement, et limiter ainsi la contamination de l'eau.

Enfin, là encore, une réduction du labour limiterait l'appauvrissement du sol, tout comme l'agriculture de précision (application d'engrais et d'eau seulement quand et où c'est nécessaire) et les techniques de culture biologique.

Nos deux dernières recommandations ont trait à la consommation. D'abord, si les récoltes servaient plus à nourrir directement les humains et moins à engraisser le bétail, on augmenterait considérablement la disponibilité mondiale de nourriture sans perturber l'environnement.

En moyenne, si l'on adoptait des régimes entièrement végétaux, on gagnerait jusqu'à 3×10^{15} calories supplémentaires chaque année, soit une augmentation de 50 % de la production actuelle. Même de petits changements de régime alimentaire, comme de remplacer le bœuf nourri aux céréales par de la volaille ou du porc, sont très bénéfiques.

Ensuite, la réduction du gaspillage est indispensable. Près de 30 % de la nourriture produite est jetée, perdue, gâtée… Dans les pays riches, la plupart des déchets se retrouvent en bout de chaîne, dans les poubelles. De simples changements dans nos habitudes, par exemple réduire les portions, seraient utiles.

Dans les pays plus pauvres, les pertes sont du même ordre de grandeur, mais ont lieu chez le producteur : pertes de récoltes, stocks ravagés par des nuisibles, infrastructures défaillantes… Ce sont autant de leviers sur lesquels agir pour réduire ces déchets de façon appréciable.

Sans imaginer une irréaliste suppression totale des déchets de la ferme à la table, des efforts ciblés, notamment pour réduire les déchets des aliments les plus consommateurs de ressources, comme la viande et les produits laitiers, feraient une grande différence.

Notre stratégie en cinq points aiderait à faire face à de nombreux défis de sécurité alimentaire et environnementaux. Ensemble, les différentes mesures préconisées augmenteraient la disponibilité de nourriture à l'échelle mondiale de 100 à 180 % tout en diminuant considérablement les émissions de gaz à effet de serre, les pertes de biodiversité, l'utilisation de l'eau et sa pollution. Pour ce faire, il est important que ces cinq points (et peut-être plus) soient mis en œuvre ensemble.

UN SYSTÈME EN RÉSEAU

Pour faire de ce nouveau système agricole responsable une réalité, prenons les meilleures idées de la révolution verte et de l'agriculture à l'échelle industrielle, d'une part, et de la culture biologique et des systèmes alimentaires locaux, d'autre part. Et créons un réseau de systèmes agricoles locaux, adaptés au climat, aux ressources en eau, aux écosystèmes et à la culture de chaque région, reliés par des moyens efficaces de commerce international et de transport.

Un des dispositifs de soutien de ce nouveau système alimentaire pourrait être l'équivalent du programme LEED (*Leadership in energy and environmental design*). Ce système nord-américain de standardisation pour la construction de bâtiments à haute qualité environnementale attribue des niveaux de certification aux bâtiments en fonction des options vertes intégrées. De même, pour une agriculture durable, des notes seraient attribuées aux aliments en fonction de leur valeur nutritionnelle, environnementale, sociale… Cette certification donnerait des informations plus précises que les labels alimentaires actuels, tels « local » ou « biologique », qui n'apprennent en réalité pas grand-chose sur ce que nous mangeons. Ainsi renseigné, le consommateur pourrait évaluer les coûts et bénéfices de différentes méthodes agricoles.

Les principes et pratiques de nos différents systèmes agricoles (à grande échelle ou locaux, biologiques ou non…) fournissent les fondements pour répondre aux besoins de sécurité alimentaire et environnementaux du monde. Nourrir durablement près de 10 milliards de personnes en 2050 sera l'un des plus grands défis de notre civilisation. La façon dont nous le relèverons déterminera son sort. Mais la bonne nouvelle est que l'on peut le relever ! ■

QUELQUES CHIFFRES

- **Alors que les rendements agricoles avaient augmenté de 65 % entre 1965 et 1985, ils n'ont augmenté que de 20 % entre 1985 et 2005.**
- **En Europe et en Amérique du Nord, seuls 40 % des récoltes sont destinés à la consommation humaine, contre 80 % en Afrique et en Asie.**
- **75 % des terres agricoles, soit 3,7 milliards d'hectares, sont utilisées pour l'élevage : 350 millions d'hectares de cultures céréalières pour nourrir les animaux, et 3,38 milliards d'hectares de pâturages et de prés.**
- **Au cours des 50 dernières années, l'utilisation des engrais a quintuplé.**
- **Chaque année, 5 à 10 millions d'hectares de forêt tropicale disparaissent au profit de l'agriculture.**

BIBLIOGRAPHIE

G. DE MARSILY, Will we soon run out of water ?, *Annals of Nutrition & Metabolism*, à paraître, 2021.

J. BRADFIELD *ET AL.*, Is global dietary change an effective strategy to curb climate change ?, *BMJ Nutr. Prev. Health.*, vol. 3(2), pp. 121-122, 2020.

M. EISENSTEIN, Natural solutions for agricultural productivity, *Nature*, vol. 588(7837), pp. S58-S59. 2020.

R. ANDERSON *ET AL.*, Climate change and the need for agricultural adaptation, *Curr. Opin. Plant. Biol.*, vol. 56, pp. 197-202, 2020.

O. MORA *ET AL.*, Exploring the future of land use and food security : A new set of global scenarios, *Plos One*, vol. 15(7), art. e0235597, 2020.

JEAN-FRANÇOIS SILVAIN

« Sans pollinisateurs, nous devrons nous passer de fruits ! »

Doit-on craindre que les insectes ne disparaissent ?

Jean-François Silvain : Oui, bien sûr, même si tous les insectes ne sont pas soumis aux mêmes menaces. Chacun peut constater que les populations de certaines espèces liées aux humains, comme les poux ou les punaises de lit, ou celles qui exploitent nos nourritures, comme les ravageurs des cultures, ou encore celles vectrices de maladies, tels les moustiques, ne disparaissent pas, loin de là ! Dans le même temps, on sait que d'autres populations d'insectes – papillons, coléoptères, abeilles… – donnent des signes d'effondrement.

Lesquels ?

Jean-François Silvain : Ceux qui sont assez âgés se souviennent que dans les années 1980, un voyage sur l'autoroute obligeait à nettoyer son pare-brise toutes les quelques dizaines de kilomètres, parce qu'il se constellait tellement d'insectes écrasés que l'on ne voyait plus bien à travers. Aujourd'hui – chacun le constate – un conducteur peut franchir des centaines de kilomètres sans rencontrer ce problème : les insectes volants semblent donc avoir largement disparu.

Il ne s'agit pas là d'une constatation scientifique…

Jean-François Silvain : Certes, mais elle n'en est pas moins extrêmement significative puisque faite par des centaines de millions de gens à travers toute l'Europe. Et les entomologistes ont aussi commencé à caractériser le phénomène à l'échelle européenne et à l'échelle mondiale.

Vous faites notamment allusion à une étude allemande qui a eu un fort retentissement ?

Jean-François Silvain : Oui, à l'analyse dirigée par Caspar Hallman, de l'université de Radboud, aux Pays-Bas, des résultats de la Société d'entomologie de Krefeld, en Allemagne. Elle a révélé que même dans les aires protégées allemandes, la biomasse des insectes volants a décliné des trois quarts en vingt-sept ans. C'est énorme !

Pour la situation mondiale, j'évoque de préférence la métaanalyse réalisée par Francisco Sánchez-Bayo, de l'université de

BIO EXPRESS

1980
Directeur de l'unité Diversité, écologie et évolution des insectes tropicaux (DEEIT) de l'IRD.

2008-2013
Président du Conseil scientifique de la FRB (Fondation pour la recherche sur la biodiversité).

2014-2020
Président de la FRB.

© Shutterstock.com/Danut Vieru

Il y a encore trente ans, des gens se plaisaient à dire que les insectes survivraient à l'humanité

Sydney, et Kris Wyckhuys, de celle de Brisbane, en Australie. Ces chercheurs ont dépouillé pas moins de 653 travaux scientifiques afin de dégager une vision d'ensemble de la situation des populations d'insectes à travers le monde. Leur article met clairement en évidence un déclin mondial, qui – je les cite – « pourrait conduire à l'extinction de 40 % des espèces d'insectes du monde au cours des décennies à venir. »

Vous attendiez-vous à une telle ampleur ?

Jean-François Silvain : Même si j'étais très conscient des menaces qui pèsent sur les insectes pollinisateurs, je ne m'attendais pas à voir ce constat étendu à l'ensemble des insectes, car j'étais sous l'influence des idées reçues du passé. Il y a encore trente ans, des gens se plaisaient à dire que les insectes survivraient à l'humanité. Le règne des arthropodes était vu comme robuste, ubiquitaire et capable de résister à tout. Certains vantaient la résistance des blattes, capables d'endurer des radiations et de survivre à une guerre nucléaire. Difficile alors d'imaginer que les activités humaines, après avoir entraîné un effondrement de populations de poissons, de mammifères marins, de vertébrés terrestres, causeraient aussi celui de grandes populations d'insectes.

Que se passera-t-il concrètement si les insectes deviennent rares, voire disparaissent ?

Jean-François Silvain : Une raréfaction sévère, voire une disparition, entraînerait l'effondrement des réseaux trophiques : en clair, de beaucoup des chaînes alimentaires dont font partie les oiseaux et mammifères insectivores, sans oublier les poissons et les amphibiens qui vivent d'insectes dans les milieux humides. Cette situation semble inimaginable, mais si les insectes disparaissaient, une très grande partie de la vie animale des milieux terrestres serait fortement affectée.

Et s'agissant de la vie végétale ?

Jean-François Silvain : Les conséquences seraient majeures aussi. Je me réfère là au dernier rapport sur la pollinisation et la production alimentaire de l'IPBES, la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques. Il y est rappelé que les animaux pollinisateurs – il s'agit d'oiseaux, de chauve-souris, voire de petits primates, mais surtout d'insectes volants – contribuent à la pollinisation de près de 90 % des plantes à fleurs.

Pour se rendre compte de ce que cela signifie, rappelons que les angiospermes, c'est-à-dire les plantes à fleurs, représentent 90 à 96 % de la biodiversité végétale ! Certes, elles pratiquent aussi l'autopollinisation et la pollinisation par le vent, mais tandis que la première ne produit pas de brassage génétique, la deuxième est plus aléatoire comparée à la pollinisation animale.

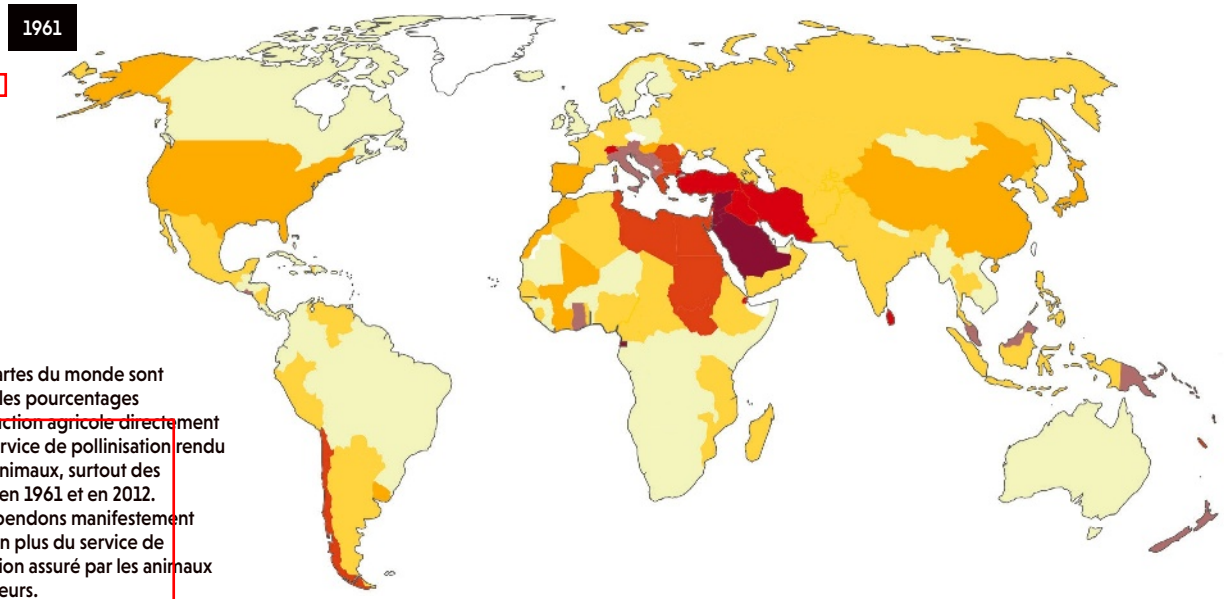
Alors, si les insectes, dont les interactions avec les plantes sont multiples et ne se limitent pas à la pollinisation, disparaissaient, cela entraînerait des modifications majeures des écosystèmes terrestres, modifications dont il est difficile d'imaginer aujourd'hui l'ampleur. Mieux vaut ne pas en arriver là…

Et quelles en seraient les incidences sur le monde agricole ?

Jean-François Silvain : Il nous faudrait nous passer du plaisir de consommer des fruits et nous habituer à nous nourrir surtout de céréales ! Car, effectivement, toutes les récoltes ne dépendent pas de la pollinisation animale. Les céréales, par exemple, sont pollinisées par le vent. Pour autant, nous savons que 35 % de nos récoltes dépendent au moins en partie des pollinisateurs, à commencer par les insectes. Concrètement, cela signifie que les productions de près d'une centaine de fruits, graines et autres noix dépendent à des degrés divers des pollinisateurs, et leur rôle nutritif est important, puisque, depuis cinquante ans, la production agricole de ces aliments a augmenté de 300 %. Alors, si les pollinisateurs disparaissaient, nous souffririons non seulement de la faiblesse de certaines récoltes, mais aussi de la raréfaction d'aliments cruciaux pour une alimentation saine.

Par exemple ?

Jean-François Silvain : En France, la production de kiwis, de melons, de pastèques dépend à 95 % des pollinisateurs, celle des pommes à 65 %, celle des aubergines à 25 % comme celles des groseilles, des figues, des fraises, des tournesols… Au-delà des impacts sur la nutrition, les conséquences économiques seraient considérables : on a calculé que le service rendu en France par les pollinisateurs a une valeur comprise entre 2,3 et 5,3 milliards d'euros, soit de 5,2 à 12 % de la valeur des productions végétales françaises dépendantes de la pollinisation. Au niveau mondial, la partie >



Sur ces cartes du monde sont reportés les pourcentages de production agricole directement dus au service de pollinisation rendu par des animaux, surtout des insectes, en 1961 et en 2012. Nous dépendons manifestement de plus en plus du service de pollinisation assuré par les animaux pollinisateurs.

> des récoltes qui disparaîtrait en l'absence de pollinisateurs représenterait 5 à 8% de la production, soit, d'après une estimation de 2015, une valeur monétaire comprise entre 235 et 577 milliards de dollars.

L'absence de pollinisateurs représenterait une perte de 235 et 577 milliards de dollars.

La raréfaction des pollinisateurs se fait-elle déjà sentir ?

Jean-François Silvain : Oui, il arrive déjà que nous manquions de pollinisateurs et que cela ait des retombées économiques négatives. Aux États-Unis, plus de la moitié des colonies d'abeilles sont mobilisées chaque année pour assurer en quelques semaines la pollinisation des vergers d'amandiers de Californie. On imagine donc facilement les difficultés, probablement insurmontables, que connaîtra cette activité agricole si les colonies d'abeilles domestiques américaines continuent de s'effondrer.

Quelles sont les principales menaces pesant sur les insectes pollinisateurs ?

Jean-François Silvain : Les rapports de l'IPBES et l'ensemble des données scientifiques soulignent deux causes principales à l'origine du déclin des insectes : d'une part, la destruction massive des habitats des insectes dans le contexte de l'artificialisation générale des paysages et de l'exploitation non durable des ressources, et d'autre part les polluants.

S'agissant de la première menace, elle a par exemple trait au fait que, dans le contexte d'une agriculture industrielle et productiviste, on a fortement simplifié les paysages agricoles en supprimant par exemple les haies et les bosquets d'arbres, avec pour conséquence la diminution des habitats des insectes. On surexploite le bois de rose à Madagascar ; on abat des forêts primaires en Indonésie pour cultiver des palmiers à huile, et aussi aux États-Unis pour en tirer du bois, qui sera brûlé en Europe pour produire de l'électricité…

Et les pesticides dont on parle sans cesse ?

Jean-François Silvain : Ils font partie de la deuxième menace, celle des polluants chimiques, mais il pourrait bien s'agir de la première sur les pollinisateurs. À propos des pesticides, il est très significatif de s'intéresser au cas des ruches américaines. En 1945, le nombre de colonies d'abeilles aux États-Unis a atteint 6 millions, son pic historique, puis il a diminué régulièrement. Or cette année-là est aussi celle de l'introduction massive dans l'agriculture mondiale d'un célèbre insecticide organochloré : le DDT. Même s'il a été interdit dans les années 1970 dans la plupart des pays en raison de son fort impact environnemental, on en a tant dispersé que de nombreux sols de la planète en contiennent toujours des traces…

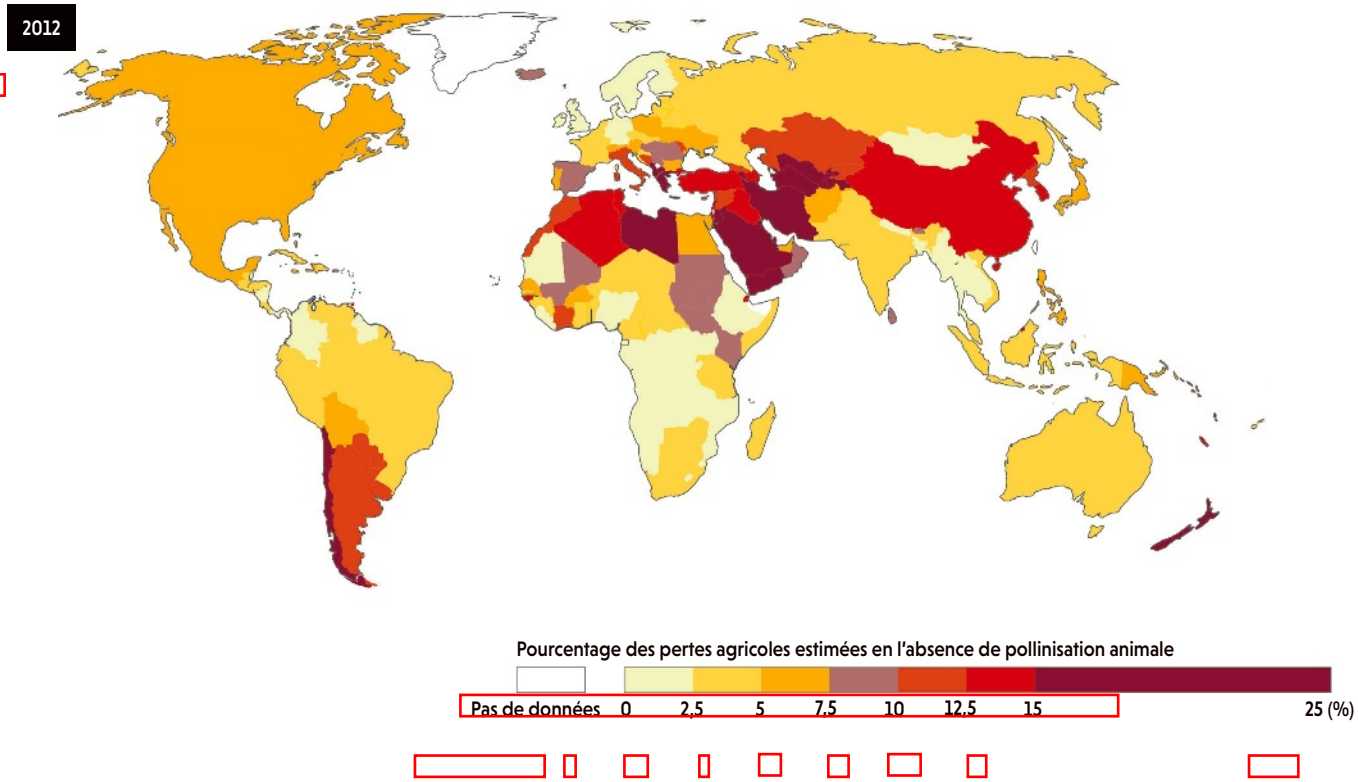
En fait, puisqu'on a inventé les pesticides et les insecticides pour tuer des arthropodes, dont des insectes, faut-il s'étonner de leurs effets ? Leur accumulation depuis les années 1950 dans l'environnement ne peut qu'avoir des effets de fond sur tous ces animaux.

Étudie-t-on ces effets ?

Jean-François Silvain : Pas encore suffisamment, et il faudrait surtout que ces recherches s'inscrivent dans une approche où l'incidence des molécules en cause soit étudiée sur l'ensemble des composants d'un écosystème.

Toutefois, il est au moins un cas emblématique dans lequel on a poussé les recherches très loin : celui des abeilles mellifères, vieilles compagnes de l'humanité, dont les mortalités de masse ont inquiété. Comme l'illustre bien le cas des amandiers de Californie, les abeilles, dont il existe environ 20000 espèces dans la nature, sont des pollinisateurs sauvages et domestiques de première importance. On lit

© FAO



dans le rapport de l'IPBES que, même s'il subsiste des lacunes dans les connaissances, « les récentes recherches axées sur les insecticides à base de néonicotinoïdes témoignent d'effets létaux et sublétaux sur les abeilles, ainsi que de certaines répercussions sur leur rôle de pollinisateurs ».

Et une étude récente apporte la preuve d'impacts des néonicotinoïdes sur « la survie et la reproduction des pollinisateurs sauvages ». Bref, il y a au moins un cas dans lequel on a étudié la situation de près, et dans ce cas, les chercheurs ont établi un lien solide entre certains pesticides et la mort en masse d'insectes pollinisateurs de première importance.

Face à cette avalanche de nouvelles inquiétantes, quels espoirs peut-on concevoir ?

Jean-François Silvain : Nous, les chercheurs étudiant la biodiversité, avons longtemps eu l'impression de prêcher dans le désert. Mais depuis la dernière réunion plénière de l'IPBES en 2019 et la publication de son rapport, nous avons le sentiment d'une prise de conscience de la menace qui pèse à échelle planétaire sur la biodiversité. Jamais nous n'avions autant été sollicités par les médias désireux de rendre compte du constat fait par les experts rassemblés par l'IPBES… Le rapport fait des recommandations pour les gouvernements, qui, espérons-le, vont être suivies d'effets.

En principe, nous sommes sur une trajectoire d'interdiction des néonicotinoïdes en Europe, et, en France, où néanmoins la réintroduction temporaire des néonicotinoïdes a été récemment autorisée, l'objectif est de réduire drastiquement l'usage des produits phytosanitaires. La très forte réorientation vers l'agroécologie de l'Inra (désormais Inrae, avec un *e* pour environnement), un organisme de recherche qui a pu par le passé être accusé de venir en appui d'une agriculture productiviste, me semble très positive et significative de la prise de conscience actuelle.

Et puis, il ne faut pas tout attendre des gouvernements : les individus peuvent aussi agir. Les consommateurs qui, de plus en plus, préfèrent les légumes dits « bio », lesquels ont en tout cas été produits en suivant un certain cahier des charges laissant plus de chances aux insectes dans les jardins, exercent aussi une énorme pression pour que les pratiques changent.

S'il est un domaine où la culture du prix bas et de la faible qualité installée par les grands distributeurs a amplifié la catastrophe écologique, c'est bien celui de l'alimentation. Le fait que les chaînes de supermarché se mettent à vendre du bio est certainement un signe d'espoir pour les précieux insectes à qui nous devons nos fruits. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR FRANÇOIS SAVATIER

BIBLIOGRAPHIE

F. SÁNCHEZ-BAYO ET K. A. G. WYCKHUYS, Worldwide decline of the entomofauna : A review of its drivers, *Biological Conservation*, vol. 232, pp. 8-27, 2019.

C. A. HALLMANN *ET AL.*, More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas, *Plos One*, vol. 12, e0185809, 2017.

RAPPORT D'ÉVALUATION SUR LES POLLINISATEURS, la pollinisation et la production alimentaire – résumé à l'intention des décideurs, IPBES, 2016.

Des vaches sous des pommiers, un exemple d'agroforesterie, une pratique qui associe arbres et cultures ou, ici, pâtures.

© Shutterstock.com/Pixeljoy

L'ESSENTIEL

- Les arbres ont été bannis des champs par l'agriculture intensive pour faciliter la mécanisation et l'efficacité des intrants chimiques.
- L'agroforesterie associe des arbres aux cultures et pâtures pour augmenter la productivité globale du système agricole en diminuant le recours aux intrants.
- Des systèmes agroforestiers compatibles avec la mécanisation des cultures sont maintenant disponibles.
- L'impact des arbres dépend de l'équilibre entre compétition et facilitation entre les arbres et les cultures.
- La modélisation de ces interactions aide à optimiser la conception et la gestion des associations.

L'AUTEUR

CHRISTIAN DUPRAZ est directeur de recherche à Inrae, dans l'UMR ABsys (Agrobiosystèmes diversifiés), à Montpellier, et président de l'International union for agroforestry (IUAF).

Agroforesterie : une intensification écologique de l'agriculture ?

Comment aider l'agriculture à s'adapter au changement climatique et à protéger la biodiversité, tout en garantissant des rendements élevés ? Grâce aux arbres !

C'est le printemps ! Là, dans un champ verdoyant, des vaches paissent tranquillement, à l'abri des rayons du Soleil sous les frondaisons de plusieurs pommiers en fleurs. En guise de clôtures, des haies serrées où virevoltent des myriades d'oiseaux affairés. Ce paysage bucolique à souhait, parfait pour orner une boîte de camembert, semble tout droit sorti d'un imaginaire folklorique fait de traditions, de respect de l'environnement et de pratiques d'un autre âge. Paradoxalement, c'est l'avenir de l'agriculture !

Le bocage décrit est en fait un système agroforestier associant arbres et cultures ou pâtures dans les mêmes parcelles. Une très grande variété de telles pratiques existe dans le monde, et elles étaient encore majoritaires dans >

> l'espace agricole au début du XIXe siècle, y compris en Europe. Les systèmes agroforestiers ont néanmoins progressivement disparu des paysages ruraux, victimes de l'intensification et de la mécanisation. Pire, en Europe, l'agroforesterie était jusqu'à récemment ignorée par toutes les réglementations agricoles, aussi bien nationales que communautaires, ce qui de fait interdisait ces pratiques aux agriculteurs.

Si des travaux récents ont montré que des systèmes agroforestiers modernes sont très productifs, compatibles avec la mécanisation des cultures tout en s'inscrivant dans une agriculture plus résiliente et plus respectueuse de la biodiversité et des sols, l'agroforesterie souffre encore trop souvent d'une image poussiéreuse, mais les temps changent.

