

Agriculture

Quelles solutions pour demain?

Agroclimatologie / Séquestration du carbone /
Souveraineté alimentaire



SCIENCE & VIE ET OBJECTIF SCIENCES INTERNATIONAL
PRÉSENTENT

terra
SCIENTIFICA

Salon international
des sciences participatives
et du voyage scientifique

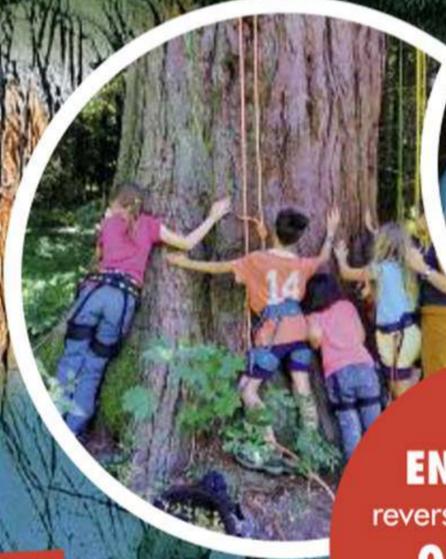
LE SALON DES VOYAGES QUI ONT DU SENS

Vos prochaines vacances se trouvent ici !

Venez en solo, en famille ou entre amis à la rencontre des agences de voyages, associations, parcs naturels et centres de recherche.

Ateliers • Conférences • Expositions

Tout pour réussir un voyage à votre image.



2^e ÉDITION

ENTRÉE 2€
reversés à une ONG*
OU ENTRÉE GRATUITE
sur inscription

**Les 24, 25 & 26
mars 2023**

à la Cité des sciences et de l'industrie, Paris

WWW.TERRA-SCIENTIFICA.COM • INFO@TERRA-SCIENTIFICA.COM
TÉL. : +33 (0)1 85 08 17 40

* Vous pouvez vous inscrire gratuitement en ligne sur www.terra-scientifica.com (en amont ou sur place) ou bien payer 2€. L'intégralité de la somme récoltée sera reversée au programme de protection de la Panthère des neiges.

SCIENCE & VIE

Objectif
Sciences
International
Since 1992

Avec la
participation
de :

cité
sciences
et industrie

Une publication du groupe
 **REWorld MEDIA**
 LEADING MEDIA GROUP

ÉDITEUR
 Reworld Media Magazines SAS
 Siège social: 40 avenue Aristide-Briand, 92220 Bagneux
 Directeur de la publication: Gautier Normand
 Actionnaire: Président Reworld Media France
 (RCS Nanterre 477 494 371)
 Tél. accueil: 01 41 33 55 00
 www.science-et-vie.com
 SERVICE LECTEURS: sev.lecteurs@reworldmedia.com

RÉDACTION
 DIRECTRICE DE LA RÉDACTION: Karine Zagaroli
 DIRECTEUR ADJOINT DES RÉDACTIONS SCIENCE & VIE:
 Philippe Bourbeillon
 ASSISTANTE DES RÉDACTIONS SCIENCE & VIE ET SCIENCE & VIE
 HORS-SÉRIE: Christelle Borelli

RÉALISATION SCIENCE & VIE HORS-SÉRIE

COM'Presse. 6 rue Tarnac, 47220 Astaffort. Tél. 05 53 48 17 60
 RÉDACTRICE EN CHEF: Danielle McCaffrey
 RÉDACTRICE EN CHEF ADJOINTE: Amanda Schrepf
 DIRECTEUR ARTISTIQUE: Émilien Guillon
 RÉDACTRICE PHOTO: Géraldine Lafont
 SECRÉTAIRES DE RÉDACTION: Christel Baridon, Amélie Borgne,
 Nicolas Chrétien, Gaëlle Combacon, Lita Doval, Jérôme
 Le Dantec, Marion Pires, Charlene Torres, Olivier Vignancour
ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO: Kheira Bettayeb, Riva Brinet-
 Spiesser, Armelle Camelin, Marine Couturier, Adrien Denèle,
 Coralie Hancock, Pascale-Emmanuelle Lapernat-Guilhaumon,
 Simon Martin, Vincent Ourso, Héloïse Rambert, Jérôme
 Schrepf

DIRECTION-ÉDITION
 ÉDITEUR: Germain Périnet
 ÉDITRICE ADJOINTE: Charlotte Mignerey

PUBLICITÉ
 DIRECTRICE GÉNÉRALE: Élodie Bretaudeau-Fontailles
 CONTACTS PUBLICITÉ: Nathalie Barbox (43 90)
 PLANNING: Angélique Consoli (53 52),
 Stéphanie Guillard (53 50)
 RESPONSABLE TRAFIC: Catherine Leblanc (43 86)

MARKETING / INTERNATIONAL
 RESPONSABLE MARKETING: Giliane Douls

ABONNEMENTS ET DIFFUSION
 DIRECTRICE MARKETING CLIENT: Catherine Grimaud
 DIRECTEUR DES VENTES: Christophe Chantrel
 RESPONSABLE VENTES MARCHÉ: Siham Daassa
 RESPONSABLE DIFFUSION: Isabelle Fargier

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS
 Une question sur votre abonnement? Appelez-nous au 01 46 48 48 96
 (de 8 h à 20 h, du lundi au samedi, prix d'un appel local).
 Ou rendez-vous sur www.serviceabomag.fr, dans votre espace client
 Vous voulez vous abonner? Rendez-vous sur www.kiosquemag.com
 Par courrier: **Service abonnement Science & Vie,**
 59898 LILLE Cedex 9

Pour les États-Unis et le Canada: Express Mag, 8155 rue Larrey,
 Anjou (Québec), H1J 2L5. Tél. 1 800 363-1310 (français)
 et 1 877 363-1310 (anglais); fax (514) 355-3332.
 Pour la Suisse: Edigroup Suisse, 022 860 84 50
 reworld@edigroup.ch
 Pour la Belgique: Edigroup Belgique, 070 233 304
 reworld@edigroup.be
 Autres pays: nous consulter.
 Commande d'anciens numéros et de reliures au 01 46 48 48 83

FABRICATION
 DIRECTION DES OPÉRATIONS INDUSTRIELLES: Bruno Matillat

PRÉPRESSE
 RESPONSABLE DE SERVICE: Sylvain Boularand
 Imprimeur: Elcograf - Italie
 N°ISSN: 1966-9437
 N° de commission paritaire: 1020 K 79977

Dépôt légal: février 2023

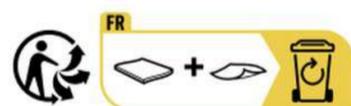


Retour vers le futur

Plus de technologies, de drones, d'innovations? Oui, mais surtout davantage de pédologie (science des sols), d'édaphologie (qui étudie l'influence des caractéristiques des sols sur les végétaux) et de biologie des écosystèmes. S'il y a un consensus, c'est qu'il faut remettre le sol vivant au cœur de l'agriculture pour favoriser la biodiversité: 80 % des variétés de légumes cultivés ont disparu depuis 1945, et 95 % de notre alimentation repose désormais sur moins de 30 espèces de plantes. Parmi elles, 9 (canne à sucre, maïs, riz, blé, pomme de terre, soja, palmier à huile, betterave, manioc) comptent pour 66 % des récoltes mondiales, selon la FAO.

En remplaçant le vivant au cœur de la science agronomique, les permaculteurs qui travaillent avec les chercheurs prouvent cette nécessité: ils économisent la précieuse eau et participent à l'effort de captation du dioxyde de carbone que nous émettons. Le défi est d'assurer cette préservation de l'environnement tout en atteignant une productivité suffisante pour notre souveraineté alimentaire. Les agronomes le disent: il n'est pas question d'un retour en arrière, mais d'un retour au bon sens paysan.

Danielle McCaffrey



AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL	
Origine du papier	Finlande
Taux de fibres recyclées	0%
Certification	PEFC
Impact sur l'eau	Ptot 0,006 kg/tonne



6 C'est dit

Quand les personnalités sont inspirées par l'agriculture de demain



ANALYSER

10 Philippe Mauguin :
"Les agricultures vont devoir changer de façon assez drastique"

Augmentation de la population, alimentation, rendements... le P.-D.G. de l'Inrae explique comment la recherche relève ces nouveaux défis.

18 Où sont passés les insectes pollinisateurs ?

Au-delà de la fructification, ces invertébrés permettent aussi la formation de graines de certaines cultures et l'augmentation des rendements.

20 La lutte s'organise contre les ravageurs

Acclimatation, stérilisation, confusion sexuelle... les armes non chimiques se déploient.

26 Serge Zaka : "On a grandi dans l'excès, sans être conscients des limites"

Le docteur en agroclimatologie dresse le tableau d'une agriculture confrontée au défi climatique.

32 Nos huîtres face au réchauffement

Les élevages subissent le changement de température et l'acidification de l'eau.

36 Gérer l'allocation des ressources

Face au manque de surfaces, énergies renouvelables et cultures se trouvent en concurrence.

39 L'eau à la source du débat

Quelles solutions viables pour accéder à cette ressource vitale ?