ENTRE PRÉJUGÉS ET INSPIRATIONS EXOTIQUES

Les toutes premières formes d'agricultures étaient purement agroforestières : l'abattis-brûlis, qui consiste à faire une trouée dans la forêt pour cultiver est à l'origine de toutes les agricultures du monde. En France, les essarts, c'est-à-dire le défrichement temporaire à des fins agricoles, ont laissé de nombreuses traces dans la toponymie. Dans ces parcelles, les agriculteurs laissaient toujours certains arbres utiles, très souvent des chênes en Europe, très importants pour nourrir les animaux en hiver avec leurs glands. Peu à peu, la mécanisation et l'intensification ont conduit à éliminer ces arbres dits « hors forêt », malgré leurs fonctions de bornage, d'abris pour les travailleurs ou les animaux d'élevage, de brise-vent, de producteurs de fourrage ou de bois de chauffage. Le point culminant du recul des arbres dans l'espace agricole a été atteint avec les grandes opérations de remembrement synonyme d'agrandissement des parcelles dans la seconde moitié du XXe siècle. Au nom de l'augmentation de la production agricole, l'arbre est devenu une relique, en bordure des parcelles, dans les espaces délaissés ou marginaux, et a souvent disparu des espaces cultivés intensivement.

Le mouvement a commencé à s'inverser à la fin des années 1970, avec la création du centre international de recherche en agroforesterie (l'Icraf). Basé à Nairobi, au Kenya, il se consacrait essentiellement aux systèmes agricoles tropicaux, où l'agroforesterie est une pratique encore très répandue, et parfois majoritaire pour certaines productions qui ont besoin d'ombre comme le café et le cacao. Mais en zone tempérée, le sujet est longtemps resté un tabou.

Lorsque nous avons mis en place nos premières parcelles agroforestières expérimentales, dans les années 1980, peu y croyaient : les

Association de noyers et d'orge au domaine expérimental de Restinclières, dans l'Hérault. La complémentarité des cycles de la céréale et de l'arbre valorise beaucoup plus de rayonnement solaire et d'eau du sol que dans un système agricole classique.

© C. Dupraz

agriculteurs craignaient que leurs cultures ne produisent pas à l'ombre des arbres, et les forestiers étaient persuadés que les arbres seraient détruits par les travaux agricoles et les produits phytosanitaires. Et jusqu'en 2007, les agriculteurs qui gardaient des arbres dans leurs champs étaient pénalisés par la Politique agricole commune (PAC) : on retirait l'emprise des arbres des surfaces comptabilisées, ce qui diminuait les aides. Les systèmes traditionnels associant peupliers et maïs ont ainsi complètement disparu, car les producteurs de maïs perdaient alors leurs soutiens financiers européens, indispensables pour compenser les prix bas. L'arbre était donc non seulement indésirable, mais aussi coupable de diminuer rendements et revenus.

PRENDRE LER DU TEMPS

Au début des années 2000, des travaux ont toutefois montré la pertinence et la productivité des systèmes agroforestiers. Ils ont en fin de compte convaincu la Commission européenne d'introduire à partir de 2005 l'agroforesterie comme une mesure novatrice dans le règlement de Développement rural européen (*voir L'alimentation, la grande oubliée de l'Europe ?, par G. Bazin, page 94*). En France, ce n'est qu'en 2006 qu'une circulaire du ministère de l'Agriculture a utilisé pour la première fois le mot « agroforesterie ». Ce fut le grand tournant.

Aujourd'hui, certains passionnés prétendent parfois que les cultures produisent plus sous les arbres qu'en plein soleil. C'est en

général faux, même s'il y a des exceptions. Ce qui est vrai en revanche, c'est que la parcelle agroforestière produit beaucoup plus de biomasse que la même parcelle agricole. Plus encore, elle produit plus de biomasse que la même parcelle où on aurait séparé les arbres et les cultures. C'est ce gain de production que l'on mesure par le coefficient de rendement équivalent, ou LER (pour *land equivalent ratio*).

Pour mesurer un tel LER agroforestier, il faut s'armer de patience ! Mesurer la croissance des arbres et la production des cultures dans une parcelle agricole, une parcelle agroforestière et une parcelle forestière (situées dans les mêmes conditions pédoclimatiques), et cela de la plantation des arbres jusqu'à leur pleine maturité peut durer un siècle ! Nous avons tout de même pu mesurer une valeur de LER égale à 1,3 sur des parcelles de peupliers et de céréales, où les arbres ont été coupés à l'âge de 13 ans.

Heureusement, nous disposons d'une autre option : les expériences virtuelles sur ordinateur, avec des modèles simulant la croissance des arbres et des cultures en interaction. Encore faut-il avoir confiance dans les modèles utilisés. Or les modèles de culture classiques n'ont pas été conçus ou paramétrés pour représenter le comportement de cultures partiellement ombragées par des arbres. Une double approche s'impose donc, expérimentale d'une part, pour valider les modèles, et numérique d'autre part, pour obtenir des prédictions, avec toutes les incertitudes inhérentes, comme chaque fois qu'on extrapole un modèle aux limites de son domaine de validité.

Avec ces simulations, nous avons pu mettre en évidence des LER record en agroforesterie : jusqu'à 1,6 pour des associations de noyers et de céréales d'hiver. En d'autres termes, une exploitation agricole de 100 hectares en agroforesterie produira autant de bois et de produits agricoles qu'une exploitation de 160 hectares avec des parcelles forestières et agricoles séparées. Aucune autre innovation classique ne permet un tel bon de productivité en biomasse récoltée.

Ce gain important est le fruit d'une intensification, obtenue sans intrants supplémentaires, essentiellement en jouant sur les complémentarités et les synergies entre les arbres et les cultures. Cependant, la complémentarité des besoins des arbres et des cultures n'explique pas à elle seule l'exceptionnelle productivité des systèmes agroforestiers.

FACILITER OU LUTTER

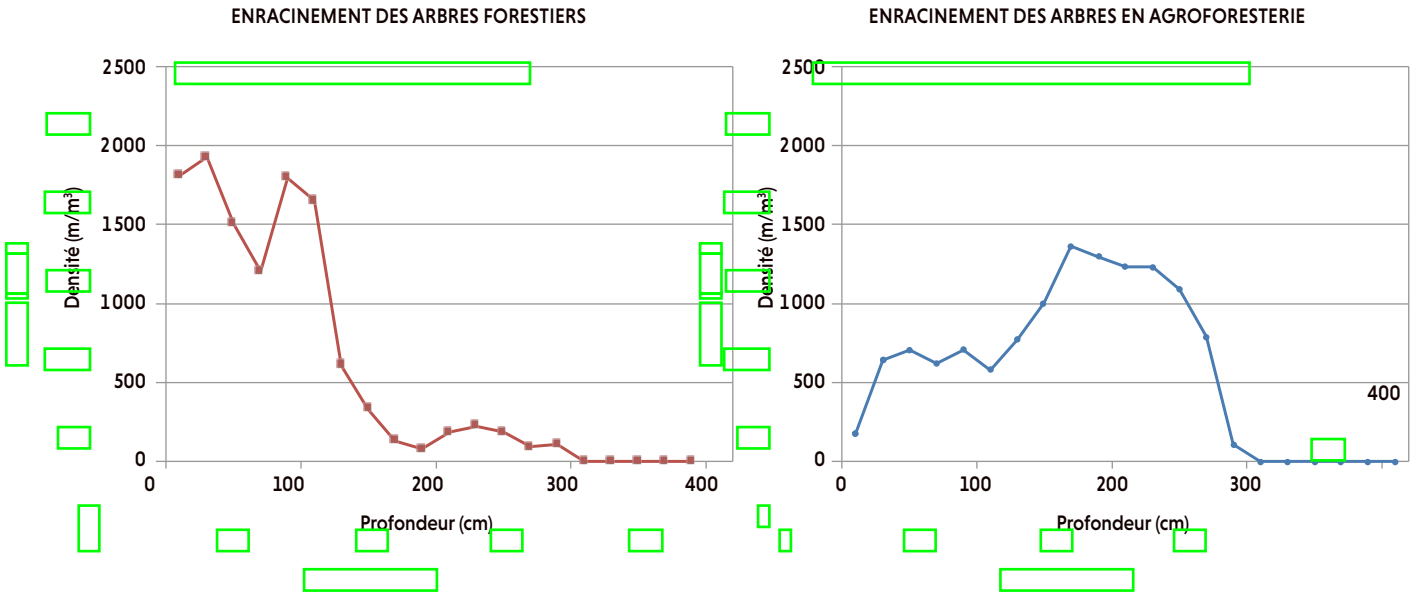
La compétition interspécifique intervient également, en déclenchant des mécanismes d'adaptation, que l'on regroupe sous le concept de plasticité. Un bon exemple est l'adaptation des systèmes racinaires. Les céréales d'hiver assèchent fortement le sol de surface au printemps, obligeant l'arbre à développer un système racinaire plus profond (*voir les graphiques page suivante*), l'aidant à mieux résister à la sécheresse l'été, et donc, au final, de pousser plus vite, grâce aux cultures. Cela revient à augmenter la quantité d'eau accessible aux plantes, donc à augmenter la ressource. C'est une facilitation.

AU NOM DE L'AUGMENTATION DE LA PRODUCTION AGRICOLE, L'ARBRE EST DEVENU UNE RELIQUE

De nombreux mécanismes bénéfiques ont été mis en évidence dans les systèmes agroforestiers. Par exemple, en favorisant une meilleure infiltration des pluies intenses (grâce aux lignes d'arbres qui bloquent le ruissellement) et l'aération du sol par les racines mortes, les arbres agroforestiers contribuent à augmenter l'eau stockée dans les sols, qui sera disponible ensuite pour les cultures. Les arbres ont aussi un effet positif sur les nutriments *via* >

Position des arbres	Famille de systèmes agroforestiers	Classification juridique des sols		
		Forestier	Agricole	Urbanisé
À l'intérieur des parcelles	Sylvopastoral	Pâturage en forêt	Pâtures arborées, vergers pâturés	–
	Sylvoarable	Culture en forêt	Culture en allée, vergers avec culture intercalaire	
Sur les limites des parcelles	Bocages	Forêts linéaires	Haies, brise-vent, bosquets, ripisylves	
Arbres urbains	–			Jardins familiaux arborés, permaculture

La diversité des systèmes agroforestiers concerne la plupart des systèmes de production agricole.



Les arbres en agroforesterie *(à droite)* ont un enracinement plus profond (la densité de racines est maximale entre 2 et 3 mètres de profondeur) que les arbres forestiers *(à gauche)* chez qui la densité de racines est concentrée dans le premier mètre de profondeur. La compétition des cultures explique cette déformation plastique.

> le recyclage de fertilisants par les litières de feuilles, la stimulation des populations de vers de terre qui aèrent le sol et favorisent la nutrition des cultures, la réduction des pertes d'azote dans des sols plus frais grâce à l'ombre des arbres…

Dans tous les cas, il s'agit d'une forme d'intensification écologique qui permet de mieux valoriser les ressources naturelles, et de mieux tirer profit du cycle des éléments nutritifs. Un des grands atouts des arbres est en effet de pouvoir récupérer dans les profondeurs du sol les nutriments entraînés par l'eau de drainage et qui ont échappé aux racines des cultures : c'est autant de pollution en moins des nappes et des rivières, et une fertilisation indirecte des cultures suivantes, à travers les litières de feuilles et de racines.

Mais la compétition pour la lumière, pour l'eau, pour l'azote… reste un processus majeur dans les systèmes agroforestiers. Elle est hétérogène dans une parcelle agroforestière où les cultures les plus proches des arbres sont les plus impactées, aussi bien pour la lumière que pour l'eau du sol. Cela se traduit par exemple par une surface foliaire plus faible sous les arbres en début de saison, et plus forte en fin de saison (*voir la figure 78*). En conséquence, avec des céréales, le remplissage du grain dure plus longtemps en agroforesterie, ce qui compense en partie la plus faible photosynthèse de la culture à l'ombre.

Le bilan entre compétition et facilitation arbitre l'efficacité finale. D'une année à l'autre, les conditions climatiques ou les pratiques de l'agriculteur varient tandis que les arbres gagnent en vigueur et en volume. Tout évolue très vite. La facilitation l'emporte certaines années, la compétition d'autres. Un système agroforestier réagira différemment une année sèche et une année humide. S'il est efficace en année sèche, sa performance globale dépendra de la fréquence de telles années. La gestion des parcelles doit tenir compte de cette dynamique, et le succès des systèmes agroforestiers ne peut être prédit qu'en tenant compte de ces variables.

DES ARBRES CLIMATISEURS ?

À côté des gains possibles en productivité, l'impact des arbres sur le climat est le plus évoqué aujourd'hui. De fait, avec le réchauffement, cultures et animaux d'élevage sont soumis à des stress thermiques ou hydriques toujours plus intenses. Dans les espaces sans arbres, canicules et sécheresses font des ravages. Des arbres pourraient-ils aider les cultures à mieux supporter ces accidents climatiques de plus en plus fréquents ? Pour répondre, les expérimentations sont difficiles, c'est pourquoi l'on se tourne à nouveau vers des simulations numériques. Que disent-elles ? Que le sujet est beaucoup plus complexe que nous l'imaginions *a priori*.

Un exemple. Les prédictions du Giec sont solides sur l'augmentation des températures, mais plus incertaines quant à l'évolution des précipitations. Nous nous sommes rendu compte que si ces scénarios prédisent souvent une baisse des précipitations, celle-ci s'accompagne toujours d'une diminution de la nébulosité. Il pleut moins, même si les pluies sont plutôt plus intenses. La conséquence totalement inattendue est que le rayonnement disponible pour les plantes augmente ! Et ça, c'est positif.

Autre exemple : un des effets les plus recherchés est la diminution des stress thermiques sur les cultures, grâce à l'ombre. À ce jour, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence de façon expérimentale cette protection, mais les modèles numériques suggèrent qu'elle pourrait devenir essentielle à mesure que les

© Christian Dupraz

températures augmenteront, avec la poursuite du changement climatique.

Toutefois, pour les cultures, la protection des arbres a un coût : la réduction de la photosynthèse, et donc du potentiel de production. C'est vrai pour les grandes cultures comme pour les prairies. On cite parfois des cultures qui réussissent mieux à l'ombre, comme les haricots ou le gingembre, mais cela reste des exceptions. Peut-être des marges de progrès sur l'efficience de conversion de la lumière sont-elles possibles en recherchant des plantes adaptées aux sous-bois, mais nous en sommes loin : toutes les espèces et variétés cultivées ont été sélectionnées en plein soleil.

Pour les animaux, la présence d'arbres est très bénéfique. Les vaches laitières ou les poulets fermiers souffrent moins de la chaleur quand leurs pâturages sont arborés, et produisent mieux. Une précaution s'impose néanmoins. Un seul arbre dans un pâturage attirera tout le troupeau, le sol sous l'arbre sera piétiné, les déjections s'y accumuleront, la promiscuité favorisera la transmission de maladies comme les mammites chez les vaches laitières, et la prairie sera détruite. Les arbres doivent donc être nombreux et habilement répartis pour que les animaux exploitent l'ensemble de la parcelle.

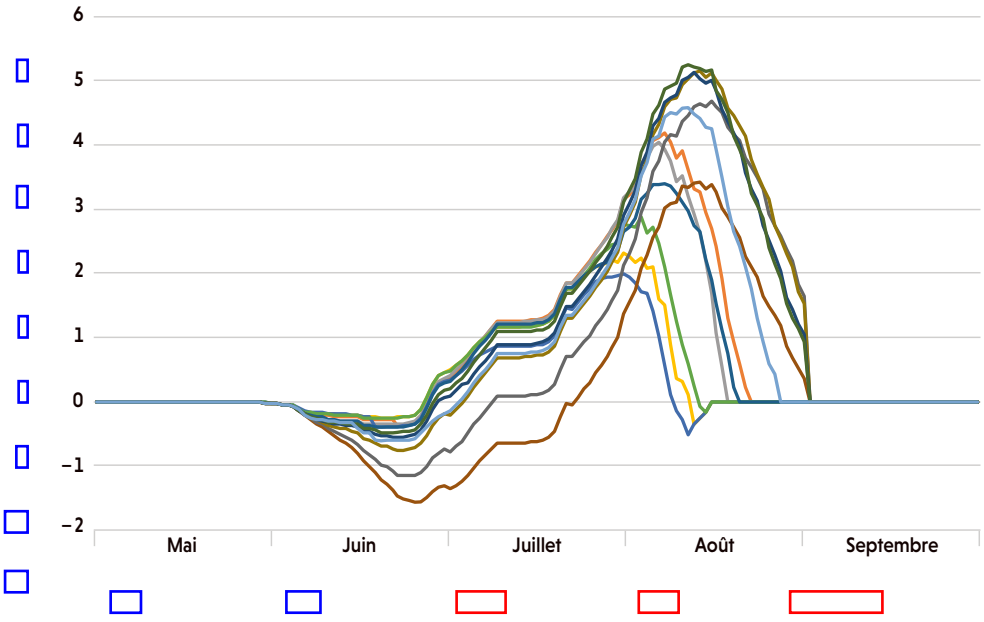
Utiles en aval, les arbres agroforestiers peuvent-ils aussi, en amont, contribuer à sauver notre climat en fixant du carbone ? De fait, planter des arbres est une option à la mode pour fixer du carbone, climatiser la planète ou protéger la biodiversité. En outre, les crédits carbone correspondant sont convoités par de nombreuses entreprises et collectivités qui souhaitent améliorer leur bilan carbone. Mais ce n'est pas si simple. D'abord, les terres disponibles pour le reboisement restent rares et souvent de fertilité faible, car les meilleures terres sont dédiées à la production de notre alimentation. Ensuite, les arbres fixent certes beaucoup de carbone, mais leur albédo est faible : ils absorbent beaucoup de rayonnement solaire, et en renvoient donc moins dans l'atmosphère que des champs cultivés nus, surtout lorsque les sols ont des couleurs claires. Ce « forçage radiatif » global du système peut annuler l'effet bénéfique de la fixation du carbone. Le bilan de ces deux mécanismes antagonistes est difficile à prévoir. Des études récentes ont même montré qu'avec une Terre entièrement recouverte de forêts le changement climatique serait peu ralenti. D'autant que l'étude de l'impact des arbres sur le climat devrait intégrer leurs émissions de méthane et de composés organiques volatiles, des substances qui influent sur les équilibres thermiques.

AVEC UNE TERRE ENTIÈREMENT RECOUVERTE DE FORÊTS, LE CHANGEMENT CLIMATIQUE SERAIT PEU RALENTI

Quoi qu'il en soit de ces bémols, l'agroforesterie a de plus en plus le vent en poupe et a été classée comme une des options les plus efficaces pour améliorer le bilan carbone de >

© Marco Schmidt

L'agroforesterie prospère sous toutes les latitudes, comme ici près de Banfora, au Burkina Faso, où du maïs pousse sous des balanzans *(Faidherbia albida)* et des rôniers, une sorte de palmier.



Entre une culture en agroforesterie et en agriculture classique, la surface foliaire du maïs ne suit pas la même dynamique. Elle est en retard en début de saison *(l'écart est négatif)*, mais les feuilles durent beaucoup plus longtemps à l'ombre des arbres *(l'écart est positif)* en fin de saison. Chaque courbe correspond à une position par rapport à l'arbre.

> l'agriculture. Il n'empêche, l'arbre prend son temps et travaille pour l'avenir. Il n'a que faire de nos urgences. Planter un arbre ne prend que quelques minutes, mais lui assurer un avenir prend toute une vie. La fertilité de nos sols est en grande partie héritée des humus forestiers accumulés pendant des milliers d'années dans les forêts qui ont précédé les grands défrichements. Il est sans doute illusoire de penser que des peuplements d'arbres peu denses, à raison d'une centaine par hectare, vont aider à la reconstitution de la matière organique de nos sols agricoles, dégradée par un siècle d'exploitation intensive et de labours oxydants. Des flux puissants de carbone ne retourneront au sol que lorsque les arbres seront devenus grands. Et même là, des siècles d'accumulation patiente de litières, aériennes et souterraines, seront encore nécessaires pour enrichir le sol, améliorer sa fertilité et sa capacité intrinsèque de rétention de l'eau.

Mais d'autres impacts plus rapides sont attendus, et ils sont nombreux ceux qui comptent sur les arbres. En effet, hérissons, écureuils, chauve-souris, vers de terre… profitent de l'agroforesterie. Un arbre, ce n'est pas grand-chose. Et pourtant, dans l'arbre, dans l'herbe à ses pieds qui n'est plus retournée par la charrue, sous son écorce, dans ses racines mortes, au sommet lumineux de son houppier… la biodiversité explose grâce à la variété des habitats offerts, un préalable indispensable à la diversité des espèces. Cette biodiversité peut être ordinaire, exceptionnelle, et parfois utile.

Les chauves-souris ont déserté les grandes parcelles agricoles nues, où elles ne trouvent pas les échos radars indispensables à leurs déplacements. Les arbres des parcelles agroforestières constituent des repères grâce auxquels ces mammifères agrandissent leur territoire de chasse et y consomment moustiques et autres insectes nocturnes, pour le plus grand bénéfice des riverains ou des agriculteurs. En effet les populations de plusieurs parasites très nuisibles des cultures comme le ver de la grappe des raisins sont contrôlées par les chauves-souris. De nombreux projets de nichoirs à chiroptères se développent pour faire revenir ces auxiliaires précieux dans les parcelles agricoles, et, pour cela, des arbres sont indispensables.

J'AI TROIS TRACTEURS ET 1 500 ARBRES

Adopter des arbres sur son exploitation est un renversement historique, qui contredit le dernier siècle d'intensification fondé sur l'utilisation des énergies fossiles et des produits phytosanitaires de synthèse. Des changements juridiques et réglementaires sont indispensables, d'une part pour que les agriculteurs agroforestiers ne soient pas injustement pénalisés par la présence des arbres, d'autre part pour que les arbres soient considérés, au même titre que les bâtiments d'élevage ou les tracteurs, comme des outils de production. Ce qui impose par exemple des changements de régime fiscal, et des adaptations de la PAC, actuellement en discussion. Le rôle des organismes internationaux de promotion de l'agroforesterie, notamment la Fédération européenne d'agroforesterie (Eurafa) ou l'Association internationale de l'agroforesterie (IUAF) sont à ce titre essentiels. Le prochain et cinquième congrès mondial de l'agroforesterie est prévu en juillet 2022, au Québec, et devrait confirmer le retour en force de pratiques certes ancestrales, mais très efficaces pour assurer la résilience de notre agriculture. Nos boîtes de camembert rustique ne donc pas une vision rétrograde, mais un aperçu de notre avenir. ■

BIBLIOGRAPHIE

L'Association Française d'Agroforesterie: www.agroforesterie.fr

L'Association française Arbres champêtres et agroforesteries (AFAC). http://bit.ly/AFACchamp

Le Réseau mixte technologique agroforestier: https://rmt-agroforesteries.fr/

La Fédération Européenne d'agroforesterie: www.eurafagroforestry.eu

C. Dupraz et F. Liagre, *Agroforesterie. Des arbres et des cultures*, Éditions France Agricole, 2008.

G. Lawson *et al.*, Can silvoarable systems maintain yield, resilience, and diversity in the face of changing environments? *in Agroecosystem Diversity: Reconciling contemporary Agriculture and environmental quality*, Academic Press, pp 145-168, 2019.

S. Luyssaert *et al.*, Trade-offs in using European forests to meet climate objectives, *Nature*, vol. 562, pp. 259-262, 2018.

S. Pellerin et L. Bamière (dir.), *Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût?* Rapport scientifique de l'étude, Inrae, 2020. http://bit.ly/INRAE-2020

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT !

N° 522 (Avril 21)
réf. PL522

N° 521 (Mars 21)
réf. PL521

N° 520 (Fév 21)
réf. PL520

N° 519 (Jan 21)
réf. PL519

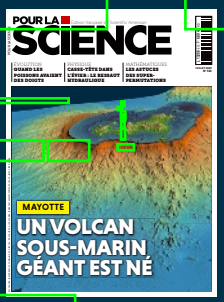
N° 518 (Déc. 20)
réf. PL518

N° 517 (Nov. 20)
réf. PL517

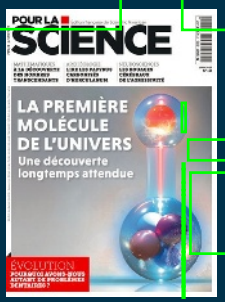
N° 516 (Oct. 20)
réf. PL516

N° 515 (Sept. 20)
réf. PL515

N° 514 (Août 20)
réf. PL514



N° 513 (Juill. 20)
réf. PL513



N° 512 (Juin 20)
réf. PL512

N° 511 (Mai 20)
réf. PL511

À retourner accompagné de votre règlement à :

Service Abonnement Pour la Science – 56 rue du Rocher – 75008 Paris – serviceclients@groupepourlascience.fr

☑ **OUI,** je commande des numéros de **Pour la Science**, au tarif unitaire de 9,40 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1re réf.	01	x 9,40 € =	9,40 €
2e réf.		x 9,40 € =	€
3e réf.		x 9,40 € =	€
4e réf.		x 9,40 € =	€
5e réf.		x 9,40 € =	€
6e réf.		x 9,40 € =	€
TOTAL À RÉGLER			€

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code postal ..... Ville : .....

Téléphone .....

Courriel : .....

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ **Par chèque** à l'ordre de *Pour la Science*
en nous retournant ce bulletin d'abonnement complété

Pour retrouver tous nos numéros et effectuer un paiement par carte bancaire, rendez-vous sur boutique.groupepourlascience.fr

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2021 en France Métropolitaine uniquement.

Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques. Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour La Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : https://rebrand.ly/charte-donnees-pls. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

Ces panicules de diverses variétés de riz sont conservées et étiquetées après la récolte au conservatoire Basudha, fondé en Inde par l'auteur.

© Zoé Savitz

L'ESSENTIEL

- Avant les années 1970, l'Inde possédait 110 000 riz indigènes aux caractéristiques diverses, mais 90 % ont disparu des cultures aujourd'hui.
- Seules quelques variétés à hauts rendements poussent dans les champs, nécessitant des intrants et ayant de médiocres performances dès que les conditions environnementales sont défavorables.
- Cependant, Vrihi, un réseau de banques de semences, régénère et documente les riz traditionnels afin de les rendre aux paysans indiens.

L'AUTEUR

DEBAL DEB
est le fondateur de la ferme Basudha et de la banque de semences de riz Vrihi, en Inde

Le retour des riz traditionnels

En Inde, certaines variétés indigènes de riz résistent aux inondations, aux sécheresses et à moult autres catastrophes. Pourquoi ne les cultive-t-on pas davantage ?

Un jour de l'été 1991, après des heures passées dans les bois sacrés du sud de l'État du Bengale-Occidental (à l'est de l'Inde), je me suis dirigé vers la hutte de Raghu Murmu, du peuple des Santals. Là, en profitant de son hospitalité, j'ai vu son épouse, enceinte, boire un liquide rougeâtre. Il s'agissait d'amidon obtenu en cuisant du bhutmuri, un riz aussi nommé « tête de fantôme », peut-être à cause de son enveloppe sombre… Cette boisson était censée guérir l'anémie des femmes enceintes et en *post partum*. Une autre variété, le paramai-sal – le « riz de longévité » – favoriserait, lui, la croissance des enfants.

Plus tard, j'ai établi que le bhutmuri fait partie des quelques variétés indigènes de riz d'Asie du Sud riches en fer et en certaines vitamines B. Le paramai-sal est lui riche en antioxydants, en micronutriments et en amidon digeste, que le corps convertit facilement en énergie. Ces variétés rares de riz étaient des nouveautés pour moi. Aussi, une fois rentré chez moi à Calcutta, j'ai mené une recherche bibliographique sur la diversité génétique du riz indien. Le constat s'est imposé : les petits riziculteurs comme Raghu, cultivant et appréciant les riz indigènes, sont aussi menacés que les variétés elles-mêmes.