Recevez Science & Vie et ses Hors-Série
Votre bulletin d'abonnement se trouve en p. 81. Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com

Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 47 08 ou par internet sur www.kiosquemag.com

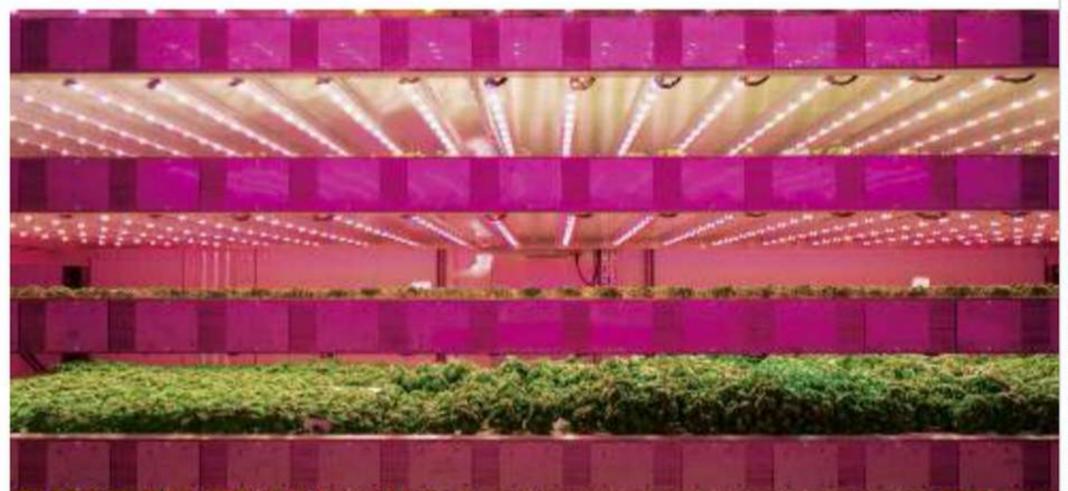
S'INSPIRER

- 44** Marc-André Selosse :
“Le sol est un trésor qui nourrit le monde”
Le spécialiste des sols livre un plaidoyer pour la préservation de cet écosystème négligé, pourtant réservoir de biodiversité.
- 50** Les vers de terre, sauveurs des sols
Confier la fertilisation naturelle de la terre à une armée de lombrics, cela porte un nom : le lombricompostage.
- 52** Les champs de la science
Plongée au cœur de deux fermes où chercheurs et agriculteurs partagent savoirs écologiques et choix techniques.
- 60** Christophe Dupic :
“L'exploitation est autonome en énergie à 80 %”
La distillerie de Christophe Dupic a investi dans des unités de méthanisation aux avantages multiples.
- 64** Nicolas Tonnet : “Questionner la consommation énergétique”
L'ingénieur de recherche à l'Ademe dresse un portrait du parc énergétique agricole et de son potentiel d'évolution avec les énergies renouvelables adaptées.
- 66** La révolution de l'algoculture
Le potentiel des algues est phénoménal : réduire la déforestation, les besoins en eau, les émissions de carbone... tout en nourrissant la planète.
- 75** Le cercle vertueux de l'aquaculture intégrée
Ce système associe plusieurs groupes trophiques pour optimiser l'élevage des poissons et crevettes.
- 76** La biodiversité au cœur de la “smart” agriculture
Les outils numériques s'invitent dans les champs et les serres pour réduire la pénibilité du travail et l'utilisation d'intrants.
- 82** Rééquilibrer les assiettes au labo
Fausse viande, faux fromage... l'innovation des produits végétaux ne délaisse pas pour autant la qualité nutritionnelle.
- 86** Nicolas Beaugendre : “La donnée satellite est objective”
Les cofondateurs de l'entreprise Kermap détaillent comment l'observation des sols depuis l'espace aide à la mise en place d'une agriculture raisonnée.



OPTIMISER

- 94** Claire Chenu et Jean-Luc Chotte :
“Il faudra piéger du CO₂ de l'air et le séquestrer dans les sols agricoles”
Le *carbon farming*, ou culture du carbone, vise à utiliser l'agriculture comme puits de carbone.
- 100** Vers une juste transition des systèmes alimentaires ?
Une étude définit dans quelles conditions la transition agroalimentaire pourrait apporter des avantages socio-économiques.
- 102** Jean Masson : “Les viticulteurs sont coauteurs des études scientifiques”
Changer ses habitudes quand on est agriculteur n'est pas chose aisée... sauf si l'émulation vient du travail en groupe grâce à la recherche-action participative.
- 108** La santé sous surveillance
L'approche *One Health* prend en compte la santé humaine, animale et de l'environnement comme un tout interconnecté.



INTERROGER

- 112** Questions/Réponses
- 116** Culture intensive
- 118** On en parlait déjà
- 122** Quiz



“Aujourd’hui, c’est la Terre qui est menacée.

Ce n’est pas seulement le monde animal et végétal. C’est nous-mêmes, avec les pollutions, l’agriculture industrialisée. Nous avons mille menaces avec des conflits, les fanatismes, les refermetures sur soi. Il y a des causes absolument magnifiques pour les jeunes, la défense de la Terre, la défense de l’humanité, c’est-à-dire l’humanisme”

Edgar Morin, PHILOSOPHE
(FRANCE INFO, 8 JUILLET 2021)

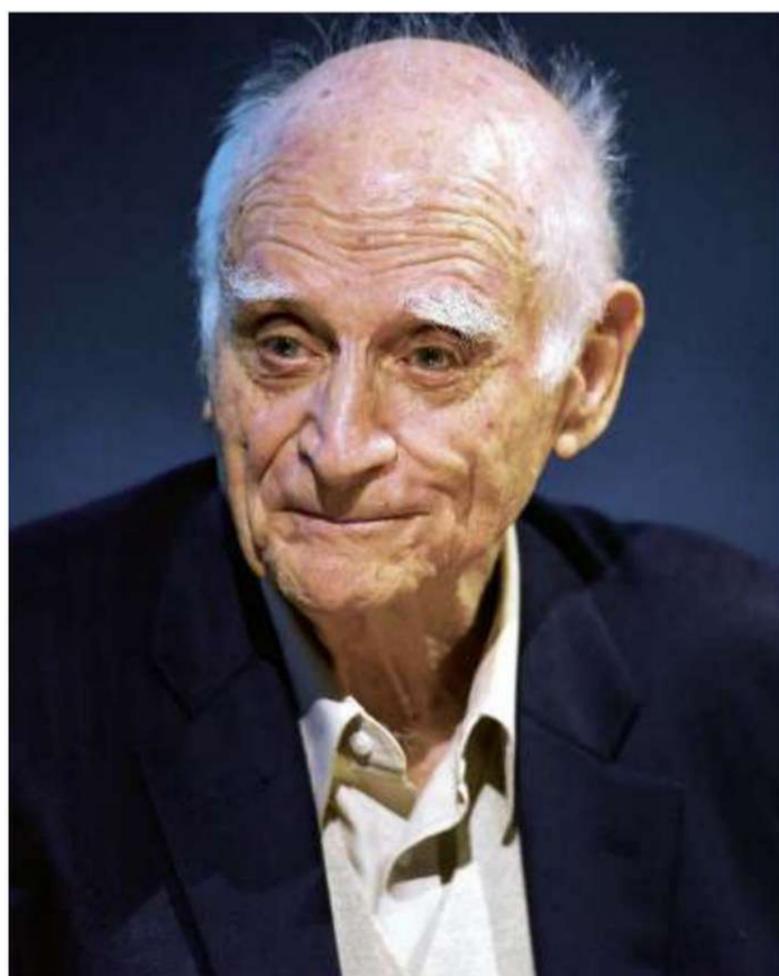
C’EST

“DIT



“La question agricole doit être intégrée à la question globale de la société, parce que l’alimentation, c’est un sujet crucial, et l’équilibre écologique des territoires, c’est un sujet absolument majeur”

Ségolène Royal, ANCIENNE MINISTRE DE L’ENVIRONNEMENT (SALON DE L’AGRICULTURE, 2017)



“L’agriculture, c’est la base de la culture”

Maurice Béjart, DANSEUR-CHORÉGRAPHE (1927-2007)

“Je crois que l’agriculture est un métier de la vie, c’est-à-dire que l’agriculteur est, du point de vue de la faune et de la flore, tout près des questions vitales et des questions de la vie par excellence, et une des fonctions de l’agriculteur, c’est de nous nourrir. L’agriculteur est le père nourricier de l’humanité”

Michel Serres, PHILOSOPHE (1930-2019)



“L’agroécologie est un choix de durabilité pour l’agriculture. C’est un mouvement de fond”

Stéphane Le Foll, ANCIEN MINISTRE DE L’AGRICULTURE, DE L’AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT (LE FIGARO, 17 FÉVRIER 2015)

“Toute la population se nourrissait de ces galets lisses aux formes aléatoires et aux couleurs variant selon qu’ils étaient source de fibres, de glucides, de lipides, de protéines ou de sels minéraux. Les *tutti frutti* mélangeaient les teintes et les apports nutritionnels, à l’instar des repas équilibrés que l’on mâchait avant l’extinction totale de la faune et de la flore”

Marie Aline, AUTEURE (NOUVELLE DYSTOPIQUE CAILLASSE, LE 1, 24 AOÛT 2022)

“L’avenir de l’agriculture doit s’envisager plus largement dans un avenir économique et un avenir physique qui va être essentiellement un avenir de contraction. La croissance à gogo, c’est fini, et c’est dans ce cadre-là qu’il faut penser notre avenir, en se concentrant sur des choses essentielles, et manger en fait partie”

Jean-Marc Jancovici, INGÉNIEUR (TERRE-NET, 5 MAI 2022)



“L’aquaculture peut être une alternative intéressante à la pêche, si on accepte de manger des poissons herbivores comme les Chinois le faisaient il y a mille ans”

Claire Nouvian, FONDATRICE DE L’ASSOCIATION BLOOM

“La condition naturelle à l’homme est de cultiver la terre et de vivre de ses fruits. Le paisible habitant des champs n’a besoin pour sentir son bonheur que de le connaître”