Les années suivantes, je me suis familiarisé avec les nombreuses variétés indigènes indiennes. Leurs propriétés sont étonnamment diverses et utiles : certaines résistent aux inondations, à la sécheresse, à la salinité ou aux attaques de parasites ; d'autres sont riches en vitamines ou en minéraux ; d'autres encore ont des couleurs, des goûts ou des arômes plaisants, qui expliquent leur rôle dans les cérémonies religieuses traditionnelles. En fait, collecter, régénérer, puis partager avec les riziculteurs ces variétés rares, mais précieuses, est devenu ma mission !

Oryza sativa, le riz cultivé en Asie, est le résultat de siècles de sélection d'espèces >

sauvages pendant le Néolithique. Des indices archéologiques et génétiques suggèrent que la sous-espèce *Oryza sativa indica*, qui constitue la presque totalité du riz cultivé sur le sous-continent indien, était déjà cultivée sur les contreforts de l'Himalaya oriental il y a environ 8000 ans. Au cours des millénaires qui ont suivi, les riziculteurs ont créé tout un spectre de riz adaptés à divers sols, topographies et microclimats et répondant à des besoins culturels, nutritionnels ou médicinaux spécifiques.

UN TRÉSOR PERDU

Selon l'expert Radhey Richharia, les paysans indiens cultivaient plus de 140000 variétés de riz jusque dans les années 1970. En tenant compte de celles ayant plusieurs noms, ce chiffre se réduit à 110000 environ. Mais cette biodiversité s'est effondrée depuis la Révolution verte.

De quoi s'agit-il? À la fin des années 1960, l'Institut international de recherche sur le riz (l'Irri pour International rice research institute), une ONG basée aux Philippines, a fourni au gouvernement indien plusieurs variétés de riz à haut rendement. De fait, elles produisent des quantités substantielles de grains, mais à condition de leur fournir assez d'eau, d'engrais et de pesticides. De concert avec les agences internationales de développement, l'Irri a encouragé le remplacement des variétés indigènes par ces souches importées qui ont vite supplanté les riz traditionnels.

À la fin des années 1970, l'Irri recensait au Bengale-Occidental 5556 variétés indigènes et en a recueilli 3500 dans une banque de gènes. En 2006, au terme d'une longue enquête, j'ai montré que 90% des variétés indigènes documentées ne sont plus cultivées: sur les 110 000, seules 6000 subsistent dans les champs indiens. La situation est similaire au Bangladesh: sur 12479 variétés cultivées jusqu'au début des années 1980, moins de 720 sont encore cultivées dans le delta du Gange.

Pourquoi les institutions agricoles ne s'inquiètent-elles pas de l'érosion génétique de la plus importante céréale de la région? Le désastre de la Grande Famine d'Irlande du milieu du XIXe siècle devrait pourtant alerter!

Dans l'île britannique, le mildiou (*Phytophthora infestans*) annihila en 1846 les trois quarts des récoltes de pomme de terre, car une seule espèce (l'Irish Lumper) dominait les cultures. Ainsi, l'absence de diversité rend une espèce vulnérable aux parasites et aux maladies; en d'autres termes, les monocultures sont une menace pour la sécurité alimentaire. De fait, dans le sillage de la Révolution verte, le charançon du riz (*Dicladispa armigera*) et la cicadelle brune (*Nilaparvata lugens*) ont fait des ravages sans précédent dans les rizières de plusieurs pays.

Aujourd'hui, des monocultures étendues sur de vastes espaces sont autant de banquets pour les parasites. Les riziculteurs arrosent leurs champs de pesticides pour tenter de les éliminer, ce qui aboutit à tuer les ennemis naturels de ces parasites... Le résultat net est une augmentation de la diversité et de l'abondance des parasites. L'uniformité génétique signifie aussi que les plantes manquent de ressources pour résister aux conditions difficiles, comme les pluies insuffisantes ou tardives, les inondations, ou encore les tempêtes qui inondent les champs côtiers d'eau salée. Cette fragilité rend les riziculteurs pauvres plus vulnérables aux fluctuations environnementales.

La disparition des variétés indigènes entraîne en outre le dépérissement de tout le savoir associé à leur culture. Les riziculteurs traditionnels savent par exemple distinguer les variétés en observant leur période de floraison, la couleur de la gaine foliaire (partie de la feuille embrassant la tige de la plante), l'angle de la feuille paniculaire (la dernière feuille qui soutend l'inflorescence), la longueur de la panicule (l'inflorescence), ainsi que la taille, la couleur et la forme du grain (*voir l'encadré page 86*). Ils utilisent ces traits et d'autres pour repérer et éliminer toutes les plantes «hors type» (se distinguant par un ou plusieurs caractères) afin de maintenir la pureté génétique de la variété.

© Zoë Savitz

ON LE SAIT DEPUIS LA GRANDE FAMINE D'IRLANDE, LES MONOCULTURES SONT UNE MENACE POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Une paysanne indienne transplante des pousses de riz dans l'une des rizières de la ferme Basudha.

Aujourd'hui, la plupart des riziculteurs d'Asie du Sud ont un fournisseur de semences qui fait le travail à leur place. Lorsqu'une variété locale n'est plus disponible, les connaissances agronomiques et culturelles qui s'y rattachent s'effacent de la mémoire collective. Dès lors, des stratégies millénaires de lutte contre les parasites et les maladies sont supplantées par les conseils des marchands de pesticides, non sans conséquences pour la biodiversité, la qualité des sols et de l'eau, et la santé humaine.

La Révolution verte et, plus largement, la modernisation de l'agriculture ont aussi eu des conséquences sociales et économiques graves. L'augmentation du coût des intrants (engrais, pesticides...) et du carburant oblige les riziculteurs indiens à emprunter, souvent à des prêteurs privés. Combiné avec la chute des prix agricoles, l'endettement qui en résulte a provoqué de nombreuses ventes précipitées de terres et une vague de suicides parmi les paysans. Les cultivateurs traditionnels continuant à planter des riz et des millets indigènes n'ont pas ces difficultés.

En 1996, fort de 152 variétés de riz dans ma collection, je me suis tourné vers la station de recherche sur le riz de la direction de l'agriculture du Bengale-Occidental, où tout le matériel génétique des riz traditionnels indiens est censé être conservé. Non seulement la station a refusé mes semences, mais le directeur m'a reproché de poursuivre un objectif «ascientifique et rétrograde». Lorsque j'ai rappelé qu'aucune des variétés à haut rendement ne peut survivre dans les champs arides sans irrigation, dans les champs de riz submergés ou dans les fermes en sols salins, il m'a assuré que la génétique réglerait bientôt tous ces problèmes.

À cette époque, le Fonds mondial pour la nature (WWF), pour qui je travaillais, et d'autres ONG œuvraient surtout à la conservation des animaux emblématiques comme le tigre. Les céréales cultivées ne faisant pas partie de la «faune sauvage», on ne s'intéressait pas à leur protection.

La seule option était de faire cavalier seul. En 1996, j'ai démissionné et créé dans un village du Bengale-Occidental une banque de semences de riz indigène, qui est aussi un centre d'échanges pour riziculteurs. En 1997, je l'ai nommée Vrihi, ce qui signifie en sanskrit «diffusion du riz». Pendant les premières années, j'ai grandement bénéficié du soutien de Navdanya, une ONG basée à New Delhi dédiée à la protection de la biodiversité et au développement de l'agriculture biologique; Navdanya collecte en particulier les semences rares de tout le pays afin de les distribuer gratuitement aux riziculteurs dans le besoin.

En 1999, le département des forêts m'a envoyé étudier la biodiversité du nord du Bengale-Occidental et j'en ai profité pour explorer les champs de la région. C'est là, à Lataguri, que je suis tombé sur l'agni-sal. Cette variété de riz est en danger critique d'extinction, c'est-à-dire qu'elle n'est plus cultivée que dans une unique exploitation. Le grain de ce riz était de couleur rouge feu – d'où son nom *agni*, signifiant «feu» – et sa tige assez solide pour résister aux tempêtes. La saison suivante, j'en ai donné des semences à un riziculteur cherchant un riz capable de pousser dans sa ferme des hauts plateaux, balayée par des vents violents. L'année suivante, il me remerciait pour la bonne récolte obtenue malgré un cyclone ayant dévasté les exploitations de ses voisins. Un fonctionnaire l'a cependant persuadé de remplacer l'agni-sal par un riz à haut rendement, ce qui a fait disparaître ce riz de notre réseau. Hélas, mon donneur initial à Lataguri était mort et son fils avait abandonné ce riz. L'agni-sal a sans doute disparu aujourd'hui.

LE POUVOIR DES SNORKEL

À la même époque, un autre incident m'a persuadé qu'il fallait faire plus que collecter et redistribuer les semences anciennes. Les riziculteurs traditionnels des basses terres indiennes cultivaient deux types de riz résistant aux inondations. L'un d'eux acquiert une tige de plus en plus grande à mesure que le niveau de l'eau s'élève. Régie notamment par les gènes *Snorkel1* et *Snorkel2*, situés sur le chromosome 12, cette capacité est aussi présente dans les variétés traditionnelles lakshmi dighal, jabrah, pantara et rani kajal. L'autre type résiste à une immersion prolongée dans les eaux de crue, notamment grâce au gène *Sub1*, présent dans plusieurs variétés indigènes bengalis.

En juin 1999, dans un district du sud du Bengale-Occidental, une crue soudaine a détruit toutes les récoltes de riz. Ma banque de semences ne disposait d'aucune variété tolérant la submersion, mais je savais que l'Irri et le Bureau indien des ressources phytogénétiques, à New Delhi, en possédaient plusieurs dizaines. J'ai donc sollicité les deux institutions, mais aucune n'a daigné répondre. En fait, aucun riziculteur, dans aucun pays, n'a jamais obtenu de semences auprès de ces nobles banques de gènes, pourtant alimentées par des contributions des paysans.

En revanche, les banques de gènes mettent leurs collections à la disposition des semenciers pour leurs programmes d'hybridation et de prises de brevet. En 1996, environ trois quarts des rizières américaines auraient été ensemencées avec du matériel provenant de l'Irri. Et en 1997, l'Office américain des brevets et des marques a accordé à la société texane RiceTec le brevet d'une portée la plus grande jamais accordée sur un riz indigène. Il s'agit d'une souche de basmati, obtenue à partir de parents issus de la collection de l'Irri et originaires d'Asie du Sud. L'Irri, censé mettre sa collection à disposition des riziculteurs du monde entier, a lui-même déposé en 2014 une demande de brevet international sur le gène *Spike*, découvert dans la variété indonésienne de >

> riz daringan! Le processus n'a pas été à son terme, car l'Irri a abandonné son projet, *Spike* s'étant entretemps révélé peu intéressant.

Les grandes banques de semences ont l'inconvénient d'être géographiquement, mais aussi socialement loin des riziculteurs, mais il y a plus: le long isolement (jusqu'à trente-cinq ans) de leurs semences diminue leur valeur. Figées dans le temps, elles sont séparées des formes de vie en constante évolution du monde extérieur. Lorsqu'on les remettra en culture, elles auront perdu toute résistance à certains agents pathogènes, dont les souches se sont renouvelées. Au contraire, les banques de semences locales, approvisionnées par les fermiers locaux sans les moyens de conserver les semences au froid, doivent semer leur riz chaque année. Ainsi, leurs semences continuent à coévoluer avec les agents pathogènes et autres nuisibles.

SOIXANTE-QUATRE PLANTS

En 2001, j'ai complété Vrihi en fondant la ferme Basudha. Vrihi est aujourd'hui la plus grande banque de gènes de riz en libre accès d'Asie du Sud, et ses 1420 variétés sont cultivées chaque année à Basudha, dans un village du sud d'Odisha. Pas moins de 182 variétés de notre collection ont aujourd'hui disparu des champs indiens.

Avec moins de 0,7 hectare à notre disposition, nous cultivons 64 plants de chaque variété sur seulement quatre mètres carrés de terrain (d'après notre expérience, le nombre minimum de plants nécessaires pour maintenir tous les traits d'une variété donnée est d'environ 50). Empêcher la pollinisation croisée entre variétés voisines est un défi. Nous le relevons en plantant de telle sorte qu'une variété n'est jamais entourée par d'autres fleurissant en même temps. Nous éliminons les plants hors type de chaque population à différents stades de vie et une fois ce tri effectué, à l'exception de quelques mutations non détectées, toutes les graines récoltées sont supposées génétiquement pures.

À Basudha, toutes les variétés sont cultivées sans produits agrochimiques, sans eau d'irrigation pompée dans le sol et sans aucun usage de combustibles fossiles. L'apport en nutriments provient de paillis ou de cultures de couverture de légumineuses (dont les racines sont riches en microbes fixateurs d'azote), de légumes verts compostés et de fumier animal, ou encore de biochar (biomasse pyrolysée) et de microbes du sol. Nous luttons contre les parasites en cultivant des «mauvaises herbes» qui fournissent des habitats tant aux prédateurs des insectes parasites tels les araignées, les fourmis et les reptiles qu'aux parasites eux-mêmes.

Occasionnellement, nous utilisons aussi des répulsifs antiparasitaires à base de plantes telles que le tabac, l'ail et le tulsi (*Ocimum sanctum*; connu aussi sous le nom de basilic sacré). Avoir des variétés et des espèces diverses est la meilleure stratégie de protection contre les agents pathogènes des cultures.

Les semences récoltées sont en partie stockées dans des poteries, à l'abri des insectes et des rongeurs. Nous distribuons le reste des graines, en échange d'une poignée de semences d'autres variétés indigènes, que nous cultivons et redonnons. L'idée est de faire revivre les échanges traditionnels de semences, qui a concouru autrefois à répandre les variétés cultivées sur les continents.

Nous avons aussi contribué à la création de plus de vingt autres banques de semences dans le pays. Nous encourageons également les réseaux d'échange de semences entre riziculteurs. Nos banques et ces réseaux ont bénéficié à plus de 7800 riziculteurs dans cinq États indiens. En outre, nous documentons les caractères et les propriétés de chaque variété indigène et les enregistrons au nom des riziculteurs qui les fournissent afin d'éviter toute

LE RIZ DANS TOUS CES ÉTATS

Le bilan de la Révolution verte divise les spécialistes. Pendant cette période, des politiques publiques ont promu une industrialisation rapide de l'agriculture par le moyen d'évolutions technologiques et sociales. On a alors intensifié la mécanisation, l'irrigation, l'utilisation d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires et introduit des variétés capables de valoriser ces investissements. Dans le même temps, les agriculteurs ont été poussés à se spécialiser. La Révolution verte concerne les pays en développement, mais l'agriculture des pays développés a connu une évolution parallèle. Certains y voient le recul tant attendu de la famine dans certains pays; selon d'autres, l'objectif unique de rendement a conduit à une destruction massive des environnements, à des ruptures d'équilibres biologiques, tout en accentuant les inégalités sociales.

Depuis une trentaine d'années, cependant, un nouveau paradigme prend le relais, qui fixe comme objectif un développement durable et équitable. L'ONU le décline en dix-sept objectifs, dont la recherche internationale tire ses grandes orientations, en particulier s'agissant de développement agricole. Dans ce concert, le GCRAI (Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale) est central. Or ce consortium d'une quinzaine d'instituts et de centres focalisés sur la recherche agronomique pour le développement englobe

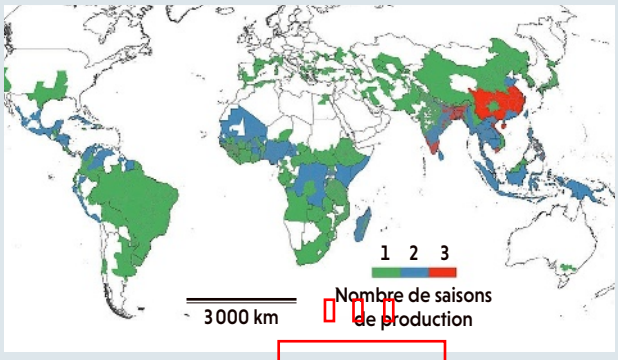
biopiraterie. Nous visons par là à restaurer la souveraineté des riziculteurs sur les semences, essentielle à leur sécurité financière et nutritionnelle à long terme.

DES CÉRÉALES AUX MILLE VERTUS

Dans les exploitations agricoles précarisées par les risques de sécheresse ou d'inondations saisonnières, les variétés traditionnelles sont le seul moyen fiable d'assurer la sécurité alimentaire des riziculteurs pauvres. En cas de sécheresse, le kelas, le rangi, le gadaba, le kaya ou le velchi donneront des rendements supérieurs à ceux de tous les riz modernes. Les variétés lakshmi dighal, rani kajal et jabra, sont capables de maintenir leurs panicules porteuses de graines hors de l'eau jusqu'à 4 mètres de hauteur. Les riz matla, getu, talmugur et kallurundai réussissent à pousser sur un sol salin et survivent à l'incursion d'eau de mer. Ces variétés indigènes sont des lignées stables dotées d'une série de gènes conférant une large plasticité adaptative.

En outre, étant donné les conditions optimales du sol dans les exploitations agricoles alimentées par la pluie, nombre de variétés comme le bahurupi, le bourani, le kerala sundari ou encore le nagra parviennent à dépasser les rendements des variétés modernes. Quelques-uns ont même des rendements relativement élevés. Il s'agit notamment des riz à double et à triple grains, peut-être issus de sélections et de mutations rares des gènes structuraux de la fleur. Notre ferme semble être la dernière dépositaire de l'une de ces variétés à triple grain: le sateen.

Par ailleurs, plusieurs variétés indigènes résistent bien aux parasites et aux agents pathogènes. Les riz kalo nunia, kalanamak, kartik-sal et tulsi manjari sont robustes face au champignon *Magnaporthe oryzae*, un des agents pathogènes les plus dévastateurs. Le bishnubhog et le rani kajal sont résistants au flétrissement bactérien du riz, une autre maladie parmi les plus graves. Le kataribhog est modérément résistant au virus du tungro, un virus qui ravage les >



La base RiceAtlas, mise au point par l'Irri, répertorie plus de 2 700 unités spatiales de culture de riz et le nombre de saisons où l'on peut le récolter.

les instituts promoteurs de la Révolution verte (dont l'Irri). Le GCRAI est financé par des crédits internationaux et par de grandes fondations privées, et chargé de mettre en œuvre de grands programmes. Celui du riz est coordonné au niveau mondial par trois membres du GCRAI (l'Irri, le Centre international d'agriculture tropicale et le Centre du riz pour l'Afrique), deux organismes français (le Cirad et l'IRD) et le Centre de recherche international japonais pour les sciences de l'agriculture (le Jircas), et il associe les instituts de recherche de nombreux autres pays.

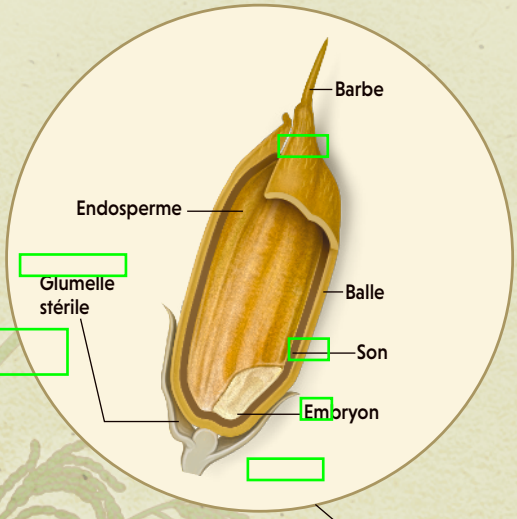
Cinq projets étendards sont en cours: caractérisation de la diversité des riz, développement de nouvelles variétés, élaboration de systèmes de culture durables, développement de nouvelles chaînes de valeur et finalement intégration de tout cela dans une riziculture plus équitable. Leurs objectifs pour 2022 ciblent une augmentation de la sécurité alimentaire et nutritionnelle (carence en zinc en particulier) dans un meilleur respect de l'environnement. Nous sommes loin des objectifs des années 1960 centrés sur le rendement!

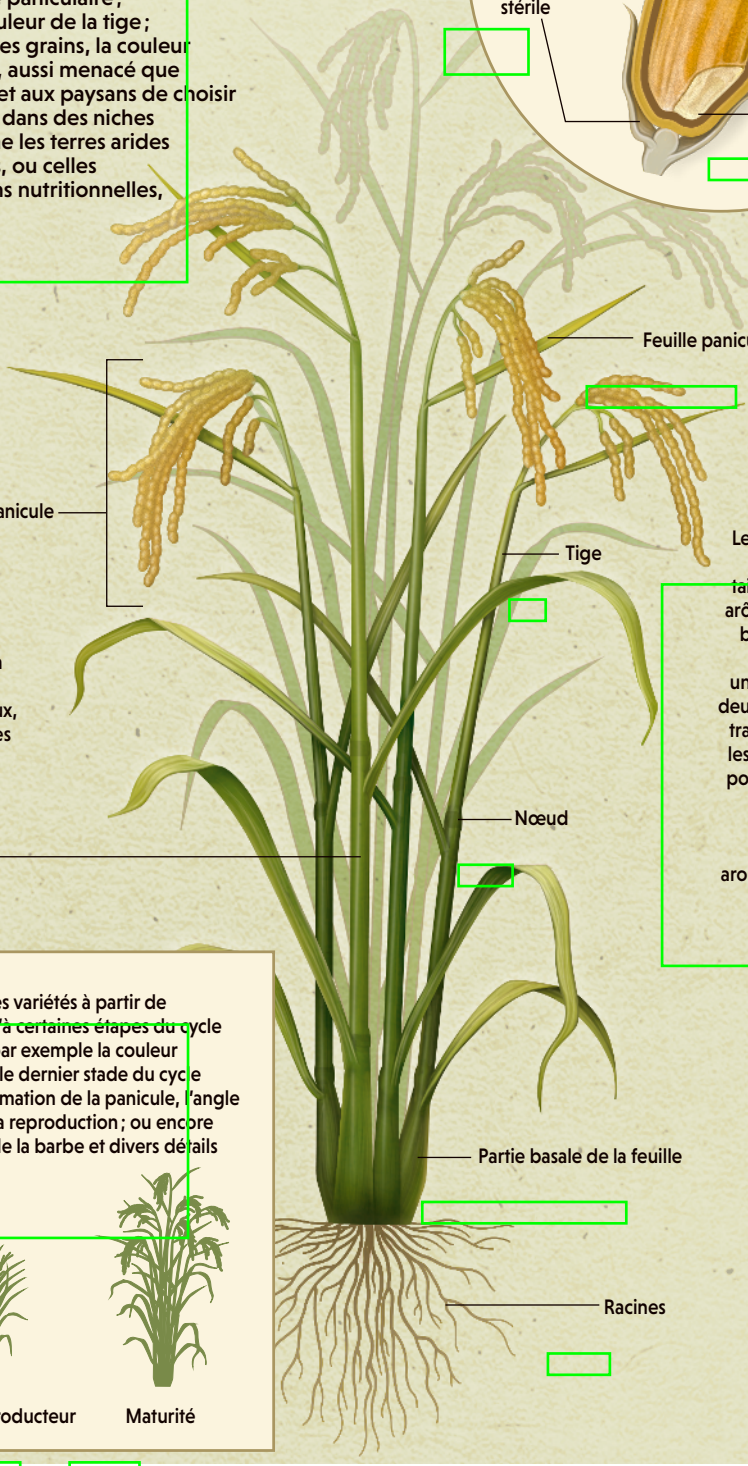
Autre aspect: les collections internationales des GCRAI sont maintenant gérées par le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (Tirpaa), qui permet le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation par tous. Ainsi, entre 2014 et 2018, l'Irri, dont la collection renferme plus de 130 000 variétés, a distribué chaque année près de 9000 lots de semences en dehors du GCRAI. Ces lots sont assortis d'un agrément standard qui assure la traçabilité complète de ces graines, prévenant ainsi les tentatives d'appropriation abusive et libérant des impératifs de protection qui existaient à certaines époques. L'idée est bien de préserver et mettre au service des agricultures du monde cette biodiversité issue de millénaires de gestion paysanne. Comme le remarque Debal Deb, les variétés mises en collection il y a plusieurs décennies n'ont pas pu coévoluer avec les environnements de culture, mais elles ont préservé des formes rares d'adaptation qui peuvent être remobilisées dans de nouveaux systèmes avec de nouveaux objectifs. Cela n'enlève rien à la valeur d'initiatives comme celle du centre de distribution de semences de variétés traditionnelles qu'il anime avec rigueur, passion et efficacité. Et encore moins à la valeur des savoirs traditionnels attachés à ces variétés. C'est probablement la déconcentration de la pratique de l'amélioration des plantes qui permettra de répondre au mieux aux grands enjeux de préservation des ressources du passé, d'exploitation des capacités de valorisation de la diversité génétique et d'adaptation des variétés cultivées à une multitude de conditions locales et d'usages différents.

JEAN-CHRISTOPHE GLASZMANN
Cirad

LE TRÉSOR DES VARIÉTÉS DE RIZ

Les paysans d'Asie du Sud savent distinguer des milliers de variétés de riz à partir de l'examen attentif de plus de cinquante caractéristiques. Certaines sont temporelles, telles la date de floraison ou encore la période de maturation ; d'autres, tout aussi importantes, sont physiques, telles la longueur, la taille et la couleur de la panicule (l'inflorescence portant les épillets) ; l'angle de la feuille paniculaire ; la longueur, l'épaisseur et la couleur de la tige ; la taille, la forme et la couleur des grains, la couleur des nœuds, etc. Ce savoir-faire, aussi menacé que les variétés elles-mêmes, permet aux paysans de choisir les bonnes variétés à employer dans des niches écologiques différentes, comme les terres arides pentues, les plaines inondables, ou celles qu'il convient d'utiliser à des fins nutritionnelles, culturelles ou médicales.



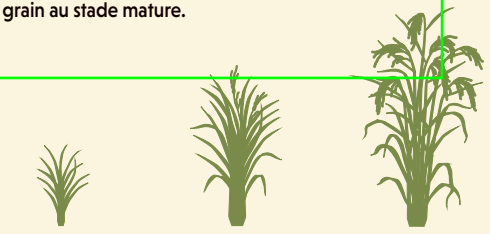


Les grains de riz varient dans la longueur de leurs barbes, la taille, la couleur, la forme et les arômes de leur endosperme, et bien d'autres caractéristiques. Dans certaines variétés rares, une même balle de riz contient deux ou trois grains. Les paysans traditionnels préfèrent souvent les variétés à barbes longues et pointues, car elles découragent la pâture par le bétail. Ils cultivent aussi certaines variétés particulièrement aromatiques, employées lors de certaines festivités.

Les variétés résistantes aux inondations tolèrent jusqu'à deux semaines de submersion ou allongent leurs tiges en fonction de la montée des eaux, ce qui maintient leurs panicules au sec. Des gènes spécifiques régissent ces propriétés, comme *Sub1* (submersion), *Snorkel 1* et *Snorkel 2* (élongation de la tige).

STADES DE DÉVELOPPEMENT

Les riziculteurs distinguent aussi les variétés à partir de caractéristiques n'apparaissant qu'à certaines étapes du cycle de vie des plantes. Ils observent par exemple la couleur et la pilosité de la feuille pendant le dernier stade du cycle végétatif ; le moment exact de formation de la panicule, l'angle de la feuille paniculaire pendant la reproduction ; ou encore l'angle de la panicule, la couleur de la barbe et divers détails du grain au stade mature.



Stade végétatif — Stade reproducteur — Maturité

© Rebecca Konte

cultures du sud et du sud-est de l'Asie depuis plusieurs décennies. Les variétés gour-nitai, jashua et shatia semblent résister au lépidoptère *Nymphula depunctalis*, cause de sévères défoliations. Enfin, les attaques des insectes foreurs de tiges sur les variétés khudi khasa, loha gorah, malabati, sada dhepa et sindur mukhi sont rares. Ces quelque vingt-cinq dernières années, toutes ces semences distribuées par Vrihi ont réduit les pertes de récoltes de milliers d'exploitations.

Aujourd'hui, la sélection de nouvelles variétés est axée sur l'augmentation du nombre de grains, mais les divers micronutriments que contiennent les riz indigènes sont absents des cultivars modernes. Nos recherches récentes ont identifié au moins 80 variétés populaires contenant plus de 20 milligrammes de fer par kilogramme de riz, voire entre 131 et 140 pour le harin kajli, le dudhé bolta et le jhuli. Des teneurs à comparer aux 9,8 milligrammes de fer par kilogramme de la variété transgénique enrichie en fer IR68 144-2B-2-2-3, développée à grands frais par l'Irri...

DU RIZ MÉDICINAL

Certaines variétés indigènes pourraient aussi être utiles en médecine. Le riz nyavara du Kerala est recommandé pour aider à traiter des troubles neurologiques. Des travaux ont aussi montré qu'il est doté de propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et qu'il aide à lutter contre l'athérosclérose. Un autre riz médicinal, le garib-sal du Bengale-Occidental, est prescrit en médecine traditionnelle dans le traitement des infections gastroentériques. De fait, nous avons documenté la bioaccumulation d'argent dans les grains de garib-sal (15 parties par million). Or, selon des travaux récents, les nanoparticules d'argent détruisent des biofilms de bactéries du genre *Salmonella* et *Pseudomonas*, sources de pathologies intestinales humaines. Ce riz pourrait donc aider à combattre de telles bactéries. Une pléthore de variétés médicinales de riz attendent d'être testées en laboratoire.

Une autre valeur chère aux riziculteurs indigènes est la beauté du riz. Ils cultivent certaines variétés indigènes uniquement pour leurs couleurs ou leurs motifs : sillons dorés, bruns, violets et noirs sur les balles jaunes du riz, apex violets, barbes noires... Dans toutes les cultures fondées sur l'exploitation du riz, les variétés aromatiques sont associées aux cérémonies religieuses et aux festivals traditionnels. Lorsque ces types de riz disparaissent, de nombreuses préparations culinaires cessent d'être possibles et les cérémonies associées perdent une part de leur signification culturelle et symbolique. Les 195 variétés de riz aromatiques de Basudha ont déjà contribué à faire revivre de nombreuses traditions locales en voie de disparition.

CERTAINES VARIÉTÉS INDIGÈNES DE RIZ SERAIENT AUSSI UTILES EN MÉDECINE

BIBLIOGRAPHIE

D. DEB, Is the system of rice intensification (SRI) consonant with agroecology?, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, vol. 44(10), pp. 1338-1369, 2020.

P. CHITHRA *ET AL.*, Petroleum ether extract of Njavara rice (*Oryza sativa*) bran upregulates the JAK2-STAT3-mediated anti-inflammatory profile in macrophages and aortic endothelial cells promoting regression of atherosclerosis, *Biochem. Cell. Biol.*, vol. 95(6), pp. 652-662, 2017.

S. S. GUPTA *ET AL.*, Unusual accumulation of silver in the aleurone layer of an Indian rice (Oryza sativa) landrace and sustainable extraction of the metal, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol.5(9), pp. 8310-8315, 2017.

D. DEB *ET AL.*, Variable effects of biochar and P solubilizing microbes on crop productivity in different soil conditions, *Agroecol. Sust. Food*, vol. 40(2), pp. 145-168,2016.

La complexité des interactions écologiques a donné naissance à une autre série de variétés. Les petits riziculteurs du Bengale-Occidental et du Jharkhand préfèrent les variétés à barbes longues et fortes, qui découragent les bovins et les chèvres. Les riziculteurs optent aussi pour les variétés indigènes comportant des feuilles paniculaires dressées, car les oiseaux ne peuvent pas s'y percher.

UNE BIODIVERSITÉ SACRALISÉE

En fait, dans la tradition sud-asiatique, la biodiversité paraît si essentielle à l'agriculture qu'elle a été sacralisée dans des rites religieux. Certains parents sauvages du riz cultivé, comme le buno dhan (*Oryza rufipogon*) et l'uri dhan (*Hygroryza asiatica*), sont par exemple associés à des rites hindous locaux et conservés dans de nombreuses exploitations du Bengale-Occidental et de l'État voisin du Jharkhand. L'importance de ces bassins génétiques sauvages, sources de traits inhabituels pouvant être incorporés si nécessaire dans les cultivars existants, n'a jamais été aussi grande. La présence dans les rizières de certains arbres tels que le neem (*Azadirachta indica*), dont les feuilles constituent un pesticide naturel, et de prédateurs telle la chouette, est aussi considérée comme favorable.

En mai 2009, le cyclone Aila a frappé la côte des Sundarbans au Bengale-Occidental et au Bangladesh ; il a fait près de 350 morts et détruit les habitations de plus de un million de personnes ; une vague marine due à la tempête a inondé les champs, les polluant de sel, ce qui a mis la sécurité alimentaire de la région en danger. Apprenant cela, nous avons distribué à quelques riziculteurs des villages insulaires des Sundarbans une petite quantité de semences de variétés tolérant la salinité. Elles furent les seules à produire une quantité importante de grains dans les fermes salées pendant cette saison désastreuse. De même, en 1999, plusieurs variétés populaires telles que jabra, rani kajal et lakshmi dighal ont assuré la production de riz des riziculteurs du sud du Bengale après une crue soudaine de la rivière Hugli. Et en 2010, les variétés bhutmuri, kalo gorah, kelas et rangi ont sauvé de nombreux riziculteurs indigènes dans le district de Puruliya (Bengale-Occidental) lorsque l'arrivée tardive de la mousson a provoqué une grave sécheresse.

Ces catastrophes et leurs solutions prouvent que le maintien d'une riziculture durable dépend de la restauration des pratiques agricoles traditionnelles. Convaincus par les rendements des variétés indigènes, plus de 2000 riziculteurs dans plusieurs États ont déjà adopté plusieurs variétés traditionnelles de riz et abandonné la culture de celles dites «à haut rendement». ■

Dans cette usine de Nouadhibou, le port principal de Mauritanie, ces sardinelles vont être réduites en farine de poisson, laquelle sera ensuite exportée pour nourrir les poissons d'élevage. De fait, transformée ou non, la majeure partie du poisson pêché dans de nombreux pays tropicaux en développement profite à des pays éloignés.

L'ESSENTIEL

- Dans les pays tropicaux en développement, le poisson constitue la principale source de micronutriments pour la majorité des gens.
- Dans certains de ces pays, les prises de pêche seraient suffisantes pour répondre aux besoins des populations... si elles n'étaient pas exportées !
- Privés de ces ressources, les habitants de ces pays souffrent de carences alimentaires sévères.

L'AUTEUR

DANIEL PAULY
est professeur à l'Institut pour les océans et la pêche de l'université de la Colombie-Britannique, à Vancouver, au Canada

Empêcher le poisson de s'envoler

L'essentiel du poisson pêché dans les pays en voie de développement est expédié à l'étranger, alors qu'en consommer une fraction sur place suffirait à réduire les carences nutritionnelles dont souffrent les populations locales. Il est temps de réagir !

© Reuters/Sylvain Cherkaoui – Stock.adobe.com

Manger du poisson est bon pour la santé, car il est une source de micronutriments, qui aident à prévenir les maladies liées aux carences alimentaires, l'une des principales causes de mortalité infantile dans le monde. Dans plusieurs pays touchés par ce problème, la pêche est une activité importante, mais une inconnue demeure : la consommation de poisson capturé localement permettrait-elle de réduire l'incidence de ces maladies ? Il manquait des données pertinentes pour répondre à cette question. Elles ont été fournies par l'équipe de Christina Hicks, du centre pour l'environnement de l'université de Lancaster, au Royaume-Uni, et du centre pour l'étude des récifs coralliens de l'université James-Cook, en Australie, en évaluant le contenu nutritionnel de 367 espèces de poissons pêchés dans 43 pays. Dans chacun, les chercheurs ont examiné le lien entre les nutriments disponibles dans les prises de pêche et la prévalence des maladies associées à des carences nutritionnelles dans les communautés vivant à moins de 100 kilomètres de la côte.

SIX MICRONUTRIMENTS

Christina Hicks et ses collègues se sont concentrés sur six micronutriments essentiels : le calcium, le fer, le zinc, le sélénium, les oméga-3 et la vitamine A. Ils ont également étudié la teneur en protéines. À l'aide de données déjà disponibles, les chercheurs ont créé un modèle permettant de prédire la concentration de chacun de ces nutriments dans différentes espèces de poissons. En exploitant des bases de données sur les prises de pêche réalisées entre 2010 et 2014, ils ont rassemblé des informations sur la quantité et le type de poissons pêchés dans la zone économique exclusive (ZEE) de chaque pays – les eaux côtières sur lesquelles il détient des droits de pêche souverains. Les chercheurs ont alors utilisé leur modèle pour estimer les nutriments disponibles à partir de ces prises et ainsi déterminer la répartition mondiale des nutriments issus de la pêche. Les poissons tropicaux offrent par exemple des concentrations plus élevées en calcium, en fer et en zinc que ceux des autres régions du globe.

Dans les pays tropicaux en développement, le poisson n'est pas, en général, un simple complément sain à un éventail déjà riche de produits alimentaires. Au contraire, pour des millions de gens vivant dans ces régions, il apporte les micronutriments et protéines absents d'une alimentation qui, sans lui, serait déséquilibrée. Il en constitue même la principale source pour la majorité d'entre eux. Les protéines provenant de la pêche complètent le contenu nutritionnel des régimes alimentaires typiques de ces pays, où les calories proviennent principalement d'aliments tels que le maïs ou le riz.

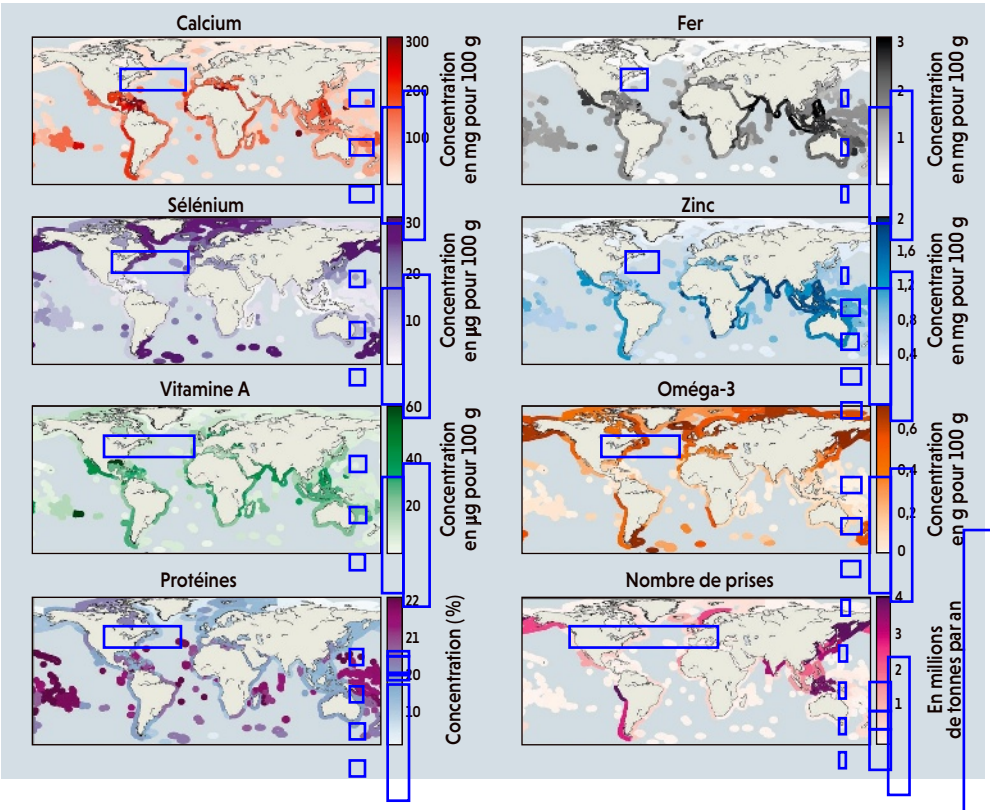
DES PRISES SUFFISANTES

Les données de Christina Hicks et de ses collègues montrent que dans certains de ces pays, les prises de la pêche devraient être suffisantes pour répondre aux besoins en micronutriments des populations. Par exemple, plus de 75 % de la population namibienne est menacée de carence en calcium, alors même que sont pêchés au large de ce pays suffisamment de poissons pour remédier à cette situation. Parfois même, conserver pour la consommation locale ne serait-ce qu'une fraction des quantités totales de poisson pêchées aurait un impact

CONSERVER LOCALEMENT UNE FRACTION DU POISSON PÊCHÉ AURAIT UN FORT IMPACT SUR LA SANTÉ PUBLIQUE

En Mauritanie, la pêche artisanale peine à nourrir les populations.

© Shutterstock.com/Attila JANDI



Dans la zone économique exclusive de chaque pays côtier, Christina Hicks et ses collègues ont évalué les concentrations en divers nutriments et en protéines dans les poissons locaux, et les ont mises en regard des prises globales de pêche.

considérable sur la santé publique. C'est particulièrement vrai pour les enfants de moins de 5 ans, à un stade crucial de leur développement, où les carences en micronutriments ont de graves conséquences. Pour 22 des 43 pays étudiés dans ces travaux, moins de 20% des quantités de poissons pêchés fourniraient assez de micronutriments essentiels pour répondre aux besoins de tous les enfants de moins de 5 ans.

Non seulement les pénuries de micronutriments nuisent à la santé publique, mais ce problème se répercute aussi sur le PIB. Il serait donc logique que les gouvernements des pays en développement situés sous les Tropiques – ainsi que les organisations internationales d'aide au développement telles que les Nations unies – fassent tout leur possible pour encourager la consommation locale du poisson pêché dans les zones économiques exclusives de ces pays. Et pourtant, la majeure partie des politiques de développement économique, y compris celles de ces pays eux-mêmes, visent à promouvoir les exportations de poisson pour répondre à la demande insatiable des pays occidentaux et d'Asie orientale.

La surpêche a d'abord frappé les eaux bordant les pays développés avant de s'étendre aux autres pays. Par exemple, les prises des pêcheries de l'Atlantique Nord ont culminé en 1975, alors que la pêche mondiale a atteint un sommet en 1996. Les interdictions et les quotas imposés aux régions surexploitées ont poussé les pays concernés à se fournir en poisson ailleurs. De nos jours, une grande partie des produits halieutiques des régions en développement sont soit pris par les pêcheurs locaux et exportés, soit pêchés par des flottes étrangères qui, en payant un droit symbolique pour accéder aux zones économiques exclusives des pays en développement, fournissent directement leur propre marché. De telles actions contribuent à la pénurie de micronutriments dans de nombreux pays en développement.

PÉNURIE DE SARDINELLES

Les pays de la côte nord-ouest de l'Afrique sont peut-être les plus touchés. La pêche qu'y pratiquent les flottes de l'Union européenne, de la Russie et de l'Asie de l'Est – et les exportations massives de poisson vers l'Union européenne – y a entraîné une pénurie de poissons locaux et l'augmentation de leur prix, ce qui a rendu le poisson de plus en plus inaccessible aux consommateurs locaux.

Au Sénégal, l'un des pays que Christina Hicks et ses collègues ont étudiés, la sardinelle, riche en micronutriments, est un aliment de base depuis des siècles. Un film documentaire de 2016 intitulé *An Ocean Mystery: The Missing Catch* montre comment des femmes sénégalaises fument les sardinelles (des poissons du genre *Sardinella* de la même famille des clupéidés que les sardines *Sardina pilchardus*), les sèchent et les transforment à la main, avant que ces poissons soient transportés par camion vers l'intérieur du pays, où ils sont la source >

Ce texte est une traduction de l'article «How the global fish market contributes to human micronutrient deficiencies», publié sur *Nature.com* le 25 septembre 2019.

Adapté avec la permission de Springer Nature: Nature, C. C. Hicks et al., vol. 574, pp. 95-98, © 2019

LES POISSONS MANQUENT D'AIR

À l'heure où la surexploitation des ressources halieutiques menace la survie des stocks de poissons, on doit s'intéresser aux mécanismes de renouvellement des stocks. En d'autres termes, de quels facteurs dépendent la croissance et la reproduction des poissons. On a longtemps cru que la disponibilité des proies était le paramètre essentiel. Ce n'est pas le cas. Selon Daniel Pauly, il s'agirait plutôt de la limitation en oxygène au niveau des branchies (*gill* en anglais), une idée, débattue, qu'il développe dans la *gill oxygen limitation theory* (Golt). Le principe central est que les branchies, ces organes d'échange entre l'eau et les fluides physiologiques, comme le sang, circulant à l'intérieur des poissons, sont des surfaces, c'est-à-dire à deux dimensions. Or elles alimentent en oxygène des volumes, le corps des poissons. Ainsi, à mesure que ces derniers grossissent le rapport entre surface des branchies et volume de l'organisme diminue jusqu'à atteindre une limite. Cette hypothèse est fondée sur les travaux du biologiste autrichien Ludwig von Bertalanffy au début du XXe siècle, qui a élaboré des modèles de croissance. Au final, une question de géométrie, et non une quantité de nourriture, impose une taille maximale aux poissons.

Le problème est qu'avec le réchauffement climatique, l'oxygène se dissout moins dans l'eau des océans. L'augmentation des températures nuirait donc à la croissance des poissons, et restreindrait ce que l'on peut espérer dans le recouvrement des stocks de poissons. C'est d'autant plus inquiétant que dans des eaux plus chaudes, le métabolisme des poissons, animaux à sang froid, augmente et requiert alors plus d'oxygène, ce qui limite encore plus leur développement. Selon Daniel Pauly, de telles conditions anoxiques favorisent également une maturité sexuelle plus précoce. En un sens, les poissons auraient une vie en accéléré qui s'arrêterait alors qu'ils n'ont pas atteint la taille qu'on leur connaît aujourd'hui !

L'une des critiques adressées à la GOLT est qu'elle reste qualitative et permet peu de prédictions quantitatives. Pour justement y répondre, Daniel Pauly en appelle à des études plus poussées.

LOÏC MANGIN

Les branchies, élément clé dans la taille maximale d'un poisson.

> principale abordable de micronutriments et de protéines animales. Le chef des travailleurs interviewé dans ce film explique que ce serait une catastrophe si l'approvisionnement en sardinelles était interrompu.

SOUS L'EMPRISE CHINOISE

Depuis, cette catastrophe redoutée a commencé à se produire. À la grande consternation des populations locales, plus de quarante usines industrielles de transformation de poisson ont été construites, principalement par des entreprises chinoises, le long de la côte du Sénégal et dans les pays voisins. Ces usines transforment la sardinelle et d'autres petits poissons en farine de poisson, un produit pour l'alimentation animale. De nombreuses pêcheries, qui fournissaient traditionnellement les marchés régionaux en sardinelles destinées à la consommation locale, approvisionnent désormais les usines de farine de poisson. Celles-ci exportent leurs produits principalement vers la Chine, le plus grand importateur mondial de farine de poisson, où elle sert à nourrir les poissons d'élevage.

Les consommateurs avisés font souvent attention à manger du poisson « pêché de façon durable ». Ce qualificatif un peu flou recouvre l'idée que ces poissons ont souffert le moins possible et que leurs stocks sont gérés de façon à assurer le maintien des populations. Si ces poissons proviennent d'élevages piscicoles, comme c'est le cas pour la plupart des saumons commercialisés, on considère aussi que c'est une bonne chose, car on pense en général que l'aquaculture réduit la pression sur les populations sauvages. Toutefois, l'exploitation de la sardinelle pour la fabrication de farine de poisson ne réduit pas la pression sur les poissons sauvages. En outre, elle prive les populations des pays en développement de poissons locaux auparavant abordables, et ce pour favoriser la production de poissons d'élevage coûteux, principalement consommés dans les pays riches.

Lorsque nous réfléchissons au poisson que nous devrions manger, puisque le poisson est bon pour nous, il est temps que nous définissions ce que recouvre ce « nous ». Le travail de Christina Hicks et de ses collègues montre une voie possible pour prévenir les maladies dues aux carences alimentaires : mettre en regard les problèmes de disponibilité du poisson. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. PAULY, The gill-oxygen limitation theory (GOLT) and its critics, *Science Advances*, vol. 7(2), art. eabc6050, 2021.

C. C. HICKS *ET AL.*, Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies, *Nature*, vol. 574, pp. 95-98, 3 octobre 2019.

D. GRÉMILLET, *Daniel Pauly : un océan de combats*, Wild project, 2019.

D. PAULY ET D. ZELLER, Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining, *Nat. Commun.*, vol. 7, article 10244, 2016.

© Shutterstock.com/Daniel Petrescu

POUR LA SCIENCE
Édition française de Scientific American

HORS-SÉRIE

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT !

N° 110 (fév. 2[illegible])
réf. DO110

N° 109 (nov. 20)
réf. DO109

N° 108 (sept. 20)
réf. DO108

N° 107 (mai 20)
réf. DO107

N° 106 (févr. 20)
réf. DO106

N° 105 (nov. 19)
réf. DO105

N° 104 (juil. 19)
réf. DO104

N° 103 (avr. 19)
réf. DO103

N° 102 (fév. 19)
réf. DO102

N° 101 (nov. 18)
réf. DO101

N° 100 (août 18)
réf. DO100

N° 99 (mai 18)
réf. DO099

RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR **BOUTIQUE.GROUPEPOURLASCIENCE.FR**

À renvoyer accompagné de votre règlement à :
Service abonnement Pour la Science – 56 rue du Rocher – 75008 Paris – email : serviceclients@groupepourlascience.fr

☑ **OUI,** je commande des numéros de **Pour la Science Hors-série**, au tarif unitaire de 10,40 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1re réf.	01	x 10,40 € =	10,40 €
2e réf.		x 10,40 € =	€
3e réf.		x 10,40 € =	€
4e réf.		x 10,40 € =	€
5e réf.		x 10,40 € =	€
6e réf.		x 10,40 € =	€
TOTAL À RÉGLER			€

Offre valable jusqu'au 31/12/21 en France Métropolitaine.
Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme
Nom : .....
Prénom : .....
Adresse : .....
.....
Code postal ..... Ville : .....
Téléphone .....
J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ **Par chèque** à l'ordre de *Pour la Science* en nous retournant ce bulletin complété

Pour retrouver tous nos numéros et effectuer un paiement par carte bancaire, rendez-vous sur boutique.groupepourlascience.fr

Les informations que nous collectons dans ce bon de commande nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour La Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : https://rebrand.ly/charte-donnees-pls Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

L'alimentation, la grande oubliée de l'Europe ?

La future politique agricole commune (la PAC 2021-2027), actuellement en débat, se veut plus verte et respectueuse de l'environnement. Pourtant, l'alimentation, principale finalité de l'agriculture, n'y est pas considérée comme elle le mériterait. Peut-on la replacer au cœur du dispositif ?

L'ESSENTIEL

- La future politique agricole commune (PAC) pour les années 2021-2027 est en discussion aujourd'hui.
- Devant s'inscrire dans le Pacte vert voulu par la présidente de la Commission européenne, Ursula von der Leyen, elle doit tenir compte des enjeux environnementaux, climatiques, économiques et sociaux.
- Par le biais de diverses stratégies la PAC pose des objectifs ambitieux pour réussir la transition agroécologique et climatique de l'agriculture européenne pour qu'elle devienne plus durable et plus équitable.
- Cependant, l'alimentation n'est pas suffisamment au centre des débats alors qu'elle est pourtant la finalité principale de l'agriculture. Plusieurs pistes s'offrent aux parlementaires pour redresser la barre.

L'AUTEUR

GILLES BAZIN
est professeur émérite de politique agricole à Agro-ParisTech et animateur du groupe PAC de l'Académie d'agriculture.

Le 25 mars 1957, dans le palais des Conservateurs, à Rome, salle des Horaces et des Curiaces. Sur les murs, les fresques illustrent le combat qui mit fin au conflit sanglant opposant deux clans rivaux au VII[e] siècle avant notre ère et consacra la future capitale italienne. En un mot, sous les pinceaux du cavalier d'Arpin, la paix succède à la guerre. Tout un symbole pour les représentants des six États membres (Allemagne de l'Ouest, Belgique, France, Italie, Luxembourg et Pays-Bas) de la Communauté européenne du charbon et de l'acier (Ceca) réunis pour signer le traité de Rome et, par là même, créer la Communauté économique européenne (CEE).

Prônant « une union sans cesse plus étroite entre les peuples européens » et « la nécessité de sauvegarder la paix et la liberté », le traité comportait un volet important dédié à l'agriculture en ce qu'il posait les bases d'une politique fondatrice de l'Europe, la politique >

© Shutterstock.com/Labellepatine

ON COMPTE AUJOURD'HUI QUATRE FOIS MOINS D'AGRICULTEURS EN FRANCE QU'EN 1960

> agricole commune (PAC). Ses objectifs visaient à répondre aux enjeux géostratégiques majeurs de la sécurité alimentaire du continent: tendre vers l'autosuffisance, favoriser la solidarité et moderniser le secteur agricole.

Elle a depuis plus de soixante ans beaucoup évolué, et elle s'apprête à le faire encore, puisque le projet de la PAC pour les années 2021 à 2027 est actuellement en discussion. Elle doit notamment s'inscrire dans le Green Deal, ou Pacte vert, défendu par la présidente de la Commission européenne Ursula von der Leyen et devant permettre à l'Europe d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Il s'agit donc pour l'agriculture du continent de réussir la transition agroécologique et climatique afin de devenir plus durable et plus équitable. Avec quelles stratégies et quels moyens? Dans quelle mesure est-ce une évolution ou une révolution? Quelle place tient l'alimentation dans ce changement de paradigme?