Jean-Jacques Rousseau, PHILOSOPHE (JULIE OULANOUVELLE HÉLOÏSE, 1761)



ANALYSER

- 10** Philippe Mauguin : “Les agricultures vont devoir changer d’une façon assez drastique”
- 18** Où sont passés les insectes pollinisateurs ?
- 20** La lutte s’organise contre les ravageurs
- 26** Serge Zaka : “On a grandi dans l’excès, sans être conscients des limites”
- 32** Nos huîtres face au réchauffement
- 36** Gérer l’allocation des ressources
- 39** L’eau à la source du débat



À la ferme DeGranchamp, à South Haven, Michigan, comme ailleurs en Amérique du Nord, la spectaculaire récolte de la canneberge se déroule à l'automne. En octobre-novembre, les champs de ce fruit autochtone, présent sur le continent bien avant l'arrivée des premiers colons européens, sont inondés pour faciliter le ramassage des baies, qui flottent naturellement à la surface de l'eau. Les États-Unis sont les premiers producteurs mondiaux de canneberge, avec environ 359 000 t en 2021. Mais l'intensité des sécheresses ou, inversement, les fortes pluies, menacent cette baie emblématique des repas de Thanksgiving, très sensible à la chaleur comme aux champignons causés par l'humidité excessive. **J. S.**



PHILIPPE MAUGUIN

“Les agricultures vont devoir changer de façon assez drastique”

Ingénieur de formation, Philippe Mauguin est le P.-D.G. de l'Institut national de recherche sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae). Il dresse un état des lieux de l'agriculture en France et dans le monde, et présente les recherches et innovations les plus prometteuses pour accompagner le monde agricole vers les changements colossaux qui se présentent à lui. PAR ARMELLE CAMELIN



SVHS: *La France est le premier producteur agricole européen. C'est une fierté nationale. Mais l'agriculture représente 19 % des émissions de gaz à effet de serre du pays. C'est inquiétant.*

Pression économique d'un côté, écologique de l'autre, quels sont les enjeux actuels pour le monde agricole ?

Philippe Mauguin : En France, en Europe et dans le monde, les agricultures sont

confrontées à une conjonction de défis. Et elles vont devoir changer de façon assez drastique dans les vingt prochaines années. Le défi majeur, c'est d'essayer de nourrir une population qui est croissante dans un contexte qui se dégrade. Le dérèglement climatique s'accélère et s'amplifie. Depuis une dizaine d'années, on mesure l'impact du climat sur les cultures : il contribue par exemple à la stagnation des rendements moyens de blé en Europe, qui étaient en augmentation

régulière depuis 1950 grâce au progrès de la génétique et à l'intensification de l'agriculture. Le deuxième défi pour l'agriculture, c'est l'absence de réservoirs de sols agricoles supplémentaires. La progression des métropoles et mégapoles, qui doivent accueillir les nouveaux habitants de la planète, grignote les terrains agricoles. Dans certaines régions du monde, c'est la désertification liée, aussi, au dérèglement climatique qui ronge les terres. Évidemment, on pourrait

L'agriculture représente 19 % de nos gaz à effet de serre, dont 48 % pour le seul élevage. Selon la Stratégie nationale bas-carbone, ces émissions devront avoir été réduites de moitié en 2050.



10%

de la surface agricole utile française est cultivée en bio, loin de l'objectif de 15 % en 2022

dire qu'il y a des réserves de terres dans la forêt, mais il faut protéger les "poumons verts" de la planète si on ne veut pas encore amplifier le dérèglement climatique.

Le troisième défi, c'est la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Vous dites que l'agriculture représente 19 % des émissions de gaz, c'est même un peu plus si on y rattache tout le système alimentaire. Les sources de gaz à effet de serre y sont multiples. On les trouve dans le CO₂ rejeté

par les tracteurs et machines, dans l'épandage d'engrais azoté sur le sol, générateurs de N₂O, l'oxyde nitreux [*protoxyde d'azote, NDLR*], ou dans les émanations de méthane, le CH₄. Les pesticides, les produits phytosanitaires pour la protection des cultures, sont aussi issus de la pétrochimie... Nous entrons donc dans une logique de décarbonation pour limiter les gaz à effet de serre et pour tenir compte de l'enjeu de la biodiversité, qui est menacée.

C'est un problème pour l'ensemble de l'humanité, et en particulier pour les agriculteurs. On sait notamment que les abeilles et les pollinisateurs sont des alliés incontournables de l'agriculture.

Dans ce contexte, un dernier défi se met en place, conséquence de tous les autres : une nouvelle conception des systèmes de production agricole est absolument nécessaire. Il y a par exemple des changements à opérer sur l'élevage pour

Des capteurs physiologiques permettent de détecter 90 à 100 % des problèmes de santé des vaches laitières, souvent deux jours avant l'apparition des signes cliniques

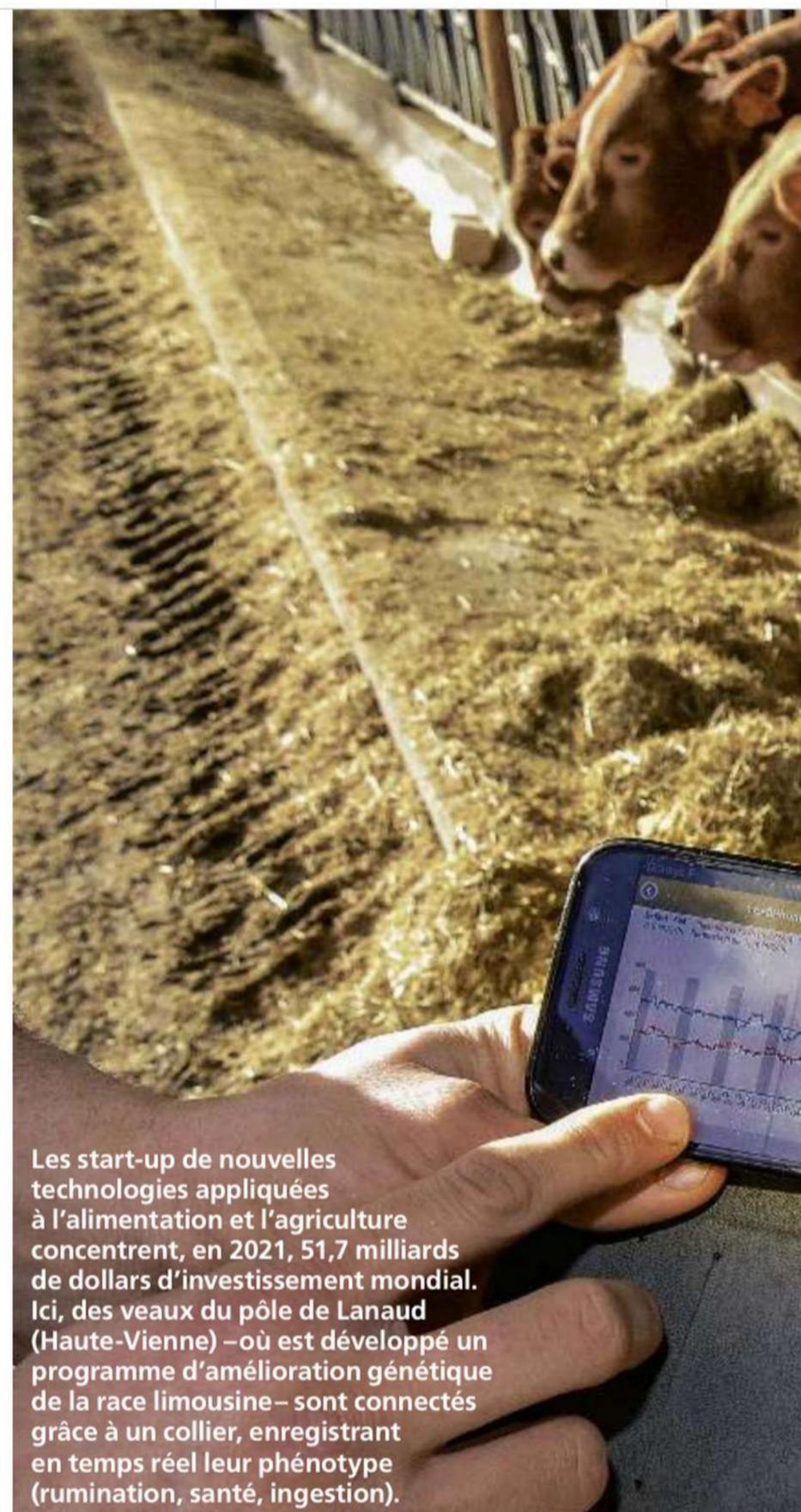
réduire les émissions de méthane. Il y a des modifications à faire sur les grandes cultures pour réduire l'utilisation d'engrais azotés et mieux maîtriser la consommation d'énergie, celle des engins notamment. C'est une équation complexe. Heureusement, des solutions existent et la recherche est pleinement mobilisée en France avec l'Inrae et ses partenaires.

SVHS: Justement, comment se porte le monde de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement dans ce contexte anxieux ?

P.M. : Les chercheurs et la communauté scientifique sont motivés face à ces défis. Nous sommes conscients des attentes fortes de la société vis-à-vis de la recherche. Tout en étant conscients qu'elle seule ne permettra pas de répondre à ces grands défis. Ce serait formidable, mais très naïf de le penser, et ça dissuaderait l'ensemble des acteurs économiques,

les pouvoirs publics et les citoyens consommateurs d'assumer leur part de responsabilité. Il y a besoin d'une mobilisation forte de toutes et tous. C'est à la fois un formidable challenge, et un immense casse-tête en termes de coordination. Et ce n'est pas spécifique à l'agriculture : la transition écologique affecte lourdement tous les grands secteurs de l'économie.

Néanmoins, l'une des difficultés supplémentaires portées par le secteur agricole est qu'il n'y a pas une solution magique, pas une réponse unique qui va permettre de traiter tous les défis que nous venons d'évoquer. Les biotechnologies, par exemple, peuvent nous amener des éléments de solution intéressants, mais ne vont pas rendre possible de concevoir des blés, des colzas ou des cépages de vigne qui auraient des rendements augmentés, seraient à la fois résistants à un climat profondément modifié et à toutes

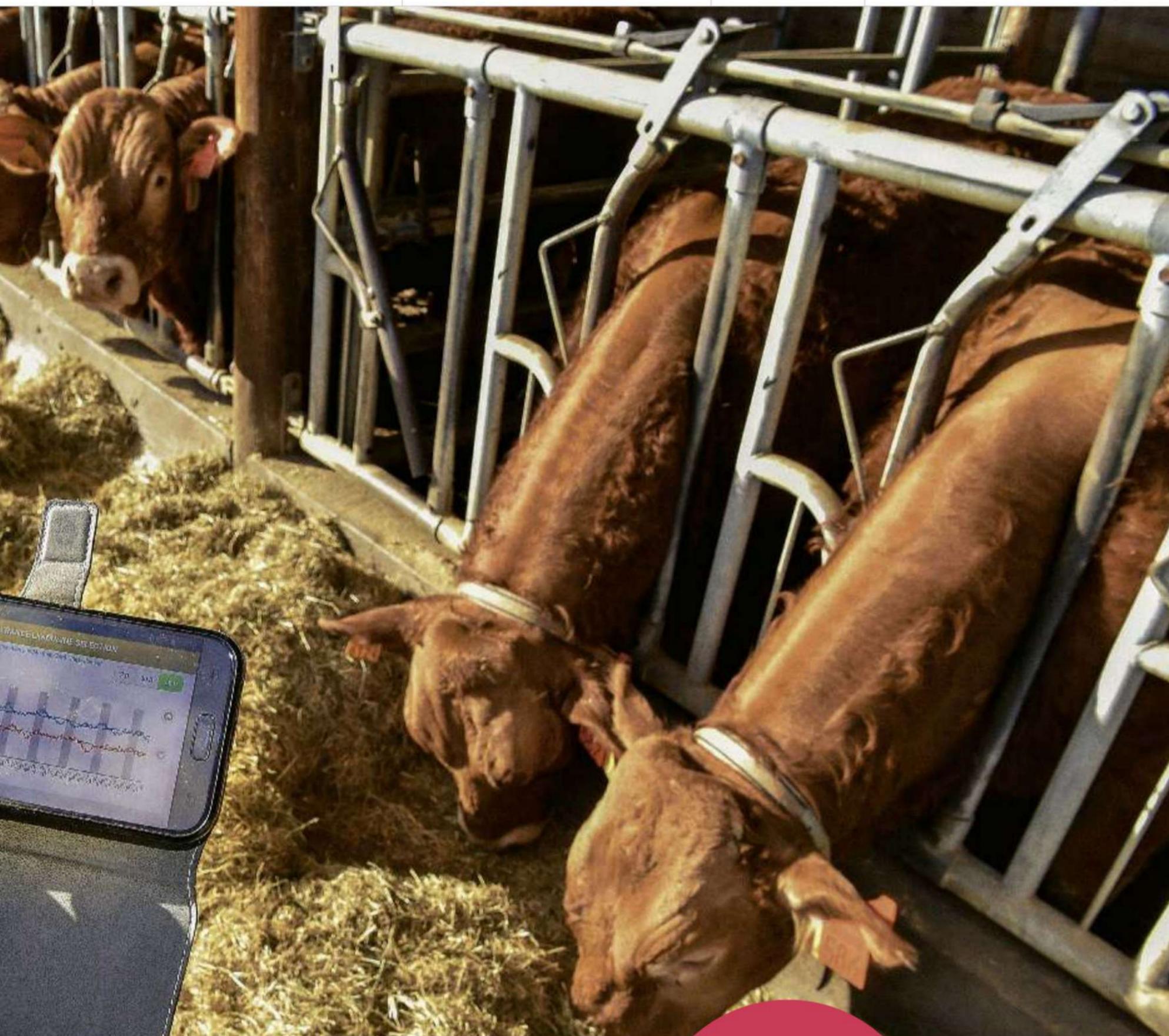


Les start-up de nouvelles technologies appliquées à l'alimentation et l'agriculture concentrent, en 2021, 51,7 milliards de dollars d'investissement mondial. Ici, des veaux du pôle de Lanaud (Haute-Vienne) – où est développé un programme d'amélioration génétique de la race limousine – sont connectés grâce à un collier, enregistrant en temps réel leur phénotype (ruminant, santé, ingestion).

416 436

exploitations agricoles en activité en France en 2020, contre 1,6 million en 1970

les maladies, tout en étant simples d'utilisation pour les agriculteurs. On devra donc mobiliser un bouquet de solutions : être très performants sur les semences, mais aussi sur l'agronomie, la diversification des cultures, les nouvelles sources de protection des cultures issues de la nature, les capteurs, voire l'utilisation de drones pour une agriculture de précision. Tous ces aspects sont importants : il n'y a pas de solution



unique. Dans le secteur automobile, on cible la transition écologique sur un objectif majeur : le passage du véhicule thermique à l'électrique. On ne peut pas résumer la transition agroécologique comme cela : elle est une combinaison de solutions.

SVHS : Comment faire pour mettre en place cette combinaison de solutions ?

P.M. : C'est compliqué parce qu'on n'a pas deux ou trois usines en France à faire

changer. On a plus de 400 000 exploitations agricoles qui ont toutes leur spécificité. Dans un premier temps, nous concevons cette combinaison dans nos laboratoires, dans nos fermes pilotes et, ensuite, il faut les déployer sur tout le territoire en tenant compte des conditions agroclimatiques différentes d'une région à une autre. Alors, je reviens à votre question précédente : oui, les chercheurs sont motivés, très

5 kilos
de protéines végétales
sont nécessaires pour
produire 1 kilo de
protéine animale

mobilisés pour apporter toute la contribution possible de la science à ces défis, mais ils ne pourront pas être les seuls acteurs.

Les solutions et innovations doivent être coconstruites avec les instituts techniques, les acteurs de la recherche professionnelle, les chambres d'agriculture, les coopératives, les lycées agricoles... La pyramide des âges de l'agriculture française est élevée : pas loin

Selon le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, les exploitations agricoles ayant installé des dispositifs d'énergies renouvelables peuvent en tirer un revenu complémentaire allant jusqu'à 15000 €.



65 ha

en moyenne en 2020,
contre 53 ha en 2010 : les
exploitations françaises
s'agrandissent

de 150 000 exploitations vont changer de main dans les dix ans, avec des départs à la retraite. C'est un défi démographique et une opportunité puisque de nouvelles générations issues de l'enseignement agricole, qui est très performant en

France, vont arriver. Il faut s'assurer – et c'est l'une des propositions du ministère de l'Agriculture – que la transmission des exploitations aux jeunes agricultrices et agriculteurs qui s'installent soit l'occasion d'une transition agroécologique réussie.

participative. Étant donné l'ampleur des défis à relever, la complexité des solutions à apporter et le temps court pour y arriver, on n'a pas d'autre option que de changer aussi notre façon de conduire des projets de recherche et d'innovation. Il ne faut pas être démagogique : tout ne peut pas se faire avec des agriculteurs dans le laboratoire. Mais, concernant la combinaison des leviers que je viens d'évoquer, on s'aperçoit qu'il est tout à fait pertinent de tester ces solutions auprès de groupes d'agriculteurs,

SVHS : Pensez-vous que la recherche participative qui inclut l'agriculteur dans les projets est pertinente ?

P.M. : C'est fondamental. L'Inrae a été l'un des premiers organismes à tester des solutions de recherche

“ La transition agroécologique est une combinaison de solutions ”

“ Les légumineuses ont la particularité de capturer l’azote atmosphérique pour l’assimiler dans le sol et ainsi réduire le besoin en engrais ”



La permaculture est une technique respectueuse de l’environnement basée sur la synergie entre les différentes cultures. Elle peut être viable économiquement, comme ici à la ferme du Bec Hellouin, dans l’Eure, haut lieu de la pratique.

qui sont aussi souvent des sources d’innovation.