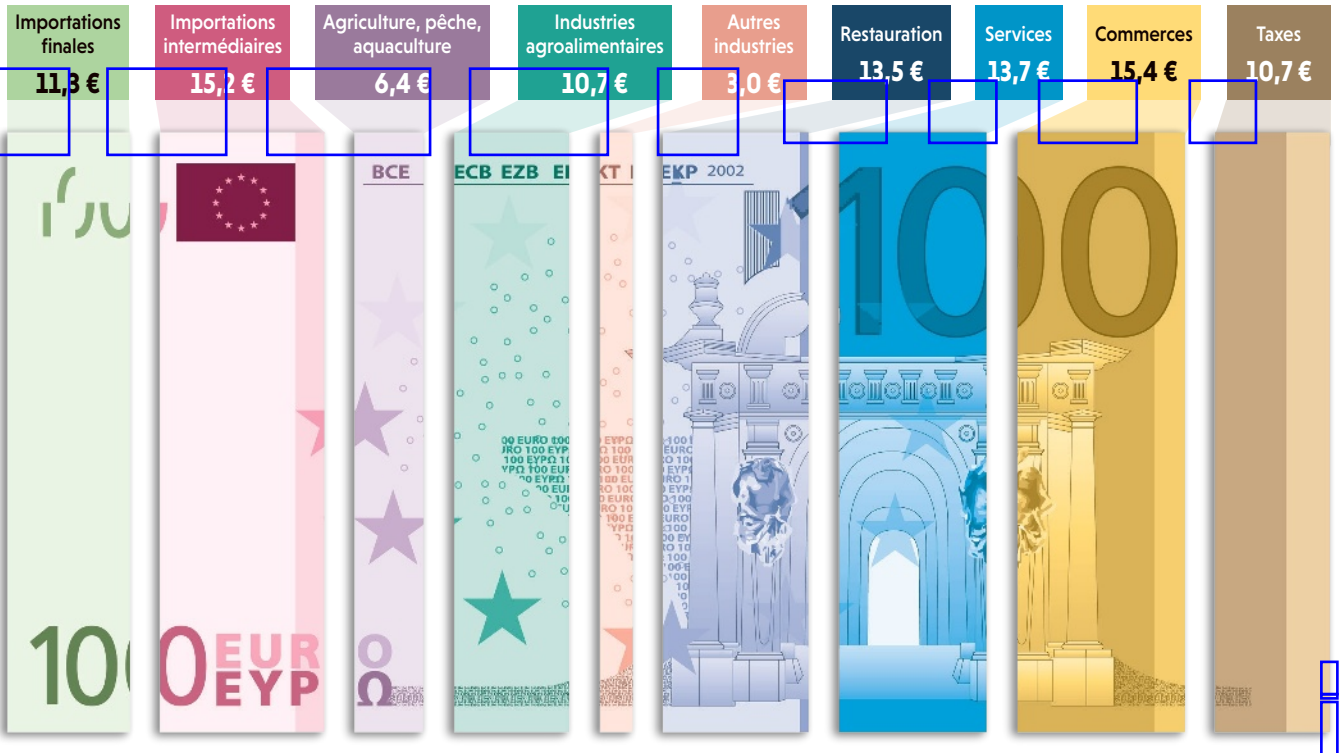
Dans la première mouture de la PAC, les objectifs consistent à « accroître la productivité de l'agriculture en développant le progrès technique, en assurant un emploi optimal des facteurs de production, notamment de la main-d'œuvre, assurer ainsi un niveau de vie équitable à la population agricole, stabiliser les marchés, garantir la sécurité des approvisionnements, assurer des prix raisonnables dans les livraisons aux consommateurs… ».

Leur mise en œuvre repose sur trois principes fondateurs: l'unicité des marchés agricoles, la préférence communautaire et la solidarité financière. La première se traduit par une libre circulation des biens entre les États membres et une gestion des marchés agricoles avec des instruments d'intervention communs (prix minimums pour certains produits, stockage, subventions à l'exportation…). La seconde résulte de la protection du marché agricole intérieur par des droits de douane très élevés sur la majorité des produits importés, à l'exception du soja conformément à une négociation avec les États-Unis. Enfin, la solidarité financière passe par un financement de la PAC assuré par un Fonds européen d'orientation et de garantie agricole. La France en a toujours été la première bénéficiaire avec 17% des crédits alloués en 2019.

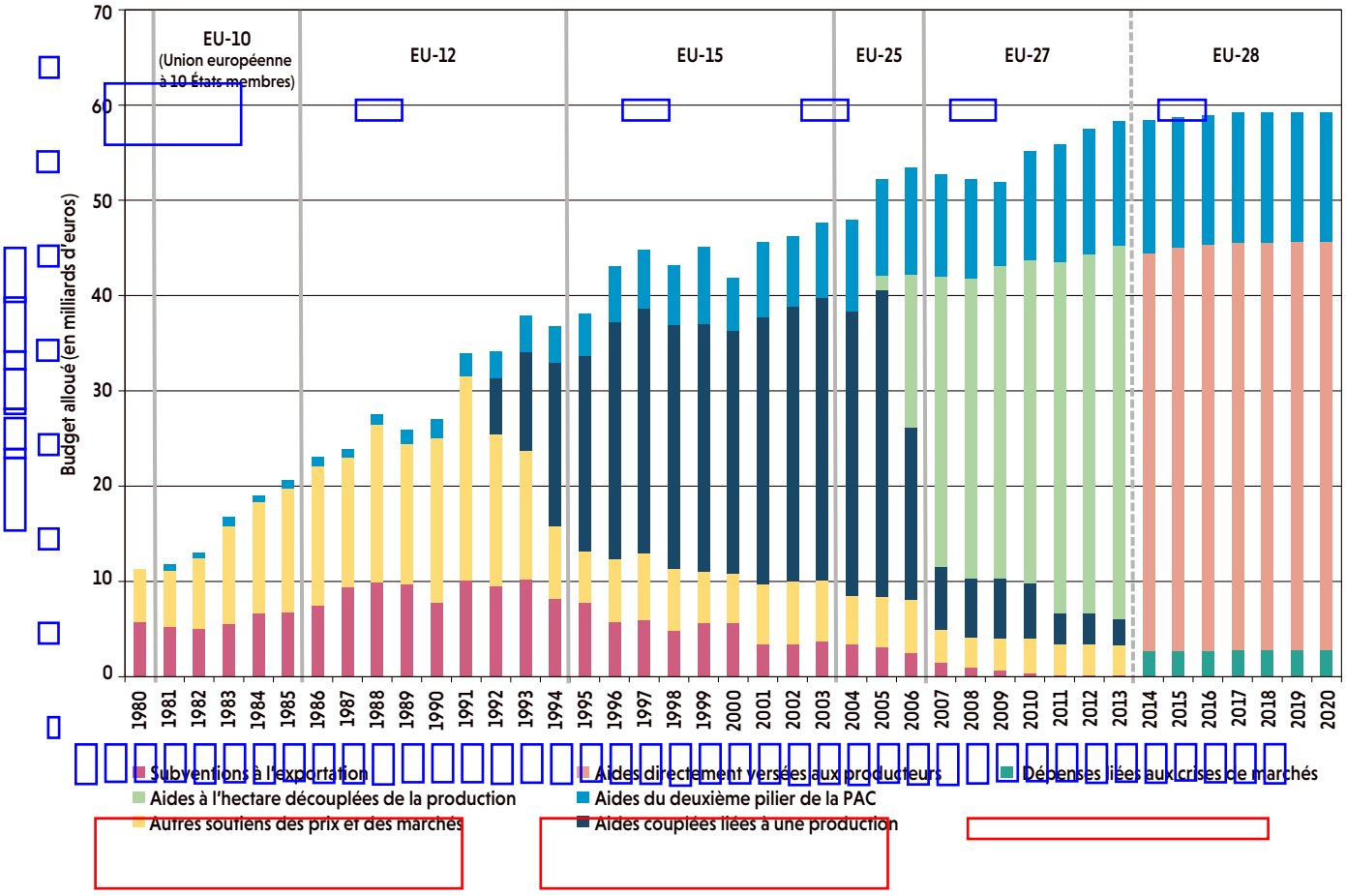
DE LA PROTECTION À LA DÉRÉGULATION

Protégés des fluctuations de prix des marchés mondiaux, au moins pour les grandes productions, les agriculteurs européens soutenus par la recherche, augmentent la productivité du travail à un rythme de 4 à 5% par an en accroissant les rendements par hectare et le nombre d'hectares cultivés par travailleur. On assiste alors à une gigantesque substitution du travail par le capital, *via* une motorisation

Sur 100 euros dépensés pour l'alimentation, seuls 6,40 vont à l'agriculteur (ou au pêcheur).



© Eurostat et Insee



L'évolution des dépenses de la PAC de 1980 à 2020. Les aides, découplées non plafonnées et indépendantes du type de production, directement versées aux agriculteurs *(en vert foncé, à droite)* se taillent la part du lion.

intense des pratiques et un recours massif aux engrais et aux produits phytosanitaires. Le résultat ? Une réduction continue du nombre d'exploitations et d'actifs agricoles : on compte aujourd'hui quatre fois moins d'agriculteurs en France qu'en 1960.

La PAC, conçue pour réguler des marchés et faire face à des excédents conjoncturels, est débordée lorsque, au début des années 1980, la surproduction en céréales, en viande, en lait, devient structurelle. Les coûts de gestion s'envolent alors de 10 milliards en 1980 à 30 milliards d'euros en 1990 (*voir le graphique ci-dessus*), le passage de 10 à 12 membres de l'UE n'expliquant pas seul cette augmentation. La PAC est alors accusée, non sans raison, par certains pays extérieurs à l'UE de déstabiliser le commerce agricole international par la mise sur le marché des excédents subventionnés.

Dans cette situation, deux types de réformes sont possibles : gérer l'offre par des quotas de production ou baisser les prix garantis aux producteurs. La première sera choisie pour le lait de 1984 à 2015, la seconde pour les céréales et la viande bovine en 1992 avec des baisses respectives des prix de 45 % et 30 % compensées par des aides directes par hectare et par animal. C'est l'origine des aides directes perçues par les éleveurs et les céréaliers et qui restent leurs références historiques quasiment inchangées jusqu'à la réforme actuelle. Non plafonnées, ces aides s'élèvent en France à 340 euros par hectare en moyenne en 2019, mais peuvent aller du simple au double selon les types de productions et les régions.

En mars 1999, la PAC complète ses mécanismes de soutien des marchés et des prix agricoles, qui constituent son premier pilier, par un second dédié au développement rural. Il y est notamment question de la protection de l'environnement, d'une meilleure gestion des forêts, d'un accompagnement à l'installation des jeunes agriculteurs, de favoriser l'agriculture biologique… Ainsi, le versement des aides est depuis 2003 subordonné au respect de dix-neuf réglementations européennes concernant « les bonnes pratiques agricoles et environnementales ».

En 2003, nouvelle réforme. Elle se caractérise par le quasi-abandon des outils d'intervention et de régulation des marchés agricoles, entraînant la volatilité de plus en plus forte des prix agricoles européens. Les aides sont majoritairement découplées du type de production, c'est-à-dire qu'elles sont perçues sous forme de droit à paiement unique par hectare, quelle que soit la production, même en cas de gel des terres. Quelle est la philosophie de cette réforme ? La Commission souhaite « inciter les producteurs à s'adapter aux marchés », mais >

© DG Agriculture and Rural Development

La future PAC, en discussion au Parlement européen, suscite le mécontentement de nombreuses associations, jugeant qu'elle ne fait pas assez pour l'environnement.

> elle oublie l'importance variable des capitaux fixes mobilisés selon le type de production, ce qui limite les choix des agriculteurs et restreint par exemple les réorientations.

Sur un budget de la PAC avoisinant les 60 milliards d'euros en 2019, 37 milliards sont des aides directes (c'est le premier pilier), dont 32 milliards sont découplés et attribués chaque année aux mêmes agriculteurs quels que soient les prix du marché. Ainsi 20% des exploitations européennes, les plus grandes, captent 80% des aides directes et la question du plafonnement des soutiens reste taboue dans de nombreux Pays, ceux de l'est du continent en particulier. Le deuxième pilier, en faveur de l'environnement, mobilise quant à lui 15 milliards d'euros auxquels s'ajoutent les cofinancements nationaux.

UNE BIODIVERSITÉ MALMENÉE

La dernière réforme en 2013 instaure un «verdissement» des aides, mais sur des critères peu contraignants, comme le maintien de prairies permanentes ou la présence d'au moins trois cultures sur l'exploitation. En outre, les modalités d'attribution des aides restent liées au nombre d'hectares et sans plafonnement, ce qui favorise l'agrandissement au détriment de l'installation des jeunes. Aussi, sur le long terme, en favorisant l'intensification des systèmes de production, la PAC a eu un impact négatif sur l'environnement et particulièrement sur la biodiversité des écosystèmes agricoles. Le titre du rapport de la Cour des comptes européenne publié en juin 2020 est éloquent: «Biodiversité des terres agricoles: la contribution de la PAC n'a pas permis d'enrayer le déclin». La tendance peut-elle s'inverser? En d'autres termes, confrontée aux enjeux environnementaux, climatiques, économiques et sociaux, la future PAC 2021-2027 peut-elle être plus durable et plus équitable?

La Commission européenne présente ses propositions budgétaires et ses orientations pour cette future PAC en juin 2018, espérant finaliser la réforme avant les élections européennes de mai 2019 et la nomination d'une nouvelle Commission. Mais la proposition d'un financement revu à la baisse est jugée inacceptable par le Parlement européen, d'une part, et une vingtaine de pays, dont la France, par la voix des ministres de l'Agriculture, d'autre part, qui demandent le maintien du budget précédent. Et l'obtiennent en juin 2020 avec 387 milliards d'euros pour sept années (291 pour le premier pilier et 96 pour le second en intégrant les 7,5 milliards d'euros du plan de relance européen destinés au développement rural). Les négociations toujours

© Shutterstock.com/Alexandros Michailidis

en cours prévoient d'appliquer la nouvelle PAC en 2023.

Les objectifs de la Commission sont dans la continuité des réformes précédentes : assurer un revenu équitable aux agriculteurs, accroître la compétitivité, rééquilibrer les pouvoirs dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire, agir contre le changement climatique, protéger l'environnement, préserver les paysages et la biodiversité, soutenir le renouvellement des générations, dynamiser les zones rurales, garantir la qualité des denrées alimentaires et la santé.

PLUS DE POUVOIR AUX ÉTATS

Le vrai changement est ailleurs : les modalités proposées par la Commission se caractérisent par une subsidiarité accrue dans la définition et l'application de la PAC par les États membres. Par subsidiarité, on entend la recherche du niveau le plus pertinent et le plus proche des citoyens. En d'autres termes, les États membres auront plus de pouvoir quand il s'agira de dessiner les contours que prendra la PAC dans leur pays.

Concrètement, chaque État devra réaliser un diagnostic et élaborer un Plan stratégique national (PSN) définissant ses modalités d'intervention en matière agricole pour réaliser les objectifs communautaires qui ont été précisés dans le cadre du Pacte vert et de deux stratégies centrales, Farm to fork (« De la fourche à la fourchette ») et Biodiversité définies par la nouvelle Commission en mai 2020.

Le Pacte vert traduit les engagements européens de la Convention sur la diversité biologique (1992), de l'Accord de Paris (2015) et des Objectifs de développement durable des Nations unies (2015). Il s'agit d'une « nouvelle stratégie de croissance » avec l'objectif, nous l'avons vu, d'une économie européenne décarbonée à l'horizon 2050. Pour l'heure, elle consiste en des promesses, notamment celle d'aboutir à des « politiques profondément transformatrices » concernant l'approvisionnement en énergie propre, l'industrie, les grandes infrastructures et les transports, la construction, l'agriculture et l'alimentation.

Les stratégies Farm to fork et Biodiversité correspondent aux déclinaisons du Pacte vert appliquées à la PAC et au monde agricole et dont les objectifs devront être intégrés dans les PSN. L'un des volets prévoit, à l'horizon 2030, de réduire de 35 % les gaz à effet de serre d'origine agricole, principalement le méthane produit par les ruminants et les nitrites issus de la dégradation des engrais azotés, par rapport à l'année de référence 2015. Sont aussi annoncées les réductions de 50 % de l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse, de 20 % des engrais azotés et de 50 % des antibiotiques. Enfin, l'agriculture biologique devra occuper 25 % de la surface agricole européenne, contre 8 % actuellement. Tous les PSN destinés à atteindre ces objectifs seront validés par la Commission qui contrôlera leur application.

BIODIVERSITÉ DES TERRES AGRICOLES : LA CONTRIBUTION DE LA PAC N'A PAS PERMIS D'ENRAYER LE DÉCLIN

PRENDRE SES RESPONSABILITÉS

On le voit, les objectifs sont très ambitieux. Et d'autant plus lorsqu'on tient compte des tendances historiques à l'augmentation de l'usage des pesticides et des engrais de synthèse, à la dégradation des sols et des eaux, à la stabilisation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole depuis 2015. Selon des analystes, ces propositions de « désintensification agricole » risquent surtout de se traduire par une réduction des productions et une déstabilisation de certains marchés conduisant à une baisse des revenus des producteurs. Des soutiens spécifiques seront donc nécessaires pour assurer la transition agroécologique des systèmes de production.

Outre une subsidiarité plus prononcée, une seconde nouveauté concerne la mobilisation d'une partie du premier pilier de la PAC pour inciter les agriculteurs, sur la base du volontariat, à adopter des pratiques agricoles vertueuses. Des paiements pour services environnementaux rendus seront versés pour des actions contribuant à restaurer ou à maintenir des écosystèmes dont la société tire des avantages. On peut citer la conversion à l'agriculture biologique, le maintien de prairies permanentes, la gestion d'infrastructures écologiques comme les haies (*voir la figure page 101*), les mares et les fossés, la diversification des cultures, l'introduction de légumineuses, l'agroforesterie… Obligatoirement définies par chaque État, ces rétributions devront répondre à des règles strictes, et notamment rester annuelles. Cette courte échelle de temps rendra le dispositif moins efficace que les mesures agroenvironnementales fixées sur cinq années dans le cadre du second pilier.

Concernant ce dernier, la Commission propose de consacrer au moins 30 % de l'enveloppe à des mesures pour l'environnement et le climat qui devront être définies dans les PSN. Par ailleurs la dégressivité et le plafonnement des soutiens restent en débat.

La future PAC, en accroissant la subsidiarité et les marges de manœuvre des États membres dans l'encouragement à une agriculture plus vertueuse, renvoie à chacun la responsabilité de définir sa stratégie et ses moyens pour remplir les objectifs communautaires. Avec quelles conséquences ? Comme l'ont souligné nombre d'observateurs, cette PAC sera de moins en moins commune avec le risque d'accroître les distorsions de concurrence entre les >

> États, certains pouvant limiter volontairement les contraintes environnementales pesant sur leurs producteurs.

Toutefois, elle offre aussi l'occasion pour la France, entre autres pays, de définir et mettre en œuvre une véritable stratégie de transition agroécologique. En fin de compte, les propositions de la Commission se présentent comme un changement de stratégie politique qui vise à mettre les États membres face à leurs responsabilités environnementales et climatiques. S'en empareront-ils ? Et qu'en est-il de la dimension alimentaire, qui est la finalité principale de toute agriculture ?

LA FUTURE PAC AURAIT INTÉRÊT À FAVORISER L'INTÉGRATION DE L'ALIMENTATION DANS UNE POLITIQUE COMMUNE

LA GRANDE ABSENTE

Dès le début, les questions de la souveraineté alimentaire dans les grands produits (céréales, lait et viandes) ont été au cœur de la PAC. Au lendemain de la guerre, la dépendance alimentaire de l'Europe vis-à-vis des États-Unis entraînait *de facto* une dépendance politique dont certains leaders, le général de Gaulle notamment, souhaitaient s'affranchir. Cependant, victime de son succès, la PAC croule sous les stocks, nous l'avons vu, dès le début des années 1980. La plupart de ces excédents sont exportés à coups de subventions, mais une partie est donnée aux écoles ou à des organisations caritatives, ce qui constitue la première, et quasiment la seule, action européenne de soutien à l'alimentation. Les programmes européens « lait et fruits à l'école » existent toujours, mais sont faiblement dotés (250 millions d'euros par an).

Le constat s'impose, la PAC ne prévoit rien pour fournir une alimentation de qualité aux plus démunis, contrairement aux États-Unis par exemple où des programmes d'aide alimentaire existent depuis 1935 et ont été orientés vers la qualité nutritionnelle par l'administration Obama. Rien n'est non plus prévu par l'Europe pour éduquer à une alimentation plus saine ou pour lutter contre le gaspillage alimentaire. Ces questions pourtant cruciales sont souvent renvoyées lorsqu'elles sont traitées, à des programmes d'envergure nationale ou aux associations sociales et caritatives.

La PAC reste au final une politique de soutien à une production agricole de masse à bas prix dont l'un des buts est d'assurer la compétitivité des industries agroalimentaires et une alimentation bon marché à nos concitoyens. Elle s'intéresse peu au fonctionnement des chaînes de transformation et de distribution et a peu de pouvoir sur le partage de la valeur dans les filières, ce dont se plaignent constamment les syndicats paysans. Selon l'Observatoire des prix et des marges des produits alimentaires, sur 100 euros d'achats alimentaires des Français, seuls 6,40 revenaient au producteur agricole en 2017 (*voir la figure page 96*). Pourtant les consommateurs formulent de nouvelles revendications en termes d'origine des produits qu'ils consomment, de qualité nutritionnelle et de proximité qui ne sont que très partiellement prises en compte par la PAC.

BIBLIOGRAPHIE

B. HUBERT ET D. COUVET (DIR.), *La Transition agroécologique : quelles perspectives en France et ailleurs dans le monde ?*, Académie d'Agriculture de France, Presse des Mines, Paris, 2021.

C. DÉTANG-DESSENDRE ET H. GUYOMARD, *Quelle politique agricole commune demain ?* Quae, 2020.

H. GUYOMARD *ET AL.*, *Research for AGRI Committee - The Green Deal and the CAP : policy implications to adapt farming practices and to preserve the EU's natural resources*, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels, 2020.

C. CLAVEIROLE, *La Transition agroécologique : défis et enjeux*, Cese, Paris, 2016.

© Shutterstock.com/Photoagriculture

La PAC incitera les agriculteurs, sur la base du volontariat, à adopter des pratiques agricoles vertueuses, comme de planter des haies, en les rétribuant pour services environnementaux rendus.

Elle aurait une carte à jouer en promouvant et aidant les filières d'appellation d'origine ou d'agriculture biologique par exemple.

Les nombreuses initiatives des collectivités locales montrent néanmoins que l'intégration entre production agricole et consommation alimentaire se développe, mais elle le fait à l'échelle des territoires. En France, les Projets alimentaires territoriaux (PAT), imaginés en 2014, visent à relocaliser la production, la transformation et la commercialisation des produits alimentaires en créant des filières courtes et en cherchant à approvisionner localement la restauration collective. Les PAT suscitent beaucoup d'intérêt de la part des collectivités territoriales, car ils aident à sensibiliser les citoyens sur la qualité des produits, à faciliter l'accès à une alimentation saine, à créer du lien entre les différents acteurs, des producteurs aux consommateurs.

La philosophie de base de ces projets est de partager, entre plusieurs partenaires que sont les collectivités territoriales, les services de l'État, les agriculteurs, la société civile, les acteurs de l'économie sociale et solidaire ou encore les entreprises et coopératives, une vision commune de l'organisation alimentaire du territoire et de se mettre d'accord sur une série d'actions, en rassemblant les moyens financiers de chacun. Près de 200 PAT sont d'ores et déjà opérationnels en 2020 et autant en projet.

DU CONTINENT AU TERRITOIRE

L'appel à projets annuel du Programme national pour l'alimentation (PNA) permet d'accompagner les meilleures idées avec une subvention de l'ordre de 50000 euros. C'est un coup de pouce important au démarrage, mais insuffisant pour assurer l'animation globale et la mise en œuvre des actions dans la durée. La future PAC aurait là aussi un levier d'action en soutenant davantage la conception et l'animation de ces projets qui vont dans le sens de l'intégration de l'alimentation dans une politique commune.

Le Pacte vert représente une occasion majeure d'accélérer la transition agroécologique de l'agriculture européenne. Sa mise en œuvre devra se traduire par des évolutions substantielles non seulement de la PAC, mais également de la politique commerciale européenne. En fixant un cap commun, il favorisera une meilleure mise en cohérence des politiques européennes. En réhabilitant une protection aux frontières *via* un mécanisme de compensation carbone, la Commission pourrait tirer vers le haut les standards de production de nos concurrents tout en favorisant la relocalisation européenne de certaines productions qui, ailleurs, sont parfois synonymes de déforestation.

La lutte contre le dumping environnemental (et social qui l'accompagne) serait ainsi au cœur d'un nouveau multilatéralisme dont notre alimentation profiterait. Mais la PAC doit se renouveler en profondeur pour accompagner cette transition, car le cadre actuel de la négociation semble largement insuffisant. Selon quelles directions ? Dans un rapport remis en novembre 2020 aux parlementaires européens, plusieurs chercheurs de l'Inrae proposent quelques pistes. Partant du constat que les pratiques agricoles et alimentaires de l'Europe sont à ce jour incompatibles avec les ambitions du Pacte vert, ils préconisent de rendre la réalisation des objectifs juridiquement contraignante et surtout d'adjoindre à la PAC une politique alimentaire globale et cohérente. Seront-ils entendus ?

La légende raconte que, les documents officiels n'ayant pas été reçus à temps, les signataires du traité de Rome en 1957 ont apposé leur paraphe sur des pages… blanches. Les négociations de la future PAC étant en cours, tout n'est pas encore écrit. Il reste peut-être une chance d'améliorer la prise en compte par la PAC des enjeux climatiques, environnementaux et nutritionnels ! ■

Améliorer l'impact environnemental de son assiette

Connaître l'impact d'un plat sur la planète aiderait les consommateurs dans leurs choix. C'est l'objectif du projet Agribalyse : aider à l'évaluation environnementale de notre nourriture, du champ à l'assiette.

L'alimentation pèse pour beaucoup dans la dégradation du climat et de l'environnement. Mais on peut réduire son impact.

L'ESSENTIEL

- L'affichage environnemental des aliments, c'est-à-dire une information généralisée sur leur impact environnemental, est en cours d'expérimentation.
- À cet effet, le programme Agribalyse recense des données de référence, définies selon des analyses du cycle de vie (ACV) des produits, sur les impacts environnementaux des produits agricoles et alimentaires.
- Aujourd'hui, l'approche ACV est incontournable, mais encore incomplète. Des améliorations sont en cours afin, par exemple, de mieux prendre en compte l'impact de différents modes d'agriculture sur la biodiversité.
- Agriculteurs, industries, décideurs et consommateurs peuvent s'emparer de ces données pour rendre l'alimentation plus durable.

LES AUTEURS

VINCENT COLOMB est spécialiste en évaluation environnementale à l'Ademe.

HAYO VAN DER WERF est chercheur à l'INRAE

Dans un supermarché, face à la pléthore de produits proposés, que ce soit des pizzas, des yaourts, des biscuits… le consommateur peut orienter son choix selon des critères nutritionnels grâce à des indicateurs du type Nutri-Score. Cependant, il est bien dépourvu si d'aventure il se soucie aussi de la planète. Quel produit a le meilleur bilan carbone? Et, plus largement, lequel a la plus petite empreinte environnementale?

Pour répondre, l'article 15 de la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire a acté début 2021 une expérimentation afin d'identifier les méthodes les plus adaptées à un affichage environnemental harmonisé. En imaginant pour les produits alimentaires un logo environnemental comme il en existe déjà pour l'hôtellerie, l'ameublement, l'électronique… l'objectif serait d'aiguiller le choix des consommateurs, d'encourager les entreprises agricoles et agroalimentaires à diminuer l'empreinte de leurs produits et d'éclairer les politiques publiques.

L'enjeu est d'importance, car l'alimentation représente en France environ 25% des émissions de gaz à effet de serre d'un foyer. Au niveau mondial, l'agriculture occupe environ 40% des terres, utilise plus de 70% de l'eau douce, émet environ 30% des gaz à effet de serre totaux et contribue fortement à l'accumulation d'azote et de phosphore (on parle d'eutrophisation) dans les milieux naturels. Ce n'est pas tout. L'utilisation de pesticides a des conséquences néfastes sur les écosystèmes et la santé humaine. La demande pour de nouvelles terres agricoles est le principal moteur de la déforestation dans les pays du Sud. Et dans les pays du Nord, l'intensification de l'agriculture est la principale cause de l'effondrement de la biodiversité dans les campagnes, notamment en ce qui concerne les insectes et les oiseaux.