Par exemple, nous effectuons des recherches sur la rotation et la diversification des cultures pour avoir une meilleure couverture des sols. L’une des propositions est de cultiver plus de légumineuses. Elles ont trois atouts. Le premier : elles ont la particularité de capturer l’azote atmosphérique pour l’assimiler dans le sol et ainsi réduire le besoin en engrais. Le deuxième : elles sont intéressantes pour nourrir les troupeaux en

50%

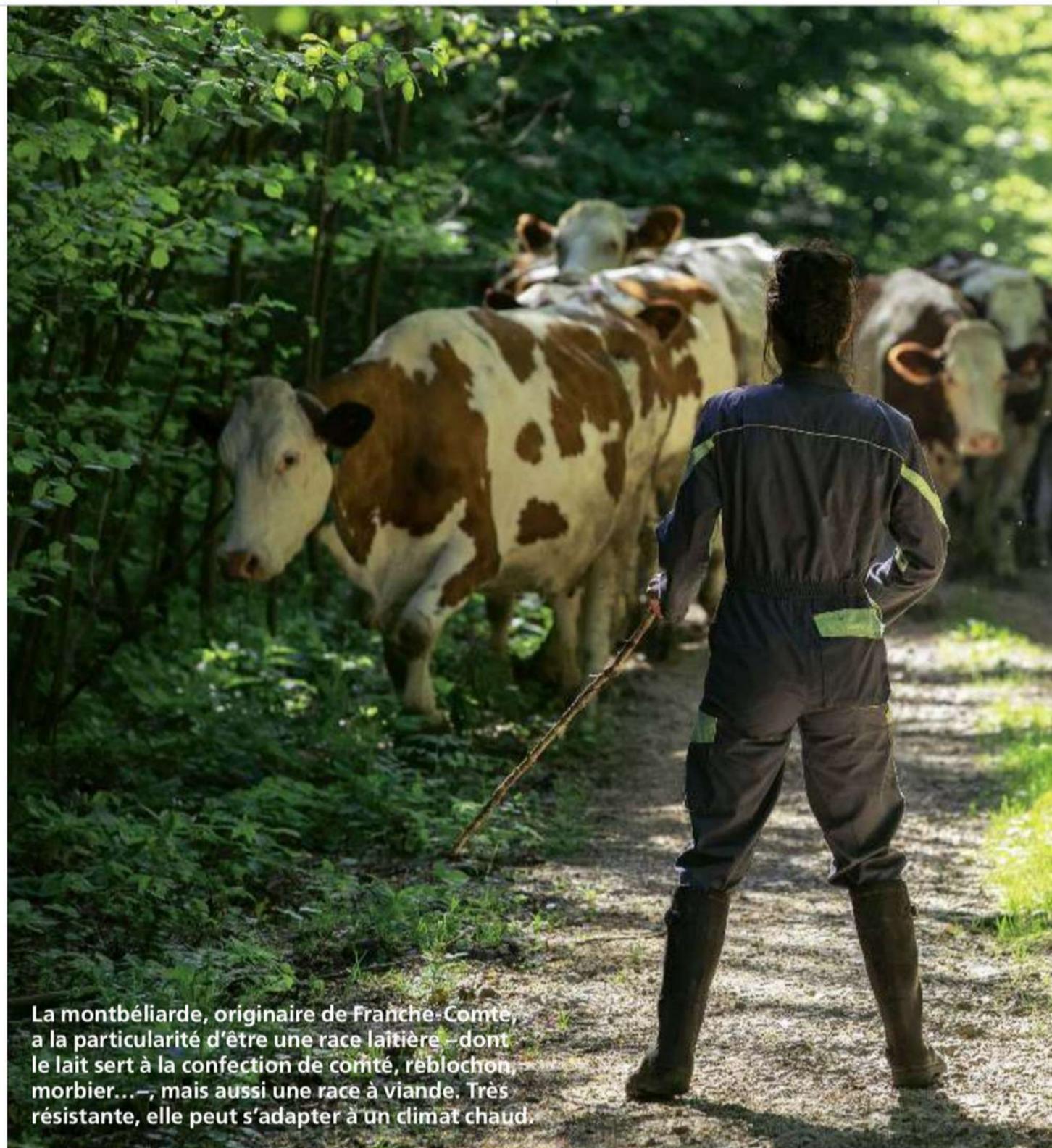
des fruits et légumes
consommés en France
sont importés

substitution du soja importé du Brésil. Dernier atout : elles peuvent être aussi une source de protéines végétales précieuse pour l’alimentation humaine. Alors nous testons la culture de légumineuses dans les unités expérimentales de l’Inrae, et dans des conditions réelles chez des agriculteurs intéressés par l’innovation. La recherche participative sera l’un des leviers pour réussir le changement d’échelle ou la massification : c’est-à-dire le transfert de nos solutions

à 3 000 exploitations agricoles, puis 30 000, puis 300 000. Nous animons avec les chambres d’agriculture un réseau de 3 000 fermes pilotes, qui sont les fermes Dephy (avec le “phy” de phytosanitaire). Elles testent nos solutions pour réduire l’utilisation des pesticides. Les résultats sont probants : selon les productions, on a pu baisser la consommation de 20 à 40 %, sans perte de rendement.

SVHS: Le numérique va-t-il aider les exploitations dans leurs transformations ?

P.M. : Oui, et ce qui est impressionnant avec le numérique, c'est qu'il est partout : dans nos laboratoires de recherche, dans nos unités expérimentales, dans les fermes agricoles. La digitalisation de l'agriculture s'amplifie. En premier lieu, le numérique est intéressant dans une approche agroécologique. Prenons l'exemple des produits phytosanitaires : on a longtemps dit que les pesticides étaient un parapluie chimique qui protège les récoltes des attaques d'insectes ou de champignons. Problème : ils coûtent de l'argent, nuisent à la biodiversité et à l'environnement. Mais ils ont l'avantage, pour les agriculteurs, d'être efficaces et sécurisants. Si on veut réduire leur utilisation sans perdre nos récoltes, il faut apporter aux agriculteurs d'autres solutions de protection. Le numérique est une part de la solution. Par exemple, un drone qui embarque une caméra de détection couplée à un GPS permettra à l'agriculteur de détecter les premiers symptômes de mildiou sur des feuilles de vigne, et d'intervenir précocement et uniquement sur la zone infectée. Un autre exemple de l'utilité du numérique dans l'agriculture concerne la conduite des cultures. Grâce à des données de télédétection de la qualité des sols et des rendements des micro-parcelles, les agriculteurs peuvent mieux piloter leur



La montbéliarde, originaire de Franche-Comté, a la particularité d'être une race laitière – dont le lait sert à la confection de comté, reblochon, morbier... –, mais aussi une race à viande. Très résistante, elle peut s'adapter à un climat chaud.

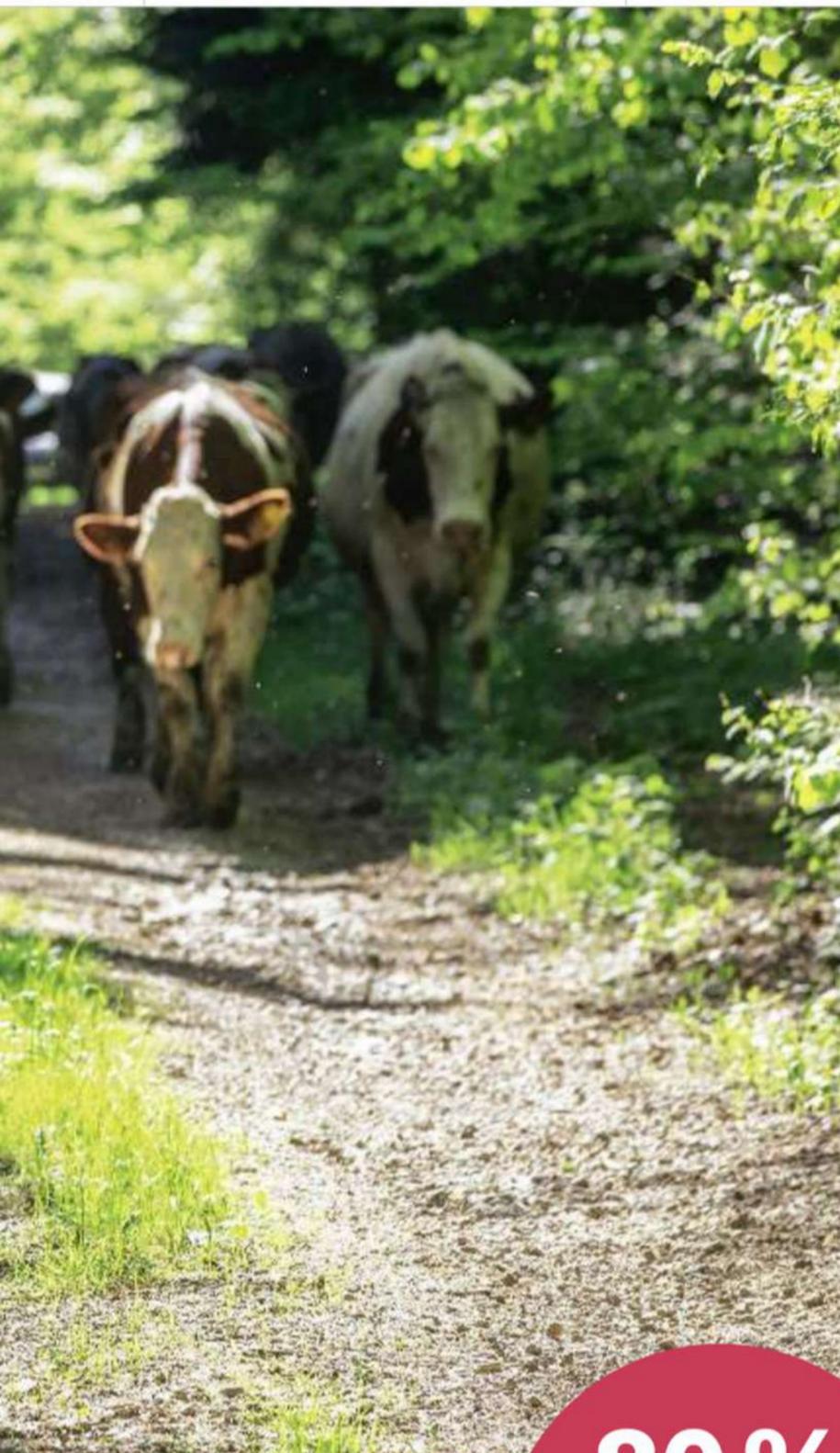
25%
des chefs d'exploitation, coexploitants ou associés en France avaient plus de 60 ans en 2020

exploitation. Nous travaillons actuellement sur des épandeurs de précision qui proposent un apport parfaitement maîtrisé des engrais azotés en fonction des besoins de la parcelle et au regard des rendements des années précédentes. Le numérique apporte aussi des solutions pour l'élevage : des capteurs physiologiques permettent de détecter 90 à 100 % des problèmes de santé des vaches laitières, souvent deux jours avant l'apparition des signes cliniques. C'est positif

pour le bien-être animal, et cela réduit l'utilisation des antibiotiques, et donc le développement de l'antibiorésistance.