Dans un tel contexte, savoir à quoi s'en tenir pour le consommateur est crucial, afin qu'il puisse influer par ses décisions sur l'évolution des pratiques, par exemple favoriser la transition agroécologique (*voir Les vertus d'une agriculture fondée sur la biodiversité, par S. Rebulard, page 52*). Celle-ci vise en effet, par des changements profonds du système agricole et alimentaire, à nourrir l'humanité en préservant des conditions favorables à la vie humaine et la nature.

C'EST LE CYCLE DE LA VIE !

L'intégration de la dimension environnementale dans les filières alimentaires nécessite toutefois des indicateurs objectifs et fiables. Ils existent, et l'analyse du cycle de vie (ACV) est l'une des méthodes de référence pour quantifier une performance environnementale. Elle est utilisée dans tous les secteurs de l'économie et recommandée par nombre d'instances internationales.

L'ACV est fondée sur la quantification des flux physiques (ressources, énergie, polluants…) impliqués dans la production d'un bien, par exemple une baguette de pain, ou d'un service, comme un repas, de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie, >

© Shutterstock.com/smolaw

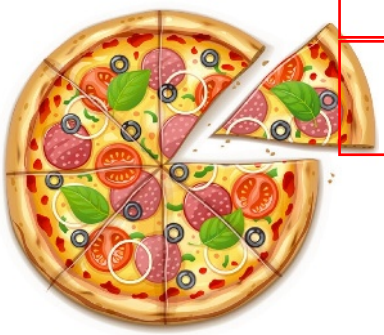
> c'est-à-dire du «berceau à la tombe». Dans le cas de l'agriculture, l'ensemble des consommations liées aux opérations agricoles, comme le travail du sol ou l'épandage d'engrais et de pesticides sont transformées en flux de CO_2, de nitrates, d'ammoniac... qui sont ensuite agrégés en indicateurs, par exemple «émissions de gaz à effet de serre», «épuisement des ressources en eau», «écotoxicité»... Le projet *Product environmental footprint* de la Commission européenne préconise un jeu de 16 indicateurs environnementaux de ce type.

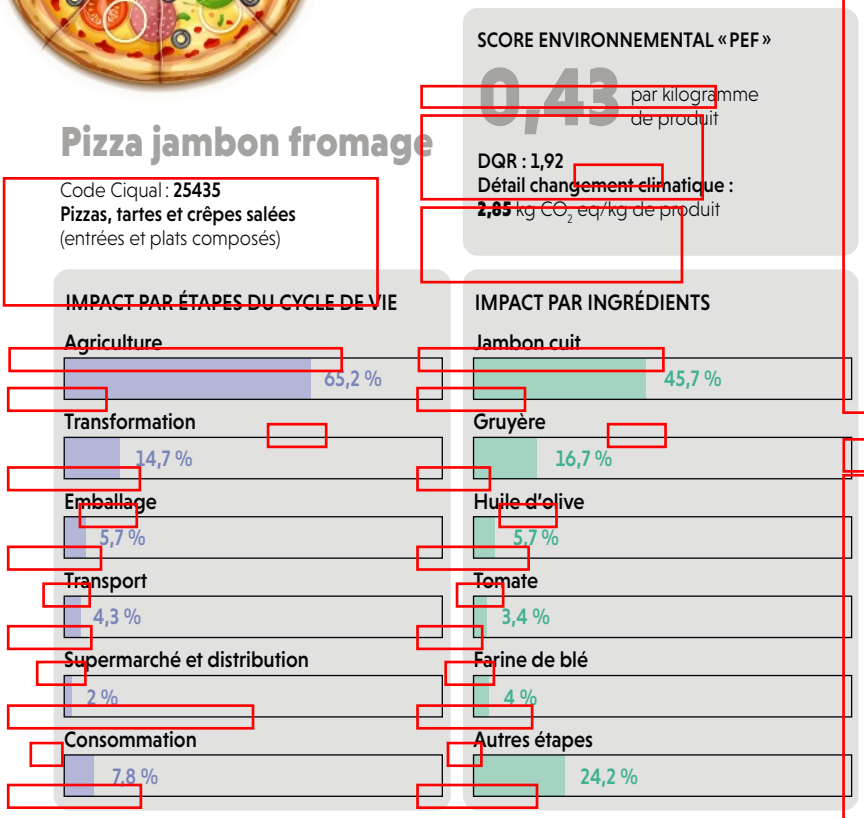
Pour un aliment fini, l'ACV intègre en outre les étapes de transport, les opérations de transformation agroalimentaire, le packaging ou encore l'énergie requise pour le stockage et la préparation. Un des intérêts majeurs de cette approche est qu'elle se prête à tout type de produit, quels que soient l'origine et le système de production.

En quantifiant ainsi les impacts environnementaux, l'ACV met en lumière d'éventuels transferts de pollution, quand une étape est améliorée au détriment d'une autre, ou déplacements d'impact, lorsque par exemple une économie en eau se traduit par plus d'émissions de gaz à effet de serre. Cependant, l'ACV a l'inconvénient de mobiliser un grand nombre d'informations parfois coûteuses et complexes à réunir. Pour y remédier, il a fallu constituer des bases de données.

Dans cette perspective, l'Ademe, l'Inrae et leurs partenaires ont lancé en 2009 le programme Agribalyse, qui propose des méthodologies et des données de référence sur les impacts environnementaux (définis selon les indicateurs ACV) des produits agricoles et alimentaires. Ce programme, soutenu par le ministère de la Transition écologique et solidaire, a mobilisé une centaine d'experts venus de tous horizons: instituts de recherche, instituts techniques agricoles et agroalimentaires, bureaux d'études. L'expérimentation en cours sur l'affichage environnemental encourage justement à s'appuyer sur les données d'Agribalyse.

Depuis 2020, la dernière version Agribalyse 3.0.1 offre des références environnementales pour environ 2500 catégories de produits alimentaires «prêts à consommer» standard, comme la baguette de pain ou la pizza jambon-fromage (*voir le graphique ci-contre*), typiques du marché français. Agribalyse fournit également des références pour environ 200 produits agricoles, par exemple le blé ou un poulet à la ferme. Les informations proposées sont organisées de façon similaire à celles, d'ordre nutritionnel, qu'offre le Centre d'information sur la qualité des aliments (Ciqual) de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). Du fait de leur construction harmonisée, les deux banques de données sont complémentaires et se prêtent à des analyses croisées entre nutrition et environnement.





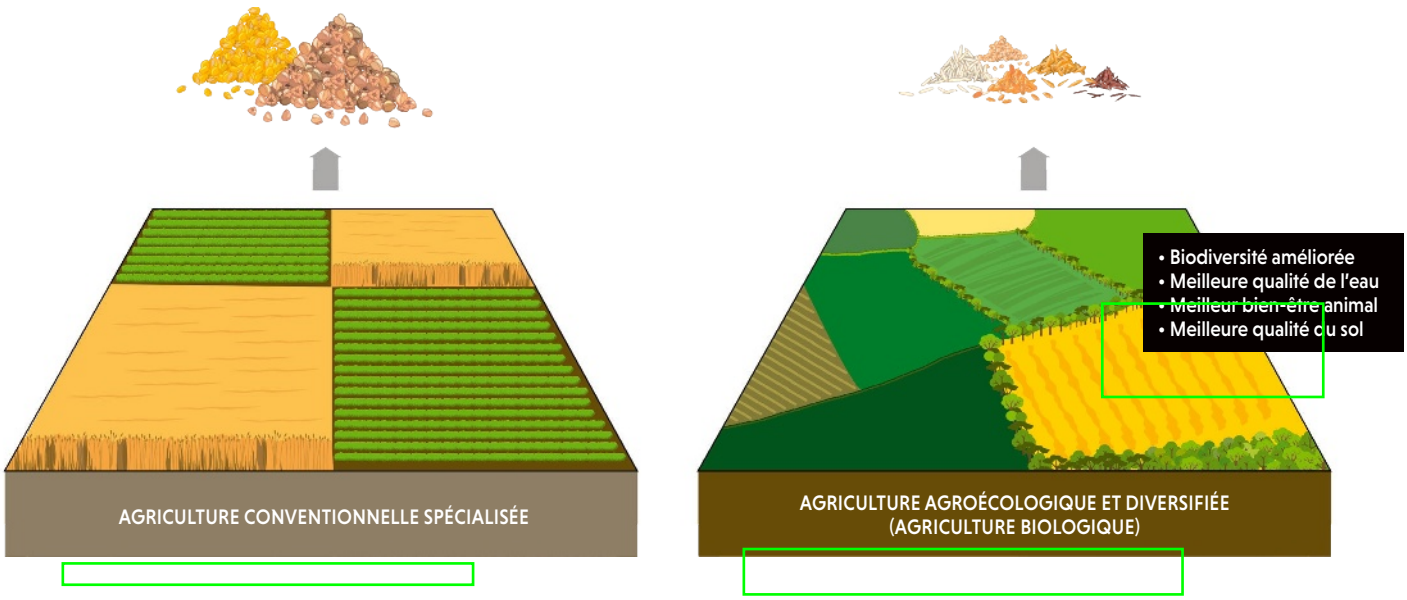
L'impact environnemental d'un plat, ici une pizza jambon-fromage, est calculé soit par étape du cycle de vie soit par ingrédient. Une moyenne pondérée de 16 indicateurs, calculée selon la méthodologie européenne «PEF» (*product environmental footprint*) fournit un score environnemental (sans unité). Le DQR (pour *data quality ratio*) indique le niveau de confiance que l'on peut avoir dans le score: plus ce DQR est proche de 1, plus la donnée est fiable; plus il se rapproche de 5, plus le score rend compte d'une incertitude importante.

UN PROBLÈME D'UNITÉS

L'ambition d'Agribalyse ne doit néanmoins pas cacher les quelques limites dont souffre l'ACV. Ainsi, pour se prêter à des comparaisons, les indicateurs d'impact sont exprimés par unité dite «fonctionnelle», c'est-à-dire qu'ils représentent une quantification de la fonction d'un produit. Or les fonctions des produits alimentaires étant diverses (fournir des calories, des protéines, des minéraux...), l'identification d'une unité fonctionnelle reflétant cette multitude pose souci. Pour contourner cet écueil, on se contente généralement d'exprimer les impacts par quantité de produits, par exemple l'émission de particules par kilogramme de pizza.

Mais cette façon de faire suppose, de façon implicite, une vision des systèmes agricoles ayant comme unique finalité la production quantitative. Cette vision focalisée se révèle

© Agribalyse; © Shutterstock.com/Aleksangel



L'agriculture conventionnelle a des rendements supérieurs à ceux de l'agriculture biologique, mais celle-ci offre bien d'autres avantages.

problématique quand on souhaite comparer des systèmes à des niveaux d'intensification différents. Ainsi, l'agriculture biologique a moins d'impacts environnementaux par unité de surface agricole occupée que son homologue conventionnelle, mais elle peut avoir autant ou plus d'impact par quantité de produit parce que ses rendements sont plus faibles. L'expression des impacts de produits agricoles non seulement par unité de produit, mais aussi par unité de surface occupée résout, au moins partiellement, le problème.

La prise en compte de la fonction première de l'agriculture (nourrir la population) est certes une nécessité dans les bilans environnementaux, mais ce faisant on ignore les autres services qu'elle offre (*voir le schéma ci-dessus*), notamment écosystémiques (séquestration du carbone, régulation de la qualité de l'eau) et sociaux (bien-être animal, emploi, héritage culturel). Dans ce contexte, l'intégration dans la base de la séquestration de carbone dans le sol, variable selon les pratiques agricoles, est une priorité.

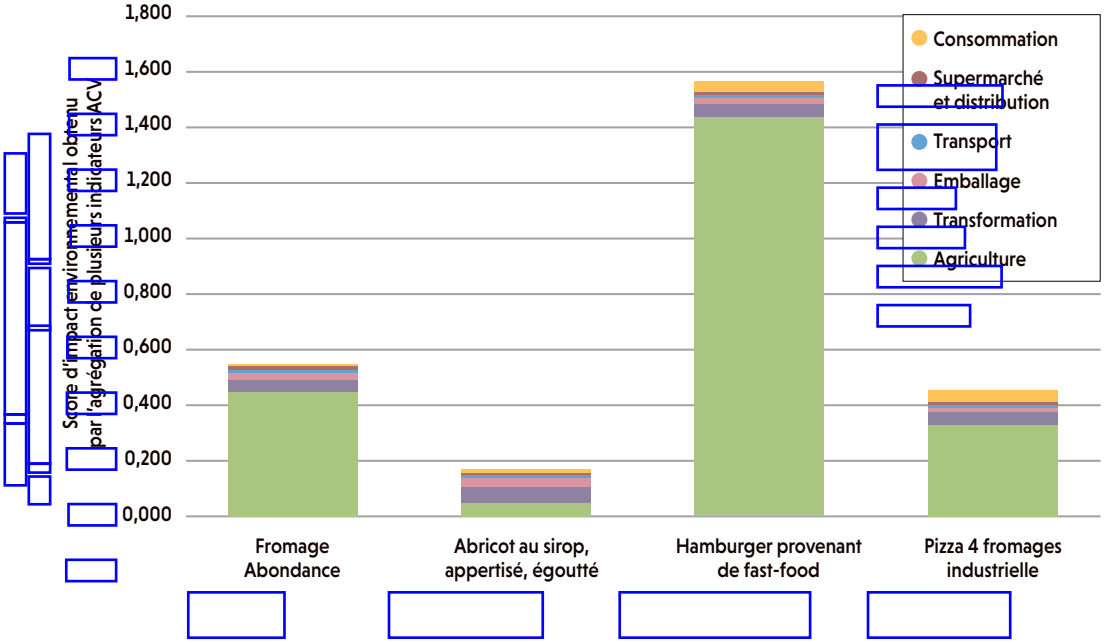
Une autre limite à dépasser de l'ACV tient aux impacts sur la biodiversité des paysages agricoles et ceux des pesticides. Pour ces derniers, un projet récent, financé par le programme Agribalyse, a produit de précieuses informations sur leurs effets sur les écosystèmes. Quant à la première, elle est également un des axes d'amélioration sur lesquels travaillent les partenaires d'Agribalyse et la communauté scientifique internationale. La perte de la biodiversité est causée par cinq forces: la transformation des habitats, le changement climatique, la pollution, la surexploitation et les espèces étrangères envahissantes. Mais si les trois premières sont prises en compte de façon plus ou moins complète dans l'ACV, les deux dernières ne le sont que peu voire pas du tout: c'est en train d'être corrigé. Au final, l'ensemble des progrès attendus permettra d'évaluer de façon plus complète les impacts environnementaux de l'agriculture.

À l'autre bout de la chaîne, la production de références «moyennes» pour les aliments nécessite de bien connaître leur composition. Cependant, pour certains, il est encore difficile d'accéder au détail des recettes, aux origines des ingrédients ainsi qu'à la performance énergétique des outils de transformation. Un meilleur accès aux informations de production est un des enjeux clés pour des évaluations environnementales plus précises, qui doivent atteindre l'échelle des références commerciales, par exemple tel produit de telle marque, plutôt que de rester cantonnées à des produits standard moyens.

GAGNER SUR TOUS LES TABLEAUX?

Nonobstant ces améliorations en cours, l'ACV même incomplète a déjà quelques résultats à son actif. Elle a par exemple déjà mis en lumière des compromis à trouver entre impacts environnementaux. En effet, il est souvent difficile de gagner sur «tous les tableaux», d'où l'importance de révéler et d'objectiver les enjeux pour mieux les prioriser. Ainsi, on relève une opposition entre la consommation d'eau et d'énergie dans les productions légumières. Les cultures en zones chaudes ont de bons bilans énergétiques et climatiques, même en incluant le transport, mais leur consommation d'eau est parfois problématique. C'est l'inverse pour les productions françaises ou plus septentrionales, en particulier en contre-saison. >

© Y. Strandqvist/Chalmers University de Technologie, Suède; © Shutterstock.com/Uladzimir zgurski; © Shutterstock.com/Hennadii H; © Shutterstock.com/Golden Sikorka; © Shutterstock.com/aurielaki; © Shutterstock.com/BigMouse



La comparaison de l'impact environnemental de quatre produits alimentaires selon les étapes du cycle de vie montre que l'agriculture est l'étape prépondérante pour améliorer les performances globales des systèmes. En outre, on constate que la viande *(dans le hamburger)* augmente notablement l'impact.

> Un grand nombre de travaux d'ACV ont comparé les impacts environnementaux de l'agriculture conventionnelle et biologique. À surface agricole égale, cette dernière a comme attendu un moindre impact environnemental, mais également une moindre production. Par conséquent, la souhaitable transition de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture biologique ou une autre forme d'agroécologie doit nécessairement s'accompagner d'un changement de notre alimentation. Sans cela, le besoin en terres agricoles augmentera, entraînant plus de déforestation dans les pays du Sud. On ne peut l'éviter qu'en réduisant notre consommation de produits d'origine animale et notamment la viande, une catégorie de produits à fort impact environnemental (*voir le schéma ci-dessus*). La réduction du gaspillage constitue un deuxième levier pour freiner la pression sur les terres agricoles. Rappelons qu'aujourd'hui, environ 30% des aliments produits sont perdus entre le champ et la bouche!

L'étude Afterres 2050 menée par les experts de l'entreprise associative Solagro, basée entre autres sur des ACV, décrit un scénario possible pour une transition agroécologique en France. Il se traduit dans notre assiette par deux fois moins de viande (la consommation passe de 184 à 94 grammes par jour, c'est-à-dire de deux portions quotidiennes à une seule) et de produits laitiers, moins de sucre et davantage de légumes, de céréales, de légumineuses et de fruits à coque. Il impose également une division par deux du gaspillage alimentaire. La moitié de l'agriculture française devrait passer en biologique et les infrastructures agroécologiques (haies, bandes enherbées, prairies fleuries) doubler. Conséquence, pour une capacité d'exportation de céréales maintenue, les émissions de gaz à effet de serre sont divisées par deux, celles d'ammoniac par trois, et l'utilisation de pesticides par quatre.

DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

Les connaissances environnementales développées dans le cadre d'Agribalyse ont vocation à alimenter la stratégie des entreprises et des filières afin de répondre aux enjeux de durabilité. Toutefois, l'appropriation des connaissances et des outils par les professionnels ne va pas de soi. La dimension environnementale s'ajoute aux enjeux historiques centrés sur la sécurité sanitaire, la qualité gustative et nutritionnelle et l'accessibilité. Aussi, pendant longtemps, l'écoconception dans le secteur alimentaire a-t-elle été centrée sur les emballages, alors que les ACV montrent que les enjeux principaux en termes de performance environnementale se situent davantage au niveau des pratiques agricoles, des matières premières et des recettes, ou encore des modes de transport plus que de la distance parcourue.

L'évolution des pratiques impose d'intégrer les connaissances dans les outils de gestion. L'enjeu est de passer du « bilan environnemental » établi par ACV à l'action, grâce à des outils structurants l'activité: évolution des cahiers des charges et labels, stratégie de responsabilité sociétale des entreprises (RSE), objectifs « climat » des entreprises, ou encore réglementation. Les projets requièrent la coopération des équipes chargées de la production, des achats, de la formulation, du packaging, du marketing et bien sûr de la direction.

Cependant, les entreprises ne sont pas toujours prêtes pour mener à bien ce type de projet, et la montée en compétences est parfois difficile pour les petites structures.

Verra-t-on bientôt sur les aliments des étiquettes indiquant leur impact sur l'environnement?

© Agribalyse 3.0, 2020

Depuis 2017, l'Ademe, à travers le programme GreenGo, accompagne des entreprises pilotes dans le déploiement de stratégies d'écoconception. Une trentaine bénéficie aujourd'hui du dispositif, qui a vocation à prendre de l'ampleur avec le plan de relance post-Covid.

Les projets consistent en un état des lieux des performances environnementales d'une ou plusieurs gammes de produits «phares» de l'entreprise, d'une identification des pistes de progrès et d'un plan de mise en œuvre, avec une quantification des gains potentiels associés. Dans les conditions technologiques et de marché actuelles, les gains atteignables sont généralement de l'ordre de 10 à 20% sur l'impact climat des produits, sans dégradation particulière des autres caractéristiques. Significatifs, ces progrès ne suffiront toutefois pas pour atteindre les objectifs environnementaux globaux attribués au secteur agricole et alimentaire français, avec notamment une division par deux des émissions de gaz à effet de serre ou de l'utilisation des pesticides par exemple. L'évolution des pratiques alimentaires des consommateurs que nous avons évoquée reste donc indispensable.

Différents leviers peuvent aider. Au-delà du rééquilibrage entre produits animaux et végétaux et de la réduction du gaspillage, des gains environnementaux sont possibles en privilégiant les produits de saison, plus locaux, moins emballés, favorisant les bonnes pratiques agricoles ou bien en limitant la pression sur les espèces fragiles, notamment marines. Les travaux d'ACV et d'Agribalyse sont un moyen de mettre en avant ces différents paramètres, de les hiérarchiser et ainsi de servir de base pour des systèmes d'information environnementale.

AU SUPERMARCHÉ

Qu'en est-il au niveau des consommateurs? L'expérimentation actuelle sur l'affichage environnemental doit conduire à qualifier tous les produits afin de sortir de la logique de «niche» des labels. L'opération a pour vocation de définir la méthode de calcul, le format, d'évaluer l'effet de ce type de dispositif en termes de changement de comportement, et de s'assurer des aspects opérationnels, comme les coûts de mise en œuvre. À ce stade, un consensus semble se dégager sur le fait que l'ACV doit servir de socle pour le dispositif, mais qu'au regard des limites méthodologiques actuelles, des indicateurs complémentaires doivent être mobilisés pour refléter les enjeux encore mal pris en compte dont nous avons parlé (biodiversité des campagnes, pesticides...). La faisabilité de systèmes de couplage d'indicateurs et de pondération est en discussion et nécessitera un certain consensus politique.

Différents acteurs testent leurs solutions: développeurs d'applications numériques, distributeurs, entreprises agroalimentaires, fédérations professionnelles... Plusieurs choix sont encore à faire pour construire un système de score environnemental, et les questions en suspens sont nombreuses. Faut-il comparer des produits dans tout le spectre alimentaire et éclairer ainsi la question du mode d'alimentation global ou bien se centrer sur la comparaison au sein d'une même catégorie et mettre l'accent sur l'écoconception? Une solution mixte est-elle envisageable? Faut-il calculer un score pour tous, sur la base des informations publiques du type d'Agribalyse ou bien mobiliser des données spécifiques des entreprises afin de viser une notation plus précise au prix d'un nombre de produits concernés fortement restreint? Comment pondérer les indicateurs environnementaux (climat, eau, biodiversité)? Quel niveau de détail communiquer? Comment s'ouvrir à d'autres aspects que l'environnement (bien-être animal, conditions des travailleurs...)? Comment faire cohabiter les dispositifs d'évaluation et labels existants (bio, label rouge, AOC...), surtout quand certaines dimensions peuvent s'opposer, par exemple nutrition et environnement (un produit avec un bon Nutri-Score peut être mauvais pour l'environnement)? Comment rendre intuitive et compréhensible l'information sur laquelle se fondera l'acte d'achat du consommateur?

Face aux attentes des consommateurs et au développement des initiatives privées, pas de doute, la demande en information environnementale va croître, au risque d'une multiplication des scores et des labels. La disponibilité d'Agribalyse et la volonté des nouveaux acteurs du numérique de se saisir du sujet de l'alimentation durable changent cependant un peu la donne. L'enjeu est donc aujourd'hui de savoir si la puissance publique et les acteurs concernés seront à même de s'accorder sur un dispositif encadré et harmonisé, fondé sur les connaissances scientifiques. L'enjeu est de renforcer la confiance dans le système alimentaire et de contribuer à la transition environnementale du secteur. En un mot, vous ne choisirez plus jamais une pizza comme avant! ■

AUJOURD'HUI, ENVIRON 30% DES ALIMENTS PRODUITS SONT PERDUS ENTRE LE CHAMP ET LA BOUCHE!

BIBLIOGRAPHIE

H. VAN DER WERF *ET AL.*, Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment, *Nature Sustainability*, vol. 3, pp. 419-425, 2020.

J. POORE ET T. NEMECEK, Reducing food's environmental impacts through producers and consumers, *Science*, vol. 360 (6392), pp. 987-992, 2018.

LE SITE D'AGRIBALYSE: www.agribalyse.fr

DOSSIER DE L'ADEME SUR L'AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL: http://bit.ly/Ademe-affich-env

L'ÉTUDE AFTERRES 2050: afterres2050.solagro.org

À LIRE EN PLUS

Le Défi alimentaire
Écologie, agronomie et avenir

SAMUEL REBULARD

BELIN ÉDUCATION, 2018
(528 PAGES, 44,90 EUROS)

En ce début de XXIe siècle, on demande à l'agriculture bien plus que seulement nourrir 10 milliards d'humains à l'horizon 2050. On attend que les agriculteurs vivent mieux de leur travail, que les aliments satisfassent à de nouvelles exigences, que des pratiques agricoles préservent la santé des écosystèmes… Ces défis, et bien d'autres encore, sont abordés dans cet ouvrage sous les regards croisés de l'écologie, l'agronomie, l'agriculture, la nutrition ou la botanique. Indispensable pour cerner les enjeux d'une question cruciale dont notre avenir dépend.

Histoire de l'alimentation
De la Préhistoire à nos jours

FLORENT QUELLIER (DIR.)

BELIN, 2021
(800 PAGES, 41 EUROS)

Manger. Rien de plus trivial et de plus complexe à la fois. Se nourrir est un besoin physiologique vital, mais aussi un savoir et un apprentissage, autrement dit une culture. Du Moyen-Orient au monde occidental, ce voyage illustré dans les fourneaux de l'histoire nous invite à comprendre comment s'élaborent, se transmettent et se modifient les cultures alimentaires d'hier et d'aujourd'hui. Il dessine une histoire vivante faite de repas ordinaires ou festifs de puissants et d'anonymes, de goûts et de dégoûts, de produits et d'imaginaires, de recettes de cuisine et de mythologies de table.

Nourrir la planète

MICHEL GRIFFON

ODILE JACOB, 2006
(464 PAGES, 25,90 EUROS)

D'ici à 2050, la planète comptera 3 milliards d'habitants de plus. Comment allons-nous nous nourrir? Dès les années 1960, cette question s'est posée et nous y avons répondu par la révolution verte, fondée sur la génétique, les engrais, les pesticides, des politiques publiques vigoureuses. Cette stratégie ne suffit plus. L'auteur brosse le tableau de la crise alimentaire mondiale qui se dessine et jette les bases de ce que devrait être le développement durable de l'agriculture du futur. Il plaide pour une «révolution doublement verte».

L'Agroécologie peut nous sauver

OLIVIER LE NAIRE ET MARC DUFUMIER

ACTES SUD, 2019
(176 PAGES, 18,50 EUROS)

Ingénieur agronome, Marc Dufumier explique dans ces entretiens avec le journaliste Olivier Le Naire en quoi la révolution agroécologique est une réponse concrète, réalisable et globale à beaucoup des maux de notre monde moderne dont la famine, la malbouffe, l'obésité, la pollution, le réchauffement climatique, la perte de biodiversité, les inégalités mondiales ou les migrations contraintes. Selon lui, tous ces problèmes étant liés, leurs solutions ne peuvent plus être étudiées séparément. C'est aussi un appel aux citoyens: leur sort, comme celui de la planète, est entre leurs mains.