SVHS : Sur quel autre pan de la recherche pariez-vous ?

P.M. : Le microbiote. Nous connaissons tous évidemment le microbiote intestinal humain et son effet sur la santé, mais les plantes ont aussi leur microbiote : sur leur système racinaire et sur leurs feuilles. Et la connaissance de ces systèmes microbiens – qui étaient, jusque-là, peu explorés – est un sujet de recherche et d'innovation pour demain.



80%
des nouvelles
installations françaises
en élevage sont équipées
en robots de traite

On peut envisager, à terme, des semences enrobées de micro-organismes ayant un effet positif sur le développement de la plantule. Au niveau des feuilles, on peut imaginer, à l'avenir, des solutions de biocontrôle pour la protection des plantes qui représentent des alternatives aux pesticides. On s'intéresse également au microbiote des animaux d'élevage pour réduire leurs émissions de méthane.

SVHS: Vous avez lancé, il ya peu, un programme

“ Le numérique est intéressant dans une approche agroécologique ”

de recherche sur les ferments. Ont-ils eux aussi un rôle à jouer dans les changements qui s'opèrent dans le monde agricole ?

P.M. : Oui, les ferments, c'est le lien entre la transition des agricultures et l'évolution des régimes alimentaires. Ça va de soi, mais ça va mieux en le disant ! Si on a une évolution forte des systèmes de production agricole, il faudra que cela se fasse en même temps qu'une évolution des systèmes alimentaires. On parlait tout à l'heure de l'intérêt de développer les légumineuses pour les exploitations agricoles ;

elles peuvent aussi avoir un rôle dans le rééquilibrage du régime alimentaire des Européens et des Français. Sauf que, pour qu'elles arrivent dans nos assiettes, des entreprises doivent les acheter et les transformer. Et pour avoir des produits attractifs, bons et pas trop chers, la fermentation est un procédé intéressant. Elle permet de conserver les aliments, de faire évoluer leur goût : on le savait déjà pour le vin, le fromage, le pain, les charcuteries, mais cela peut s'appliquer à d'autres aliments d'origine végétale. Si on veut réussir la transition agroécologique

de l'agriculture française et de celles du monde, il faudra qu'elles soient intégrées dans une transition plus globale des systèmes alimentaires.

SVHS: Ces défis et solutions sont colossaux. La recherche a-t-elle les moyens de conduire ses projets ?

P.M. : Nos moyens sont en augmentation. Le ministère de la Recherche nous a confié le pilotage de PEPR (Programmes et équipements prioritaires de recherche), accompagné de moyens renforcés. Cela rentre dans le plan France 2030, lancé il y a deux ans par le président de la République, avec une cinquantaine de milliards d'euros investis pour l'ensemble des secteurs de l'économie française. Nous pilotons dix programmes prioritaires, dont un sur l'agroécologie et le numérique, un autre sur la sélection génétique pour s'adapter au changement du climat, un troisième sur le microbiote et un quatrième sur les produits biosourcés. Concrètement, nous disposons de 470 millions d'euros supplémentaires pour l'ensemble de ces programmes de recherche, qui mobiliseront toute la communauté scientifique française. ■

Un système gagnant-gagnant: l'installation de ruches dans un verger pour la production de miel et de gelée royale, tout en assurant la pollinisation par les abeilles des pommes AOP du Limousin.



OÙ SONT PASSÉS LES INSECTES POLLINISATEURS?

La communauté scientifique alerte sur le déclin des insectes. Or ces derniers jouent un rôle essentiel dans la reproduction des plantes cultivées. PAR CORALIE HANCOK

Environ 35 % du volume de la production végétale agricole mondiale dépend au moins en partie de la pollinisation par les insectes. Et si les cultures les plus importantes (blé, maïs, riz...) et la viticulture ne sont pas concernées, d'autres pourraient au contraire disparaître en l'absence de ces animaux invertébrés. "En France, les insectes pollinisateurs sont en grande majorité des abeilles – on en compte près de 1 000

espèces sauvages, en plus de l'Apis mellifica – et, à l'exception des vergers de pêchers, elles sont essentielles pour l'arboriculture fruitière", explique Bernard Vaissière, chargé de recherche au sein de l'unité Abeilles et environnement de l'Inrae d'Avignon. "Sans elles, la production de pommes baisserait probablement de 90 % et, pour les kiwis, la dépendance est quasi totale. Elles jouent également un rôle important en maraîchage, en particulier pour les cucurbitacées (courges,

melons, pastèques...) dont les fleurs femelles ne donnent un fruit que si elles ont été visitées par des insectes s'étant d'abord rendus sur des fleurs mâles." Du côté des grandes cultures, comme le tournesol, les insectes pollinisateurs ne sont pas indispensables, mais, indique Adam Vanbergen, directeur de recherche dans l'unité Agroécologie de l'Inrae de Dijon, "ils en augmentent le rendement ou jouent sur la stabilité de celui-ci". "Il ne faut pas oublier non plus les cultures porte-graines : si on n'a pas besoin d'insectes pollinisateurs pour produire des carottes ou des choux, leur action est nécessaire pour la formation des graines de ces cultures", ajoute Bernard Vaissière. Enfin, si certaines plantes pourraient théoriquement se passer d'insectes, leur mode de culture les en rend dépendantes. Pour que la pollinisation s'effectue, les fleurs de tomate doivent "vibrer". En plein champ, le vent suffit... mais pas dans les serres ! Si bien qu'on a longtemps eu recours à la pollinisation manuelle. "Des ouvriers secouaient les rameaux fleuris avec des bâtons", raconte Roselyne Souriau, responsable scientifique chez Savéol. Mais cette technique a été abandonnée depuis que la coopérative agricole élève ses propres bourdons. "Ils sont plus efficaces et

▼ Dans les serres, les fleurs de tomate s'autopollinisent, mais, pour cela, elles ont besoin de "vibrer". Une légère secousse manuelle suffit à obtenir des fruits.



▲ La pollinisation sous serre peut également se faire grâce à des ruches de bourdons installées au milieu des plants.

permettent également une culture à contre-saison : pour avoir des tomates en mars, on a des fleurs en janvier, au moment où les bourdons sauvages hibernent", détaille Roselyne Souriau.

UN DÉCLIN DES RENDEMENTS

Le recours à l'élevage constitue d'ailleurs un des moyens pour faire face au déclin des rendements généré par la raréfaction des insectes. "Aux États-Unis, la domestication de deux espèces d'abeilles sauvages a été maîtrisée pour assurer la pollinisation de la luzerne", indique Bernard Vaissière. Et, en France, les apiculteurs sont de plus en plus nombreux à louer leurs ruches aux agriculteurs. "Néanmoins, précise-t-il, des études ont montré que les abeilles sauvages sont plus efficaces que leurs cousines mellifères, et ce quelle que soit la densité de ces dernières. En fait, pour avoir une pollinisation optimale, une grande diversité d'abeilles est nécessaire." Sabrina Gaba, directrice de recherche Inrae au Centre d'études biologiques de Chizé, est du même avis : "En plaine céréalière, entre les pics de floraison des cultures de colza et de tournesol, les abeilles domestiques se nourrissent sur les plantes sauvages, développe-t-elle. Or, la pollinisation de celles-ci dépend beaucoup des abeilles sauvages. Il est important d'avoir une approche systémique." Dès lors, la solution la plus efficace est de préserver des habitats semi-naturels. "Le rétablissement des haies et des bandes fleuries est une nécessité", conclut Adam Vanbergen. ■

La lutte s'organise contre les ravageurs

Le plan Écophyto II ambitionne de réduire de 50 % la consommation de produits phytosanitaires de synthèse entre 2015 et 2025. Les agriculteurs doivent donc se tourner vers des solutions alternatives, dites de biocontrôle, pour protéger leurs cultures des insectes, champignons et autres ravageurs. PAR CORALIE HANCOK

Les solutions alternatives, regroupées sous le terme de "biocontrôle", sont en plein essor. En 2021, elles représentaient en France un chiffre d'affaires de 274 millions d'euros, soit 13 % du marché de la protection des plantes. Le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire estimait en juin 2022 que 56 % des problèmes à résoudre en matière de protection des plantes disposaient d'une solution de biocontrôle (contre 40 % en 2020). Mais leur marge de progression est encore grande et dépend à la fois des innovations technologiques et de leur mise en application par les agriculteurs.

LA LUTTE BIOLOGIQUE

"La lutte biologique consiste à utiliser des organismes vivants, appelés auxiliaires,

contre d'autres organismes vivants qui, eux, sont nuisibles pour les cultures", explique Nicolas Ris, ingénieur de recherche à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) au sein de l'Institut Sophia Agrobiotech. Les organismes employés peuvent être des macro-organismes (insectes ou acariens prédateurs, insectes parasitoïdes, vers nématodes...) ou des micro-organismes. Ainsi, la bactérie *Bacillus thuringiensis*, qui produit une toxine létale pour les insectes, est le deuxième insecticide le plus utilisé au monde. Quant au virus de la granulose du carpocapse, il sert à lutter contre un lépidoptère redouté des arboriculteurs, le carpocapse des pommes.