JEUNESSE

Petit Manuel de l'alimentation saine et responsable

GÉNÉRATIONS COBAYES ET CÉCILE BECQ (ILL.)

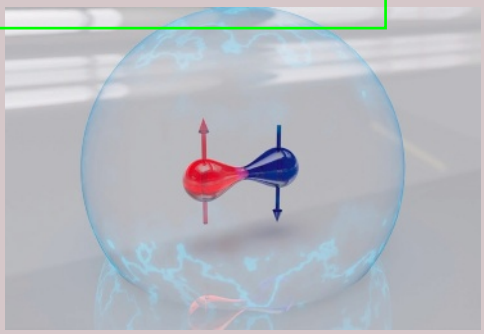
ACTES SUD JUNIOR, 2020
(80 PAGES, 15,50 EUROS)

Générations Cobayes est un mouvement national de jeunes dont le but est de démocratiser de façon ludique et humoristique les sujets de santé environnement auprès des 15-35 ans. Ce manuel est destiné à faire découvrir aux adolescents et jeunes adultes devenus indépendants les dessous de l'agriculture intensive et de l'alimentation industrielle, en leur donnant des conseils précieux pour faire leurs courses en évitant les articles suremballés, choisir les produits, bio de préférence, établir leur liste de courses… et en donnant de nombreuses adresses et tuyaux indispensables.

RENDEZ-VOUS

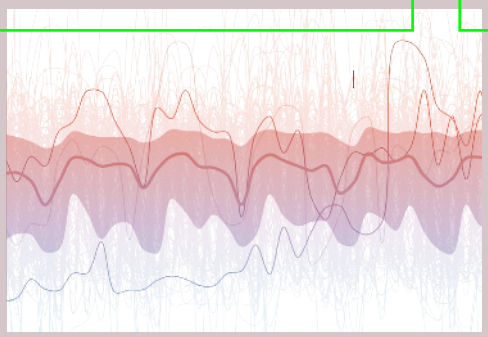
P. 110

REBONDISSEMENTS
DES ACTUALITÉS SUR
DES SUJETS ABORDÉS
DANS LES HORS-SÉRIES PRÉCÉDENTS



P. 114

DONNÉES À VOIR
DES INFORMATIONS
SE COMPRENNENT MIEUX
LORSQU'ELLES SONT MISES EN IMAGES

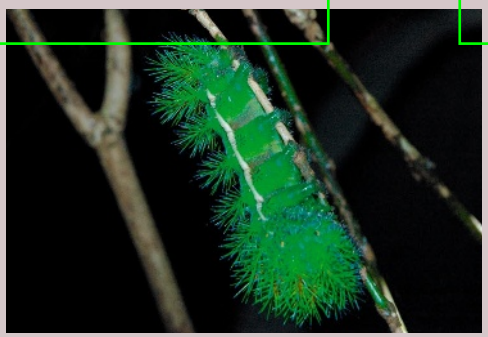


P. 116

LES INCONTOURNABLES
DES LIVRES, DES EXPOSITIONS,
DES SITES INTERNET, DES VIDÉOS,
DES PODCASTS… À NE PAS MANQUER

P. 118

SPÉCIMEN
UN ANIMAL ÉTONNANT CHOISI
PARMI CEUX PRÉSENTÉS SUR
LE BLOG « BEST OF BESTIOLES »



P. 120

ART & SCIENCE
COMMENT UN ŒIL SCIENTIFIQUE
OFFRE UN ÉCLAIRAGE INÉDIT
SUR UNE ŒUVRE D'ART

HORS-SÉRIE N° 110 : LES COLÈRES DE LA TERRE

Coup de chaud d'ici à 2100

Selon les nouvelles projections climatiques publiées par Météo-France, les températures pourraient augmenter jusqu'à + 6 °C en France métropolitaine à la fin du XXIe siècle.

Dans le *Hors-Série* n° 110 : « Les colères de la Terre », le constat était implacable, le réchauffement climatique accentue la fréquence ou l'intensité de différents types d'événements extrêmes, comme, en France métropolitaine les canicules, les inondations, les pluies diluviennes… Pour mieux anticiper, et éventuellement s'adapter, il importe donc de savoir à quoi s'en tenir quant à l'évolution des températures dans les prochaines décennies. C'est le sens de Drias-2020, un ensemble de nouvelles projections climatiques pour la fin du XXIe siècle par rapport à la période de référence 1976-2005 rendues publiques par Météo-France le 1er février 2021.

À la base, les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre par les activités humaines conçus par le Giec. Ils sont nommés RCP (pour *representative concentration pathways*) suivi d'un nombre (+ 2,6; + 4,5; + 6; + 8,5) qui traduit la modification du bilan radiatif de la Terre par les activités humaines, ce bilan correspondant à la différence entre le rayonnement solaire reçu et le rayonnement infrarouge réémis par la planète, le dernier dépendant de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le scénario RCP + 2,6 correspond ainsi à un monde sobre, émettant très peu de gaz à effet de serre et entraînant un réchauffement global inférieur à 2 °C par rapport aux températures préindustrielles.

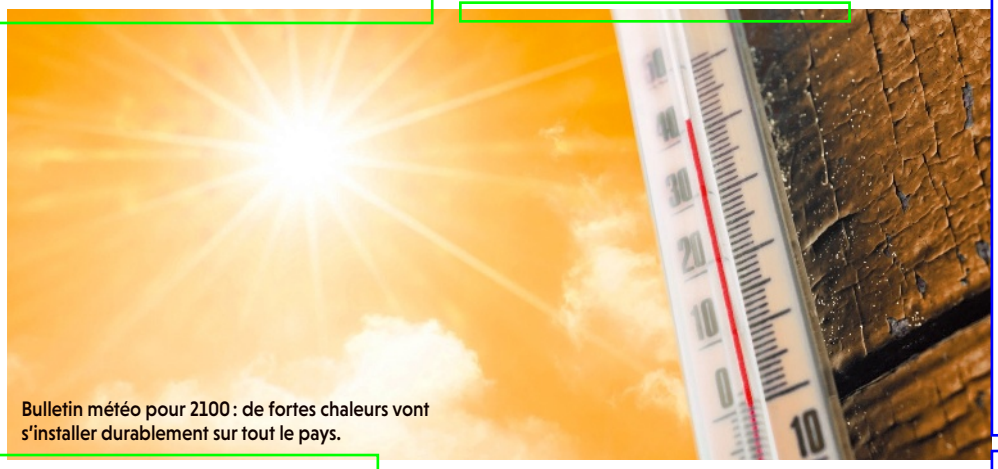
Quelque trente simulations couvrant les scénarios climatiques RCP + 2,6, RCP + 4,5 et RCP + 8,5 ont été réalisées avec plusieurs modèles issus de divers laboratoires français de climatologie (IPSL, Cerfacs, CNRM). L'échelle retenue était celle du pays, avec une résolution de 12 kilomètres. Par comparaison, les modèles globaux, c'est-à-dire pour la planète entière, ont une résolution dix fois supérieure : les simulations de Drias-2020 étaient donc plus fines et précises.

Qu'est-ce qui nous attend ? D'ici à 2100, la température pourrait augmenter de 4,9 °C en moyenne annuelle et jusqu'à + 6 °C en été par rapport à la période de référence 1976-2005 ! Les vagues de chaleur vont se multiplier avec un nombre de jours caniculaires doublant avec un scénario RCP + 2,6 et décuplant avec le RCP + 8,5. Le réchauffement, plus marqué en montagne, ne sera pas complètement homogène et s'étalera selon un gradient sud-est/nord-ouest avec un écart de 1 °C entre ces deux zones. Le nord de la France devra s'habituer aux nuits tropicales (supérieures à 20 °C) : rares aujourd'hui, on pourra en compter jusqu'à cinquante en 2100.

Les précipitations augmenteront quant à elles de 2 à 6%, avec une hausse plus marquée dans la moitié nord du pays, et essentiellement durant les hivers. À l'inverse, les précipitations estivales diminueront de 20% selon le scénario RCP + 8,5. L'évolution des épisodes de pluies extrêmes est plus difficile à cerner, mais semble orientée à la hausse, quel que soit le scénario.

En France, le record absolu de température a été enregistré en juin 2019, avec 46 °C. Si l'on ne fait rien pour enrayer les émissions de gaz à effet de serre, nous suivrons alors le scénario RCP + 8,5 et cette valeur sera souvent dépassée en 2100. ■

MÉTÉO-FRANCE, 2021. HTTP://BIT.LY/MF-DRIAS



Bulletin météo pour 2100 : de fortes chaleurs vont s'installer durablement sur tout le pays.

© Shutterstock.com/aapsky

Un microbiote sous contrôle

Le microbiote intestinal est souvent synonyme de bactéries, mais le *Hors-Série* n° 109 : « Les vrais pouvoirs des microbiotes sur notre santé » montrait qu'on y trouve d'autres microorganismes, notamment des virus, comme des phages. Ces virus, en infectant les bactéries, participent au contrôle des populations de ces dernières. Martial Marbouty, de l'institut Pasteur, à Paris, et ses collègues ont mis en évidence le réseau de relations qu'entretiennent les deux types de microbes dans l'intestin de dix individus grâce à des analyses métagénomiques. Les quelque six mille interactions révélées trahissent les phages actifs et ceux en dormance, ainsi qu'une diversité virale insoupçonnée dans certaines familles. Ces résultats aideront à mieux comprendre la dynamique de ce qui se passe dans notre ventre.

M. MARBOUTY *ET AL.*, *ELIFE*, PRÉPUBLICATION EN LIGNE, 2021.

Une dualité manipulable

Les premiers ordinateurs quantiques rudimentaires sont d'ores et déjà disponibles, et le *Hors-Série* n° 107 : « La nouvelle révolution quantique » évoquait par exemple celui d'IBM. Marc-André Dupertuis, et son équipe de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, en Suisse, l'ont utilisé pour explorer les liens entre deux propriétés quantiques parmi les plus déroutantes : la dualité onde-particule et l'intrication. En manipulant deux qubits, les physiciens ont montré que la dualité de l'un d'eux peut être contrôlée (on peut rendre le côté onde ou corpuscule plus prégnant) à volonté, voire désactivée (un seul aspect se manifeste) par le degré d'intrication des deux qubits. C'est la vérification expérimentale d'une hypothèse formulée en 2010 par Matthias Jakob et János Bergou.

N. SCHWALLER *ET AL.*, PHYS. REV. A, VOL. 103, ART. 022409, 2021.

Complexité et conscience

Comment définir l'état d'inconscience ? Le *Hors-Série* n° 108 : « À la recherche de l'inconscient » apportait plusieurs éléments de réponse. Une des méthodes fréquemment employées est d'explorer l'activité électrique du cerveau, enregistrée sur un électroencéphalogramme (EEG), et d'y rechercher les ondes delta de grande amplitude. En effet, d'une fréquence comprise entre 0,5 et 4 hertz, de tels signaux ont longtemps été associés à l'état inconscient, par exemple celui observé lors des phases de sommeil profond ou bien chez les individus sous anesthésie, dans le coma, en état végétatif… Cependant, les ondes delta ne seraient pas un signal infaillible, à en croire Joel Frohlich, de l'université de Californie, à Los Angeles, aux États-Unis. Sur la base d'une étude bibliographique, il a montré que ces signaux apparaissent dans de nombreux cas chez des patients souffrant de divers troubles, mais manifestement conscients. Parmi ces troubles, citons la schizophrénie, l'épilepsie, le syndrome de Rett…

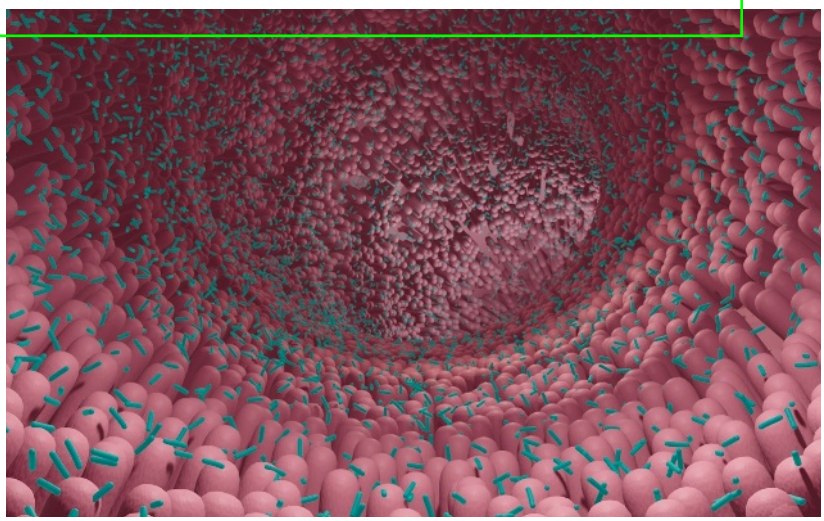
Les propres travaux du neurobiologiste vont dans le même sens. Il s'est intéressé à des enfants atteints du syndrome d'Angelman, une anomalie du développement neurologique résultant du dysfonctionnement du gène *UBE3A*. Chez ces enfants conscients, des ondes delta de grande amplitude ont bel et bien été enregistrées. Comment sortir de ce paradoxe ?

Selon Joel Frohlich, un meilleur indicateur de la conscience serait la complexité de l'EEG, que l'on peut mesurer par exemple par le nombre de motifs récurrents : plus ils sont nombreux, plus la structure de l'EEG est « simple ». De fait, cette complexité diminue bien pendant le sommeil profond et sous anesthésie. Et c'est aussi le cas pendant le sommeil profond des enfants atteints du syndrome d'Angelman ! Conclusion ? Les cliniciens ont désormais à leur disposition un nouvel indicateur de l'état de conscience. ■

J. FROHLICH *ET AL.*, BRAIN, AWAB095, 2021

Je t'hème, moi non plus

Une bactérie opportuniste du microbiote intestinal est responsable de maladies nosocomiales. La compréhension des mécanismes de sa dépendance à l'hème – la molécule qui transporte l'oxygène dans le sang – offre un moyen de lutter contre ce microorganisme.



Dans l'intestin, la bactérie Enterococcus faecalis est normalement inoffensive. Mais après un traitement antibiotique, elle prolifère et devient pathogène.

Notre bonne santé repose sur l'équilibre des différentes populations de bactéries composant notre microbiote intestinal, et le *Hors-Série* n° 109 : « Les vrais pouvoirs des microbiotes sur la santé » détaillait les conséquences d'une perturbation de cette flore. Ainsi, après un traitement aux antibiotiques, il arrive que l'espèce *Enterococcus faecalis*, intrinsèquement résistante à beaucoup de ces molécules, prolifère plus que de raison et entraîne des méningites et des infections urinaires et cardiaques parfois sévères. La bactérie serait la troisième cause de maladies nosocomiales. Il importe donc de mieux comprendre sa biologie pour mieux lutter. C'est le sens des travaux de Vincent Saillant, de l'unité Microbiologie de l'alimentation au service de la santé » (Micalis, Inrae, AgroParisTech, université Paris-Saclay), et de ses collègues.

Enterococcus faecalis a besoin pour sa survie d'une molécule particulière, l'hème. Ce composant (non protéique) de l'hémoglobine qui dans les globules rouges transporte l'oxygène est nécessaire au fonctionnement d'enzymes de la bactérie, notamment la catalase qui élimine le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) nocif de la cellule. Cependant, en trop grande quantité dans le microorganisme, l'hème devient toxique. Comment réguler sa concentration ?

Grâce à un transporteur ($HrtBA_{Ef}$) qui évacue l'hème en excès. Les biologistes ont découvert que la fabrication de cette pompe, c'est-à-dire la transcription des gènes correspondants, est activée par une molécule nommée FhtR (pour *Faecalis heme transport regulator*) sensible à l'hème présent dans la bactérie. Ainsi, quand il est en faible quantité, il rentre passivement dans la cellule et est mobilisé par les catalases. Cependant, dès qu'il est trop abondant, il se lie à FhtR, l'active et conduit au rejet du surplus.

Ce mécanisme de contrôle serait caractéristique des *Enterococcus faecalis*. Il en devient alors une cible possible pour bloquer le développement de cette bactérie. ■

V. SAILLANT *ET AL.*, MBIO, VOL. 12 (1), ART. E03392-20, 2021

© Shutterstock.com/ART-ur

HORS-SÉRIE N° 107 : RÉVOLUTION QUANTIQUE

Des bits quantiques sous protection

Les bits quantiques sont instables et s'effondrent rapidement, ce qui pose souci pour en faire des ordinateurs quantiques. Des physiciens ont réussi à prolonger leur durée de vie en les protégeant grâce à des microondes.

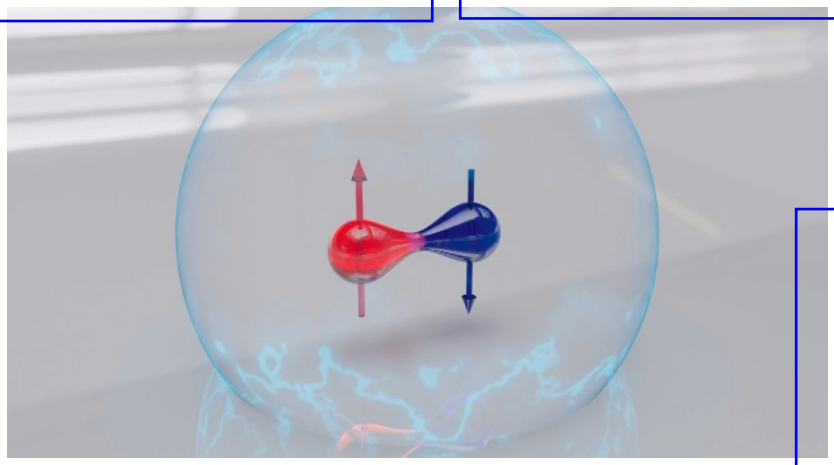
Les promesses de l'ordinateur quantique, détaillées dans le *Hors-Série* n° 107 : « La nouvelle révolution quantique », sont nombreuses : calculs plus rapides qu'avec un ordinateur classique, résolution de problèmes autrement inaccessibles, comme la factorisation des nombres premiers, la confidentialité des transmissions… Cependant, elles ne deviendront des réalités qu'à la condition de disposer de qubits performants. Problème, ces équivalents quantiques des bits classiques sont fondés sur la superposition d'états quantiques dans un système, une propriété fragile qui ne résiste pas aux interactions avec l'environnement. Or pour mener à bien des calculs, la cohérence du qubit, c'est-à-dire la superposition, doit perdurer un peu. Comment faire ? Sylvain Bertaina, de l'institut matériaux microélectronique et nanosciences de Provence, à Marseille, et ses collègues ont peut-être une solution.

Elle passe par l'utilisation de deux ondes électromagnétiques. Pour comprendre, un paramètre clé est la fréquence dite de Rabi, du nom du physicien Isidor Isaac Rabi. Une première onde est utilisée pour manipuler un qubit, par exemple un système doté d'un spin haut (1) et d'un spin bas (0), en le faisant passer d'un état à l'autre, mais aussi dans l'état superposé recherché pour le calcul quantique (0 + 1). Ainsi « éclairé », le qubit oscille comme un pendule selon une fréquence particulière (celle de Rabi), et chaque oscillation permet un calcul. Cependant, la moindre interaction avec l'environnement, comme la chaleur, amortit le pendule : le qubit est détruit.

L'idée des physiciens a été d'ajouter une seconde onde électromagnétique, de fréquence distincte mais proche de la précédente, et de la décaler d'un laps de temps correspondant à la fréquence de Rabi. De la sorte, la deuxième onde agit comme un excitateur qui met en résonance le qubit et contre l'effet de l'environnement : l'onde donne en quelque sorte une impulsion au pendule pour qu'il ne s'amortisse pas. Résultat : le qubit, ainsi protégé par une sorte de bouclier électromagnétique, reste dans un état superposé jusqu'à des millions de fois plus longtemps !

Sylvain Bertaina raconte avoir découvert ce phénomène à l'occasion d'une fuite électromagnétique dans un dispositif expérimental, l'onde parasite favorisant l'apparition du phénomène de bouclier désormais élucidé. Il a d'ailleurs été confirmé dans plusieurs types de qubits, comme un centre NV (un atome d'azote dans un diamant), un ion métallique piégé (du manganèse dans du MgO) et un ion de terre rare (du gadolinium dans du $CaWO_4$). Et il est possible de l'utiliser pour d'autres types de qubit. La prochaine étape consistera à étendre le bouclier d'un à plusieurs qubits réunis. ■

S. BERTAINA *ET AL.*, *SCIENTIFIC REPORTS*, VOL. 10, ART. 21643, 2020



Dans un qubit, des états, ici un spin haut *(en rouge)* et un spin bas *(en bleu)*, coexistent. Mais cette superposition quantique a la fâcheuse tendance à s'effondrer rapidement…

© S. Bertaina

Une vague d'exercices

Le *Hors-Série* n° 110 : « Les colères de la Terre » le rappelaient, la préparation des populations aux tsunamis est un des moyens pour se prémunir de ces cataclysmes. À cet effet, l'Unesco a coordonné plusieurs exercices d'alerte dans les Caraïbes, sur le pourtour de l'Atlantique du nord-est et autour du bassin méditerranéen début mars, à l'occasion des 10 ans du séisme de Tohoku, au Japon, à l'origine de la catastrophe de Fukushima. L'idée est d'encourager les médias, les établissements scolaires, les entreprises, les organisations religieuses et les familles à se maintenir sur le qui-vive de façon à assurer une évacuation rapide et efficace. Autre objectif, évaluer les plans d'action locaux et améliorer la coordination de tous les acteurs.

LE COMMUNIQUÉ DE L'UNESCO : HTTP://BIT.LY/3CPDOUO

Cache-cache avec la conscience

Où la conscience prend-elle naissance dans le cerveau s'interrogeait le *Hors-Série* n° 108 : « À la recherche de l'inconscient » ? Le cortex préfrontal semble être une zone majeure dans ce phénomène, mais d'autres tâches non conscientes s'y déroulent aussi. Omri Raccah, de l'université de New York, a voulu préciser les choses en explorant des études fondées sur la stimulation électrique transcrânienne. Il en ressort que seules certaines régions du cortex préfrontal, notamment les cortex orbitofrontal et cingulaire antérieur, sont associées à la conscience. À l'inverse, les zones antérolatérales que l'on croyait cruciales n'auraient pas autant d'importance.

O. RACCAH *ET AL.*, *JOURNAL OF NEUROSCIENCE*, VOL. 41 (10), PP. 2076-2087, 2021

POUR LA SCIENCE THEMA

L'ORDINATEUR QUANTIQUE

Promesses et réalité

- Une sélection d'articles rédigés par des chercheurs et des experts
- Une lecture adaptée aux écrans

3,99 €

Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi

www.boutique.groupepourlascience.fr

Et soudain, la Terre s'est calmée

Le confinement imposé dans le monde entier par la crise du Covid-19 a eu des conséquences insoupçonnées : la diminution du bruit sismique dû aux activités humaines.

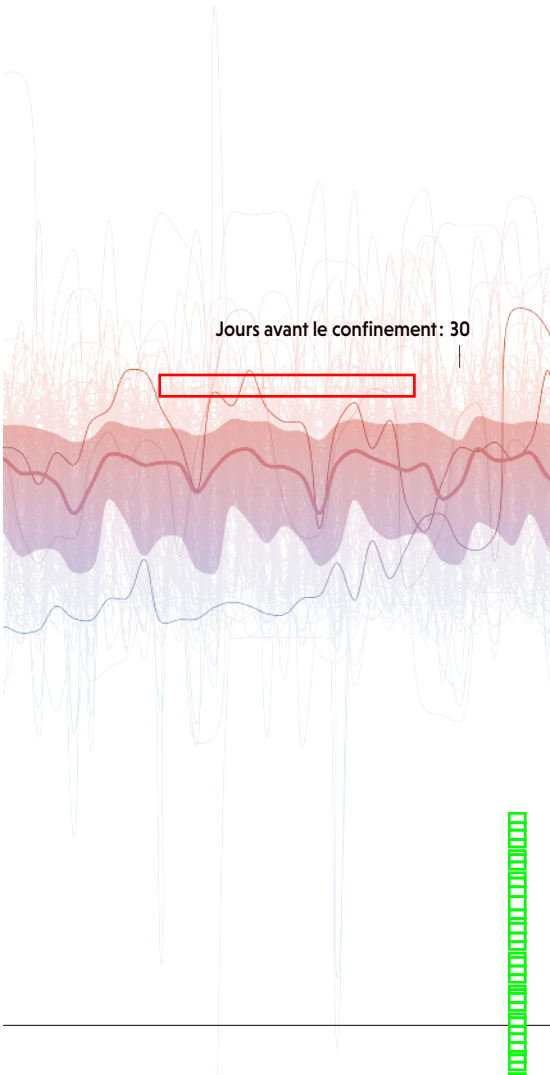
Mark Fischetti et Shirley Wu

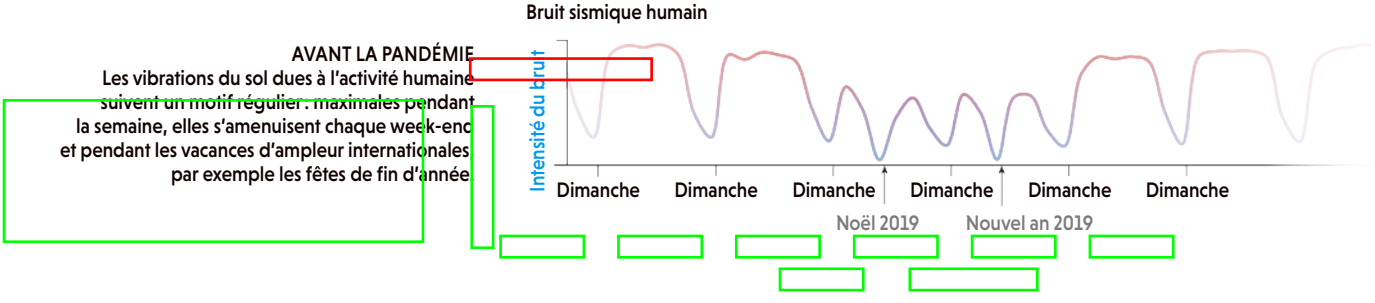
On le sait pour les tremblements de terre : ces secousses parfois violentes créent des ondes sismiques qui parcourent la croûte terrestre et sont enregistrées par les sismomètres répartis sur toute la planète. Par contre, beaucoup ignorent que l'activité humaine génère elle aussi des ondes sismiques à haute fréquence (des ondes de 4 à 14 hertz), une sorte de bruit de fond permanent, un bourdonnement (*voir ci-dessous*). Le confinement des populations décrété dans les villes et les pays à partir du printemps 2020 pour tenter d'endiguer la propagation du SARS-CoV-2, le coronavirus responsable du Covid-19, a réduit de moitié ce bruit de fond dans plusieurs régions. Plus de déplacements ni de transport, la plupart des entreprises au ralenti… cette paralysie partielle a été enregistrée par des sismomètres jusqu'à 400 mètres de profondeur.

Le graphique à droite, en haut, montre les variations du bruit sismique humain enregistrées par des sismomètres en 172 endroits du monde (chaque ligne en rouge et bleu correspond à un appareil), situés entre 0 et 400 mètres de profondeur.