Plusieurs stratégies de combat biologique existent. D'abord, celle dite d'acclimatation, essentiellement employée contre les ravageurs



La coccinelle à sept points fait partie des espèces intégrées dans la lutte biologique contre les ravageurs. Ses larves, commercialisées, peuvent se nourrir de 100 à 1000 pucerons par jour.



➤ Dans ces cubes enveloppés de tulle, les chercheurs de l'Inrae élèvent *Mastrus ridens*, un parasitoïde qui s'attaque au carpocapse (*Cydia pomonella*), le papillon ravageur de la pomme quand il est au stade larvaire (ci-contre).

exotiques. "Lorsqu'un ravageur exotique s'installe, il vient sans son cortège d'ennemis naturels. C'est pour cela qu'il provoque des dommages aussi importants. La lutte biologique par acclimatation consiste à introduire l'ennemi naturel du ravageur, issu de son aire d'origine, avec pour objectif qu'il s'installe de façon pérenne et contrôle ainsi sur le long terme les populations de ravageurs", précise Nicolas Ris. Cette stratégie a pour la première fois été utilisée en 1889, en Californie, lorsque



les agrumiculteurs ont introduit une coccinelle australienne pour combattre une cochenille, elle aussi originaire d'Australie. En 2010, une étude chiffrait à 6 158 le nombre d'opérations de lutte biologique par acclimatation réalisées dans le monde. Et d'autres ont eu lieu depuis. En France, l'Inrae a par exemple acclimaté *Torymus sinensis*, une petite guêpe chinoise dont les larves parasitent celles du cynips du châtaignier, un hyménoptère ravageur du châtaignier. L'institut organise actuellement des lâchers d'une autre guêpe qui, elle, parasite les larves du carpocapse des pommes.

“ La lutte biologique par acclimatation consiste à introduire l'ennemi naturel du ravageur, issu de son aire d'origine ”





▲ Lors des tests en laboratoire, des formulations de biopesticides sont appliquées sur des disques de feuille qui seront livrés à des insectes pendant une journée. Il s'agit ensuite d'évaluer l'efficacité du biopesticide en observant le taux de survie des ravageurs pendant les sept jours suivants.

La deuxième stratégie de lutte biologique est dite d'augmentation : elle consiste en des lâchers plus ou moins répétés et/ou massifs d'auxiliaires en vue d'un contrôle temporaire du ravageur ciblé. Les auxiliaires sont, dans ce cas, produits en masse et commercialisés par des entreprises spécialisées. Par exemple, Biobest, basée en Belgique, commercialise une trentaine d'auxiliaires, parmi lesquels *Macrolophus pygmaeus*, une punaise prédatrice des aleurodes, de la mineuse de la tomate ou des araignées rouges. Quant à la

“ Il existe quelques herbicides naturels comme l'acide pélargonique ”

coopérative agricole Savéol, elle produit elle-même ses insectes auxiliaires et a aussi misé, entre autres, sur *Macrolophus pygmaeus* pour protéger ses tomates cultivées sous serre.

LA TECHNIQUE DE L'INSECTE STÉRILE

La technique de l'insecte stérile consiste à réaliser des lâchers... de l'insecte contre lequel on cherche à lutter ! Mais avant cela, seuls les mâles sont sélectionnés puis exposés à un rayonnement ionisant, ce qui rend leurs spermatozoïdes dysfonctionnels. Relâchés, ils vont entrer en concurrence avec les autres mâles pour s'accoupler avec les femelles. Mais les œufs issus de leurs accouplements n'éclore jamais. Si les lâchers sont suffisamment conséquents, cela a pour effet de diminuer la taille de la population d'insectes ravageurs. La technique a pour la première fois été utilisée aux États-Unis dans les années 1950 contre la lucilie bouchère, une mouche qui pond ses œufs dans les plaies des animaux de bétail. Cette méthode, peu considérée jusqu'alors en France, connaît aujourd'hui un regain d'intérêt. Ainsi, plusieurs essais pilotes sont prochainement prévus pour lutter contre le carpocapse dans les exploitations de noix en Isère, la mouche méditerranéenne des fruits en Corse et la drosophile à ailes tachetées, une petite mouche qui pond sur les fruits et provoque leur dégradation. Le Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes s'est même doté, en 2021, d'une plateforme de R&D dédiée au développement de cette technique.

LES PLANTES DE SERVICE

Les plantes peuvent aussi constituer des alliées de choix pour lutter contre les ravageurs

> Cette boîte contient des punaises *Macrolophus pygmaeus* utilisées en lutte biologique contre les aleurodes –ou mouches blanches– et les acariens de la tomate et de l'aubergine.

des cultures, et ce de plusieurs manières. D'abord, elles peuvent être utilisées comme moyens de diversion ou comme pièges : au lieu d'aller se nourrir sur les plantes cultivées, les insectes vont s'installer sur d'autres plantes mises en place en petite quantité à côté des cultures. "Nous avons montré une assez bonne efficacité du colza et de la moutarde d'Abyssinie pour débarrasser les choux des punaises et des altises", indique Jérôme Lambion, expérimentateur en maraîchage au sein du Groupe de recherche en agriculture biologique. "La difficulté, tempère-t-il, c'est qu'il faut ensuite trouver une solution pour que la plante-piège ne devienne pas un refuge où viennent se multiplier les ravageurs."

Autre intérêt des plantes : elles peuvent favoriser l'installation des auxiliaires. "En lutte biologique, les guêpes parasitoïdes sont très utilisées : ce sont leurs larves qui s'attaquent aux ravageurs. Sauf que pour avoir des larves, il faut d'abord avoir des adultes, et ces adultes ne sont pas insectivores, ils se nourrissent au contraire de nectar ou de pollen. D'où l'idée d'installer des bandes fleuries qui vont attirer ces adultes", détaille Jérôme Lambion. Mais toutes les fleurs ne conviennent pas. Des travaux de recherche sont donc menés pour identifier les plantes les plus adaptées. "Le souci officinal s'est révélé assez efficace pour attirer *Macrolophus pygmaeus*, et, quand on sait que cet insecte est vendu 17 centimes la pièce, planter quelques pieds de souci au milieu de ses tomates peut s'avérer une stratégie très intéressante d'un point de vue économique", souligne le chercheur.

LES SUBSTANCES D'ORIGINE NATURELLE

Le biocontrôle peut aussi s'appuyer sur l'utilisation de substances naturelles d'origine animale, végétale ou minérale, qui vont avoir un effet délétère sur les ravageurs. "Le phosphate ferrique est, par exemple, une substance d'origine minérale assez efficace



contre les limaces ; il pourrait cependant être mieux déployé, car seulement 10 à 15 % des surfaces traitées contre les gastéropodes le sont à l'aide de ce produit naturel", indique Denis Longevialle, directeur général d'IBMA France, l'association des entreprises de produits de biocontrôle. Et d'ajouter : "Il existe également quelques herbicides naturels comme l'acide pélargonique, mais le secteur des herbicides est encore un domaine peu développé du biocontrôle. Des innovations sont encore nécessaires."

LES MÉDIATEURS CHIMIQUES

"L'olfaction est un sens extrêmement bien développé chez les insectes. Ils l'utilisent

“ La confusion sexuelle est utilisée en arboriculture et viticulture, mais reste encore peu répandue en France ”



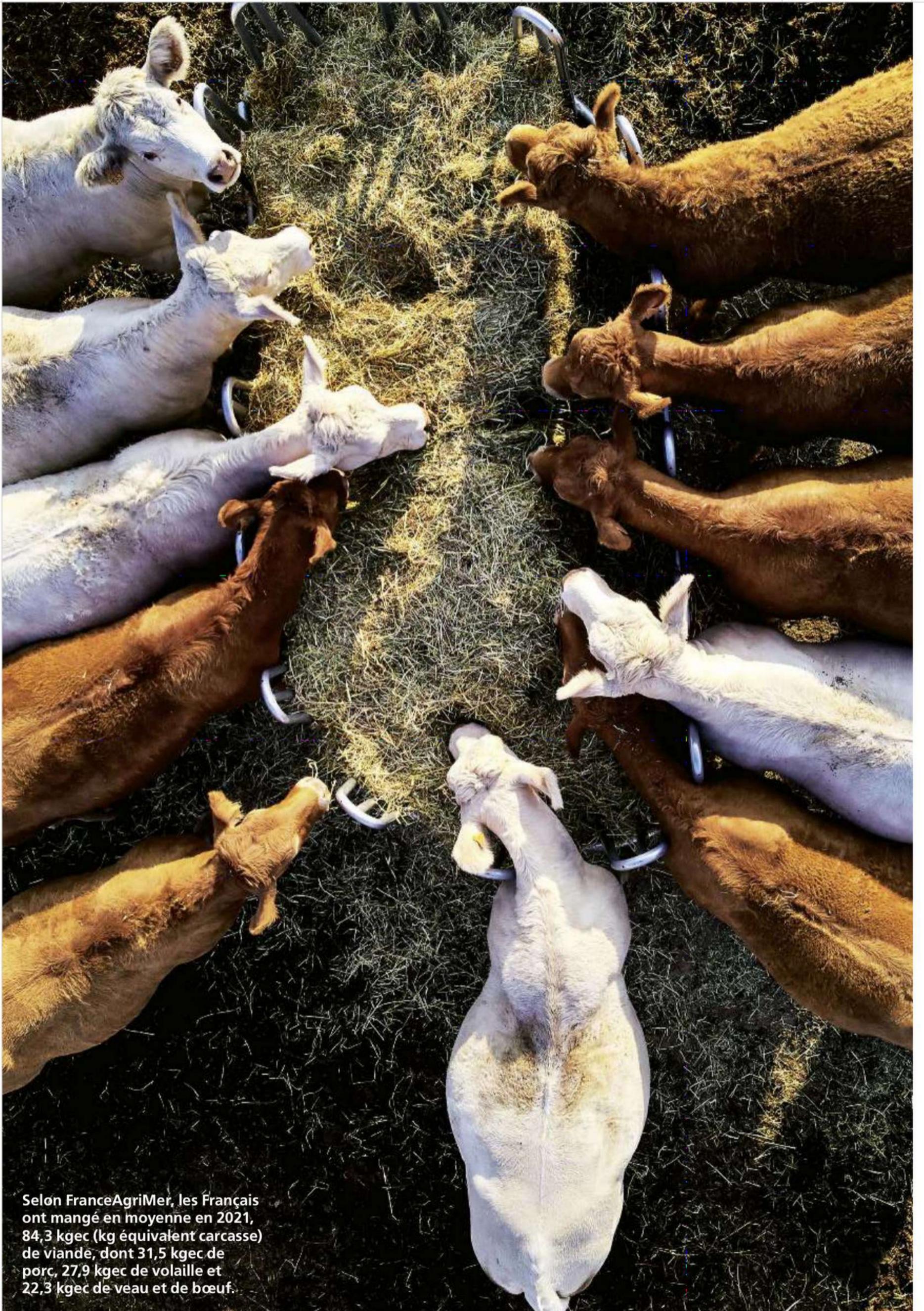
< Ce piège de confusion sexuelle, placé à côté du pied de vigne, diffuse des phéromones femelles en grande quantité, troublant ainsi les mâles, qui ne peuvent se reproduire. Ci-dessous, un autre type de piège à phéromones, qui contient deux plaques engluées où viendront se coller les ravageurs.