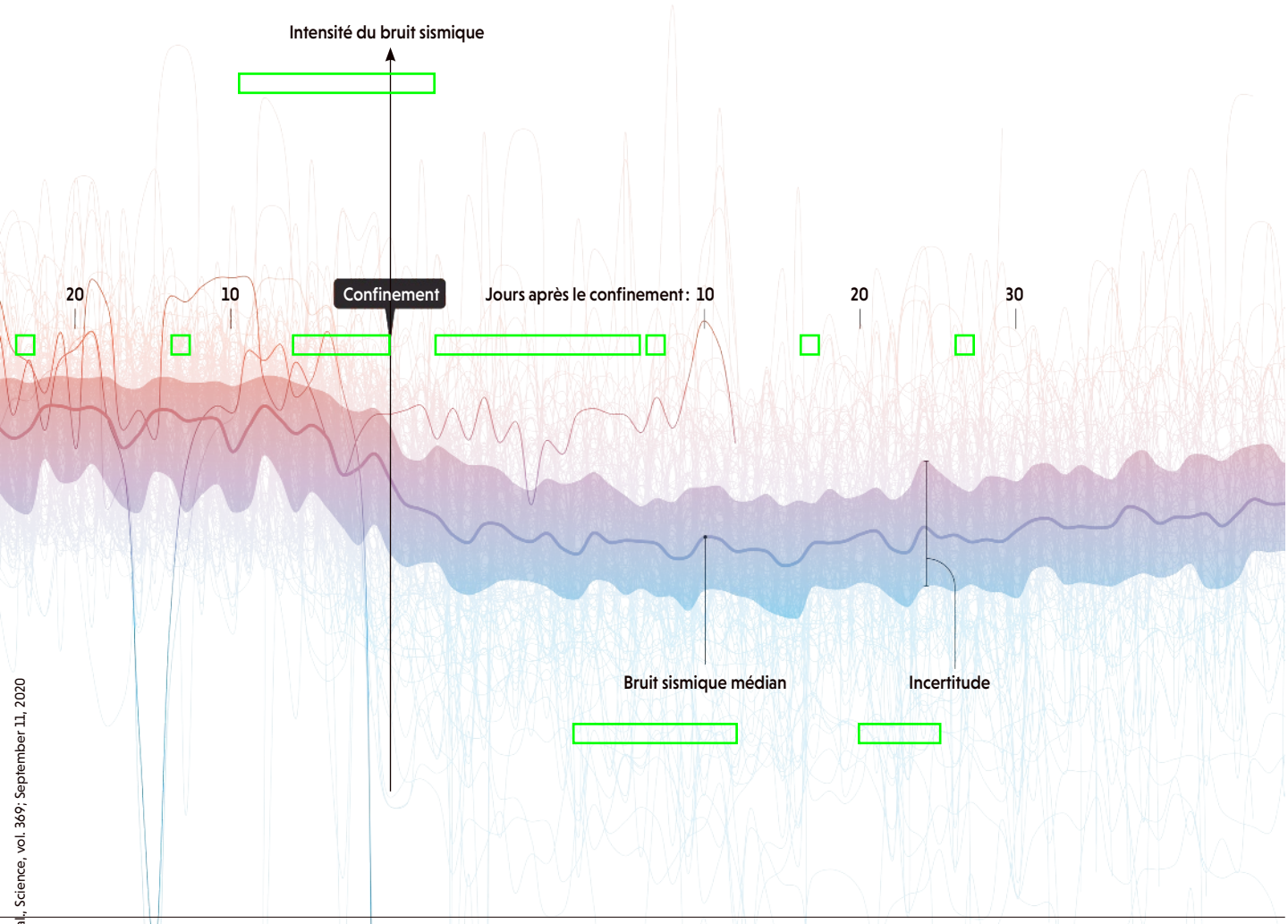
Avant le confinement (*la partie gauche du graphique*), le niveau du bruit sismique était à peu près constant. Il a commencé à s'atténuer à mesure que les dispositions du confinement sont entrées en vigueur dans le monde (*la moitié droite du graphique*). Ici, les enregistrements sont décalés de façon à ce que les dates de confinement soient superposées.

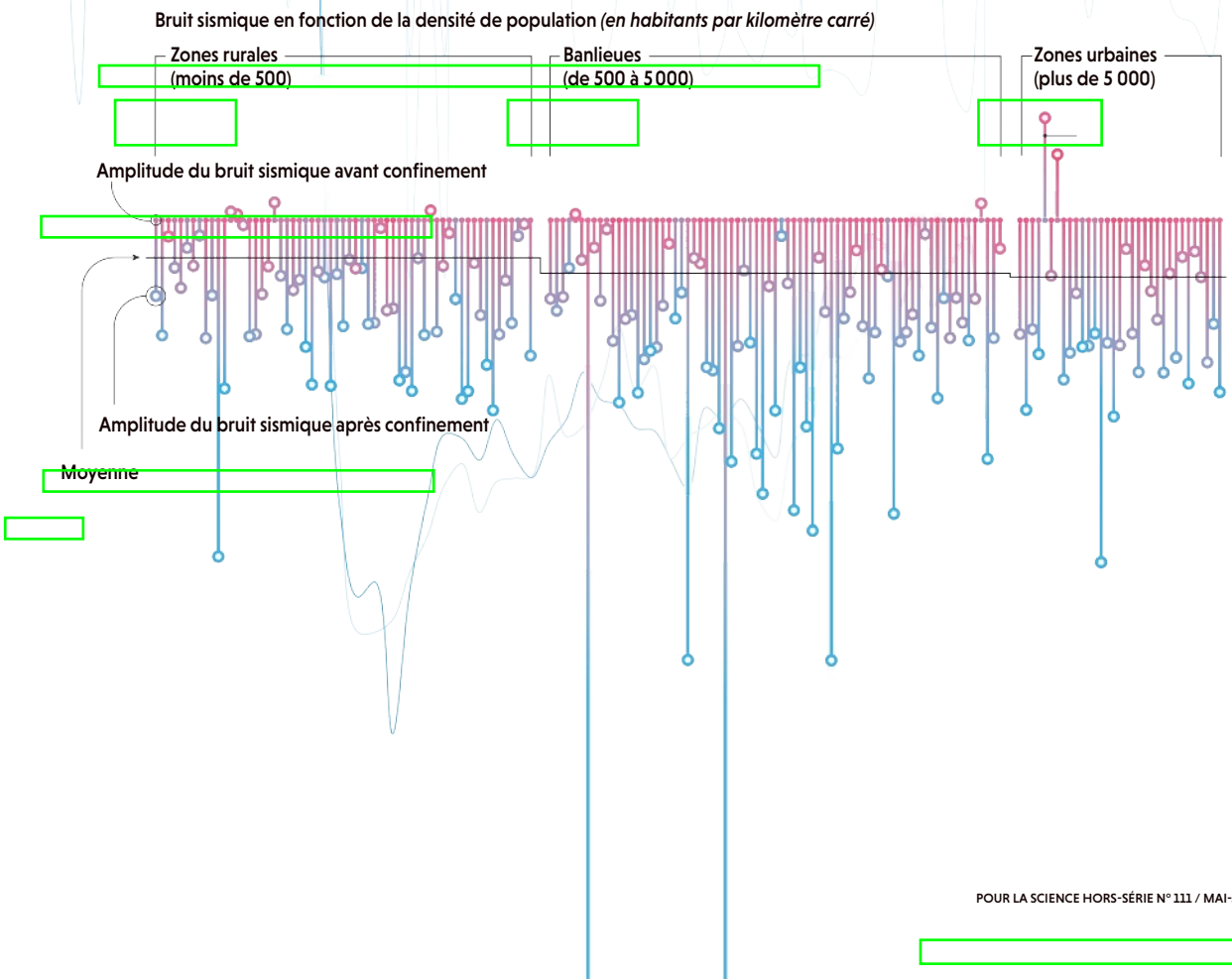
Les vibrations sismiques générées par les humains ont d'autant plus diminué que la densité de population était grande (*page ci-contre, en bas*), c'est-à-dire des zones rurales jusqu'aux villes en passant par les banlieues. Cependant, les variations enregistrées d'un sismomètre à l'autre dépendent grandement de la zone suivie. Par exemple, même dans une région peu peuplée, un appareil situé près d'une autoroute ou à l'intérieur d'une école qui a fermé aura détecté une forte baisse du bruit sismique. ■





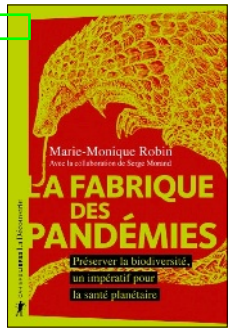
AVANT LA PANDÉMIE
Les vibrations du sol dues à l'activité humaine suivent un motif régulier : maximales pendant la semaine, elles s'amenuisent chaque week-end et pendant les vacances d'ampleur internationales, par exemple les fêtes de fin d'année.





Source : « Global quieting of high-frequency seismic noise due to covid-19 pandemic lockdown measures », Thomas Lecocq et al., Science, vol. 369, September 11, 2020

À LIRE



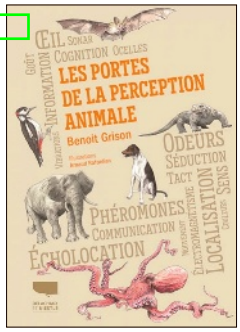
La Fabrique des pandémies

MARIE-MONIQUE ROBIN

LA DÉCOUVERTE, 2021
352 PAGES, 20 EUROS

Fin 2019, un nouveau virus fait parler de lui en Chine et rencontre un beau succès: le SARS-CoV-2, le coronavirus à l'origine du Covid-19. Il conquiert le monde et contamine plus de 100 millions d'êtres humains et en tue plus de 2,5 millions. Bien des questions quant à son origine demeurent, mais une chose est sûre, dans la communauté scientifique, peu ont été surpris par la pandémie. Elle n'est qu'un nouvel épisode d'une longue série de zoonoses (des maladies transmises par des animaux aux humains) apparues ces dernières décennies. Les causes sont connues, et l'on peut citer l'élevage intensif, l'effondrement de la biodiversité, la surexploitation des ressources… toutes relevant des activités humaines. Après s'être penchée, entre autres, sur l'exportation des méthodes de la torture «à la française» en Argentine et les pratiques contestables de la société Monsanto, Marie-Monique Robin s'attache ici à montrer comment depuis des années, chercheurs et organismes internationaux (OMS, ONU…) tirent la sonnette d'alarme sur une «épidémie de pandémies». Avec l'écologue de la santé Serge Morand, et sur la base d'entretiens avec plus de soixante chercheurs du monde entier, son objectif est de mettre au jour les mécanismes par lesquels de nouvelles maladies émergent. Et, surtout, d'alerter sur le fait que si l'on ne fait rien pour enrayer les dysfonctionnements des relations entre humains et les autres animaux, domestiques ou sauvages, d'autres pandémies surgiront, et elles seront peut-être beaucoup plus graves que le Covid-19. En d'autres termes, il ne s'agit pas de s'y préparer, c'est impossible, mais bien de s'attaquer aux causes en inventant une social-écologie de la santé.

À LIRE



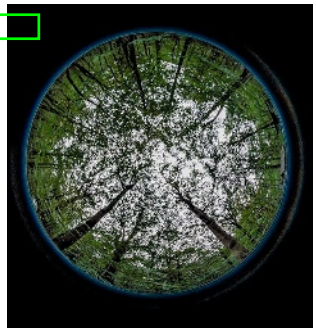
Les Portes de la perception animale

BENOIT GRISON

DELACHAUX & NIESTLÉ, 2021
192 PAGES, 22,90 EUROS

En 1974, le philosophe Thomas Nagel publie l'article «Quel effet cela fait-il d'être une chauve-souris?», dans lequel il défend l'idée selon laquelle nous n'avons aucun moyen de savoir quelle expérience du monde fait une chauve-souris, car nous n'en sommes pas une. Cet ouvrage répare cette injustice! En effet, l'auteur, biologiste et sociologue des sciences à l'université d'Orléans, aidé par les illustrations précises et drôles d'Arnaud Rafaelian, nous propose de découvrir l'univers sensoriel de nombreuses espèces animales tel qu'il est révélé par les dernières découvertes scientifiques, et particulièrement en neurosciences. Pourquoi le calmar géant *Architeuthis* possède-t-il un œil de la taille d'un ballon de volley-ball? Comment les grands singes détectent-ils les molécules végétales aptes à les soigner? Est-il vrai que les éléphants perçoivent les infrasons, et les ornithorynques le champ magnétique entourant leurs proies? Et donc, comment fonctionne le système d'écholocation des chauves-souris? Au terme de la lecture, on se rend compte d'abord que la perception a été «inventée» dès les premières formes de vie. Ensuite, force est de constater que nos cinq sens font pâle figure aussi bien en termes d'efficacité (pensez au chien équipé de quarante fois plus de récepteurs olfactifs que vous) que de diversité (imaginez que vous puissiez ressentir les infrasons émis à plus de 80 kilomètres comme le font les éléphants). C'était peut-être l'une des motivations d'Aldous Huxley lorsqu'il consomma de la mescaline dans les années 1950: il en raconta son expérience de perception exacerbée dans son recueil… *Les Portes de la perception*.

À VOIR



Une forêt au peigne fin

Le CNRS Images est plus qu'une simple photothèque. En effet, ses équipes proposent également des reportages photos, comme celui dédié à la forêt de Barbeau, en Seine-et-Marne. Au fil de plus de soixante clichés, on suit une équipe de scientifiques qui scrute le fonctionnement du massif forestier. Ici, les chercheurs sont installés au sommet d'un pylône de 35 mètres de hauteur, où des capteurs révèlent les échanges de matière (CO_2, H_2O) et d'énergie dans l'écosystème forestier. Là, ils mesurent les flux de sève dans un arbre. Là encore, ils suivent le ruissellement de l'eau le long d'un tronc. On suit ainsi, en images, le quotidien d'une science au service de l'environnement.

http://bit.ly/3lgUlEY

À VISITER

L'éveil des sens

Profitez du retour du printemps pour éveiller vos sens. C'est en effet le thème de la douzième édition des Journées des Plantes qui se tiendront les 7, 8 et 9 mai 2021 dans le parc du château de Chantilly. Un rendez-vous incontournable dédié aux plantes, à la biodiversité et aux tendances du jardin qui rassemble plus de deux cents pépiniéristes et exposants parmi les plus prestigieux d'Europe. Une invitation pour le visiteur à redécouvrir ses propres repères sensoriels, tant la vue, l'odorat, le goût, le toucher et l'ouïe seront sollicités tout au long des allées.

http://bit.ly/3vxFKKj

À VISIONNER

Mathémusique

Que peuvent bien se raconter monsieur Triangle et madame Cercle quand ils se rencontrent sur un clavier de piano ? Des histoires de liens entre mathématiques et musique ! C'est l'ambition d'une vidéo pédagogique conçue et réalisée par l'illustratrice Marie Marty et Moreno Andreatta, directeur de recherche au CNRS et « mathémusicien » dans le cadre du projet ProAppMaMu. L'idée est d'aborder de façon simple plusieurs concepts de théorie musicale au centre desquels la notion de symétrie est cruciale. Au détour de ce voyage où il est question de pavages du plan, de reflets dans un miroir, de racine douzième de 2… on croise Pythagore, Leonhard Euler, Jean-Sébastien Bach et même… la panthère rose.

https://youtu.be/kIxTIyxYy-8

À ÉCOUTER

Assassinats, vols, enlèvements, empoisonnements…

De quelle terrible malédiction les deux gigantesques taureaux ailés à tête d'homme de Khorsabad, l'une des capitales de l'ancienne Assyrie, sont-ils les témoins ? Quelles luttes de pouvoir entre les Omeyyades et les Abbassides dissimule la pyxide d'al-Mughira, une boîte taillée dans un seul bloc d'ivoire à la fin du x^e^ siècle en Espagne ? Quels sont les ressorts de l'escroquerie montrée dans le *Tricheur à l'as de carreau*, de Georges de La Tour ? Les réponses se trouvent dans les premiers épisodes du podcast *Les Enquêtes du Louvre*. Historiens de l'art, conservateurs, artistes, gendarmes, anciens cambrioleurs… unissent leurs efforts et revisitent les chefs-d'œuvre du musée à la manière d'une enquête policière pour en élucider tous les mystères.

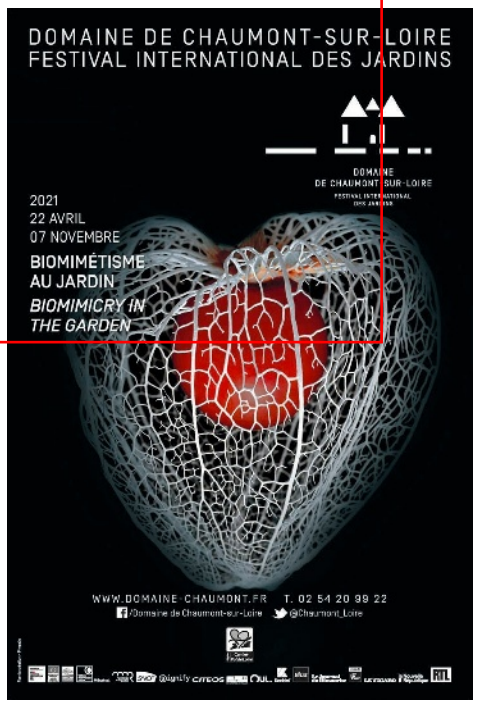
http://bit.ly/3cyETQC

À VISITER

Le biomimétisme au jardin

Le Festival international des Jardins, à Chaumont-sur-Loire, consacre son édition 2021 à cet art de l'imitation de la nature.

L'effet lotus est célèbre parmi les physiciens qui cherchent à reproduire les propriétés autonettoyantes et superhydrophobes des feuilles de la plante aquatique. Le phénomène intéresse aussi des jardiniers, et notamment ceux qui participeront à l'édition 2021 du Festival international des Jardins, dans le domaine de Chaumont-sur-Loire, dans le Loir-et-Cher. L'événement, qui se tiendra du 22 avril au 7 novembre 2021, donnera plus largement la place au biomimétisme, ce courant de pensée encourageant à imiter les systèmes vivants pour résoudre divers problèmes qui se posent à l'humanité. Quelque vingt-quatre équipes internationales (Italie, Mexique, Suède, Japon, République tchèque…) sélectionnées, ainsi que des invités spéciaux, livreront aux visiteurs le fruit de leurs réflexions autour de l'idée de mimétisme et de l'universalité des formes et des organisations au jardin.



L'association est idéale tant le biomimétisme a une portée écologique et environnementale forte. En effet, qu'il s'agisse de gestion des flux de matière ou d'énergie, de purification et de stockage des eaux, de résistance aux éléments comme le vent ou la chaleur… le monde vivant offre des solutions façonnées par des millions d'années d'évolution et perfectionnées par leur confrontation au réel. Pourquoi ne pas s'en inspirer ?

Ce sera chose faite à Chaumont, et l'on y croisera des jardins conçus justement autour des propriétés des feuilles de lotus, mais aussi des fils d'araignées, de l'organisation des termitières, de l'architecture des ruches, des crochets du lierre, des rayures du zèbre, des techniques de séduction du bien nommé jardinier satiné *Ptilonorhynchus violaceus*, un oiseau d'Australie…

Alors si « la compréhension et l'imitation des systèmes vivants et, en particulier, des écosystèmes naturels, est bien, comme le dit Chantal Colleu-Dumond, la directrice du Domaine, l'une des clés de notre avenir », elle fournira aussi assurément l'occasion de belles surprises esthétiques.

Parallèlement au festival des jardins, se tiendra également la Saison d'Art 2021, où une quinzaine de nouveaux artistes dialogueront *via* des créations originales avec le paysage et l'architecture du domaine. Cette année, Miquel Barceló et Paul Rebeyrolle seront à l'honneur.

Festival international des Jardins, du 22 avril au 7 novembre 2021, au domaine régional de Chaumont-sur-Loire, 41150 Chaumont-sur-Loire.

http://bit.ly/38DL6cS

L'attaque des chenilles tueuses

En France, dans plusieurs régions, des messages mettent en garde contre la chenille de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*. C'est que la larve, par les soies qu'elle arbore, peut causer allergies et fortes démangeaisons. Ce n'est rien par rapport à une autre chenille, celle du papillon brésilien *Lonomia obliqua*. Depuis les années 1980, date depuis laquelle le nombre de cas augmente drastiquement, son venin a fait des centaines de morts, suite à des hémorragies internes et des syndromes de type gangrène. Le taux de létalité est estimé à 2,5%. La toxine et ses propriétés anticoagulantes sont d'ailleurs le sujet de plusieurs études pharmaceutiques.

Marília Melo Favalesso, de l'université Rua, à Cascavel, au Brésil, et ses collègues se sont livrés à une analyse épidémiologique de plus de 6000 cas recensés entre 2007 et 2018. Il ressort que la victime type est un homme blanc de plus de 50 ans, avec un faible niveau d'instruction, aussi bien rural qu'urbain, et vivant surtout dans les États du sud du Brésil (Paraná, Santa Catarina et Rio Grande do Sul). La majorité des accidents n'avaient pas de lien avec une activité professionnelle. En connaissant mieux les caractéristiques épidémiologiques, les autorités de santé sont mieux armées contre cette chenille. Si d'aventure vous êtes dans les régions touchées, ne vous appuyez pas sur les arbres ! ■

M. M. Favalesso *et al.*, Lonomia envenomation in Brazil : an epidemiological overview for the period 2007-2018, *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, vol. 115(1), pp. 9-19, 2021.

© Shutterstock.com/Camelia Varsescu

L'art des bonsaïs géants

Inventée il y a sept cents ans, une technique japonaise de taille des arbres particulièrement esthétique aiderait aujourd'hui à mieux préserver les forêts.

Dans un rapport publié en janvier 2021, le WWF s'alarme de la déforestation galopante: rien qu'entre 2004 et 2017, 43 millions d'hectares ont disparu, principalement convertis en zones de culture ou de pâturage. Le phénomène concerne surtout les régions tropicales et subtropicales, mais aucune partie du monde n'est épargnée. Pour aider à préserver la biodiversité et lutter contre le réchauffement climatique, une bonne gestion des forêts s'impose partout. Pourtant, le besoin de bois augmente, notamment comme matériau de construction compatible avec une économie bas carbone. Comment faire? Une œuvre de l'artiste japonais Hosen Higashihara (1886-1972), apporte une solution.

Sur un de ses kakémonos, c'est-à-dire une peinture (ici sur soie) que l'on peut rouler, figure un étrange arbre aux allures de chandelier. De quoi s'agit-il? D'un cèdre taillé selon une technique nommée *daisugi*, développée au Japon au XIVe siècle, particulièrement dans la forêt de Kitayama, au nord de Kyoto. À cette époque, dite de Muromachi, samouraïs et nobles rivalisent d'esthétique à travers des *tokonoma*, des petites pièces dédiées à l'exposition de bouquets (*ikebana*), de kakémonos et d'autres objets artistiques. Les salons de thé les plus en vue se dotent également de tels *tokonoma*. Ces «cabinets de curiosité» et plus largement le style architectural Sukiya-zukuri alors en vogue étaient caractérisés par l'utilisation de matériaux naturels, essentiellement le bois. Celui-ci se devait d'être parfait, et les cèdres de Kitayama répondaient aux exigences, mais vinrent rapidement à manquer.

Les forestiers y remédièrent en développant le *daisugi* (signifiant «cèdre-table»), inspiré de l'art du bonsaï, mais appliqué à une autre échelle. La technique consiste à tailler de façon drastique l'arbre, en l'occurrence le cèdre, afin que seules les pousses les plus droites se développent. Tous les deux ans, ces dernières sont débarrassées des rameaux qui ont commencé à croître sur le tronc, seul un toupet subsistant au sommet. Au bout de vingt ans, elles seront coupées, la «souche mère» restant en place. Le bois obtenu est 140% plus flexible et 200% plus dense – et donc solide – que du cèdre classique. La croissance est aussi plus rapide.

Autre particularité, il est sans nœuds, ce qui augmente sa qualité esthétique tant recherchée il y a sept cents ans. Ainsi le *daisugi* a l'avantage de fournir un bois de qualité tout en aidant à préserver les forêts, puisque les arbres ne sont pas entièrement coupés. Certaines des pousses coupées (un seul cèdre est capable d'en produire jusqu'à une centaine) peuvent aussi être replantées pour repeupler un massif.

La demande en bois d'œuvre a diminué au XVIe siècle, et la technique du *daisugi* a été partiellement abandonnée, cantonnée depuis aux jardins d'agrément. Les cèdres de la forêt de Kitayama ont été livrés à eux-mêmes, avec une croissance désormais non contrainte. Cependant, dans les filières bois de nombreux pays, le *daisugi*, compatible avec les impératifs d'une société plus respectueuse de l'environnement, suscite un regain d'intérêt. Verra-t-on un jour des arbres chandeliers dans nos forêts? C'était peut-être l'espoir de Hosen Higashihara lorsqu'il a sorti de l'oubli la technique ancestrale du *daisugi* en la peignant. ■

Deforestation fronts: drivers and responses in a changing world, rapport du WWF, 2021.

Un kakemono de Hosen Higashihara (1886-1972) illustrant le *daisugi*.

© Courtesy of Aucfan

PROCHAIN HORS-SÉRIE

en kiosque le 7 juillet 2021

L'invisible

BIEN EN VUE

J. K. Rowling, l'autrice de *Harry Potter*, et H. G. Wells, parmi d'autres, ont popularisé l'idée d'invisibilité. Mais elle est loin de se cantonner à la fiction ! Dans les laboratoires de physique, on crée déjà des « capes d'invisibilité ». Dans le monde vivant, elle a été depuis longtemps inventée, par exemple chez les animaux experts en camouflage. Plus encore, tout le monde devient invisible dans une foule, et ce n'est pas nécessairement une bonne idée.
Un numéro pour faire toute la transparence sur cette notion !

© Getty Images/Colin Hawkins

Imprimé en France – Maury imprimeur S.A. Malesherbes – N° d'imprimeur : 252970 – N° d'édition : M0770711-01 – Dépôt légal : avril 2021.
Commission paritaire n° 0922K82079 du 19-09-02 – Distribution : MLP – ISSN 1 246-7685 – Directeur de la publication et gérant : Frédéric Mériot.

AVEZ-VOUS

DES RESSOURCES QUE L'ON ÉCONOMISE QUAND ON RECYCLE ?

EN 2018, 1,3 MILLION DE TONNES
DE PAPIERS ONT ÉTÉ RECYCLÉES.
CE SONT 25 MILLIARDS DE LITRES D'EAU
ÉCONOMISÉS, L'ÉQUIVALENT
DE 8000 PISCINES OLYMPIQUES. ET ÇA,
C'EST GRÂCE À VOTRE GESTE DE TRI.

PLUS D'INFORMATIONS SUR LE RECYCLAGE
SUR TRIERCESTDONNER.FR

CITEO

Donnons ensemble une nouvelle vie à nos produits

PAS DE SUPERCAR AU GARAGE MAIS JE FAIS PARTIE DU 1%

DAVID LORRAIN
est fondateur de RecycLivre, membre du collectif 1% for the Planet. Chaque année, RecycLivre reverse 1% de son chiffre d'affaires à la protection de l'environnement.

Rejoignez le mouvement sur onepercentfortheplanet.fr

1% FOR THE PLANET

CONCEPTION / PRODUCTION : .yz