à la fois pour repérer les plantes dont ils se nourrissent et les partenaires sexuels avec lesquels ils cherchent à se reproduire. En biocontrôle, on détourne cette faculté aux dépens de l'insecte, soit avec des phéromones – les substances chimiques produites pour la communication intraspécifique, en particulier pour attirer un partenaire sexuel –, soit avec des kairomones, qui, elles, sont émises pour la

communication interspécifique, par exemple par une plante pour attirer ou repousser un insecte”, détaille Emmanuelle Jacquin-Joly, chercheuse et spécialiste de l'écologie chimique à l'Inrae. Les phéromones sexuelles sont particulièrement utilisées pour piéger les lépidoptères, soit en surveillance – ce qui permet de traiter uniquement lorsque le ravageur est présent –, soit pour réduire leur population. Les phéromones sexuelles sont également à la base de la technique dite de confusion sexuelle. “On diffuse une grande quantité de phéromones sexuelles dans les cultures, ce qui a pour effet de désorienter les mâles, qui ne parviennent alors plus à trouver les femelles, explique la chercheuse. La confusion sexuelle est utilisée en arboriculture et viticulture, mais reste encore peu répandue en France – moins de 15 % du vignoble français est protégé par cette technique –, car elle nécessite beaucoup de main-d'œuvre, d'où un coût important. Des recherches sont en cours pour améliorer son efficacité, réduire son coût et étendre son action.”

Les kairomones constituent également un vaste champ de recherche. “Les odeurs de plantes sont plus diverses d'un point de vue structural et plus nombreuses que les phéromones, il est donc plus difficile de déterminer lesquelles exactement attirent ou repoussent les insectes”, souligne Emmanuelle Jacquin-Joly. Pour contourner cette difficulté, la chercheuse et son équipe ont développé une nouvelle approche : l'écologie chimique inverse. Elle consiste à déterminer la nature des récepteurs olfactifs d'un insecte à partir de son génome, puis à rechercher dans d'immenses bases de données les substances les plus susceptibles d'activer ces récepteurs olfactifs. “Grâce à cette technique, nous avons réussi à trouver de nouvelles substances attractives de la noctuelle du coton, un papillon polyphage préoccupant qui sévit dans le sud de la France”, indique Emmanuelle Jacquin-Joly. ■



© SÉBASTIEN RABANY / PHOTONONSTOP

Selon FranceAgriMer, les Français ont mangé en moyenne en 2021, 84,3 kgec (kg équivalent carcasse) de viande, dont 31,5 kgec de porc, 27,9 kgec de volaille et 22,3 kgec de veau et de bœuf.

SERGE ZAKA

“On a grandi dans l'excès, sans être conscients des limites”

Comment adapter notre agriculture à un climat soumis à des événements extrêmes plus fréquents et intenses ? Pour le docteur en agroclimatologie Serge Zaka, du cabinet de conseil ITK, il est urgent de préparer dès à présent le monde de demain. À moins de subir des pénuries alimentaires de plus en plus dramatiques. PAR ADRIEN DENÈLE



SVHS: Avons-nous encore le choix de ne rien changer à notre agriculture ?

Serge Zaka :

Il y a deux scénarios possibles. Soit nous ne changeons rien, et les pénuries ou rationnements seront fréquents, soit nous adaptons notre agriculture pour la rendre plus résiliente et plus adaptée aux climats futurs. Je ne veux pas

être trop alarmiste : nous ne sommes pas à l'aube de la fin du monde, et l'agriculture française n'est pas vouée à disparaître ! D'ailleurs, certains pays ont déjà notre climat de 2050, et survivent. Mais il faudra s'attendre à des rationnements en cas de mauvaises récoltes, et donc savoir s'adapter.

SVHS: Quelles menaces planent sur l'agriculture française ?

S. Z. : Il y en a plusieurs. Tout d'abord, le risque de gel

tardif, alors que des bourgeons sont déjà présents, qui cause de plus en plus de dégâts. En 2022, on a compté pour près de 4 milliards de pertes ! Et on estime qu'une augmentation de 20 % de ces événements se produira d'ici à 2050. Autre menace bien connue : la multiplication des épisodes de sécheresse ou de canicule. Là encore, l'année 2022 en est un exemple parfait. Chaque année, l'été va devenir peu à peu une saison de pertes, alors qu'avant, ce n'était

“ *La végétation française comportera davantage d'oliviers, du sorgho à la place du maïs, de l'orge au lieu du blé...* ”

Il existe plusieurs variétés de sorgho, dont le blanc (à gauche), utilisé en oisellerie, et le rouge (à droite), destiné à l'alimentation animale et humaine sous forme de farine.



qu'exceptionnel. On a ainsi, désormais, un ou deux jours où la température dépasse les 35°C à Brest. Dans le Rhône, on les dépasse pendant quinze jours, en moyenne, alors qu'il y a quelques décennies, c'était moins de trois jours. Ces stress thermiques et hydriques vont se multiplier, et il faut s'y préparer. Tous ces bouleversements climatiques vont déboussoler les écosystèmes. On assiste à des floraisons tardives en automne, qui, d'année en année, affaiblissent les végétaux, ce qui peut favoriser l'apparition ou l'expansion de maladies qui, elles aussi, évoluent. Ce point reste toutefois à surveiller, car si certaines seront favorisées, d'autres, comme celles causées par les champignons, qui ont besoin d'eau, pourraient diminuer.

SVHS: Doit-on s'attendre à un changement radical de la flore française ?

S. Z. : On assistera probablement à la disparition de nombreux écosystèmes actuels... Mais attention, je tiens à être clair, ce ne sera pas une désertification. Car, là où des espèces disparaîtront, elles seront remplacées par d'autres, venues du sud. Mais le problème réside dans le fait que le climat changera plus vite que ce renouvellement d'espèces. D'où une phase de transition douloureuse. À moins que nous n'agissions nous-mêmes, préventivement, pour remplacer ces espèces. Il faudra s'inspirer des espèces méditerranéennes. Si le Bassin s'assèche, on retrouvera son type de climat plus au nord. On s'attend ainsi à le voir

sur la métropole lyonnaise dès 2070 ! La végétation française comportera donc davantage d'oliviers, du sorgho à la place du maïs, mais pas forcément partout. Et, en tout cas, de l'orge au lieu du blé, car plus économe en eau, et ainsi de suite.

SVHS: Les pénuries nous ramèneront à une époque que l'on pensait révolue...

S. Z. : On a grandi dans l'excès, sans être conscients des limites. Évidemment, cela conduit à des pénuries. C'est assez flagrant concernant l'évolution de la pensée sur les engrais. La génération actuelle est critique, sans avoir vécu les pénuries des mauvaises récoltes, alors que les anciennes, qui les ont subies, avaient accepté leur usage.

Le meilleur exemple est le blé, notre “emblème national”. Ses rendements étaient bas entre 1815 et 1945, avec parfois plusieurs années de pénurie. Les engrais ont alors permis d’améliorer beaucoup les rendements, et, à l’époque tout le monde en voyait les aspects positifs. Il y a désormais un changement de paradigme sur cette question. D’autant que, depuis les années 2000, on voit une stabilisation des rendements agricoles, malgré des avancées scientifiques, due à 80 % au changement climatique, qui inhibe les progrès scientifiques des dernières années.

SVHS : *Comment conserver les rendements modernes sans se passer complètement des engrais ?*

S. Z. : Depuis les années 1950, nous étions dans une logique

“ Le changement climatique inhibe les progrès scientifiques des dernières années ”

productiviste. Désormais, elle est plus protectionniste. L’objectif ne sera pas de produire davantage, ni moins, mais de stabiliser les récoltes. Pour cela, il faut développer des alternatives plus intelligentes. Sur le plan sanitaire, on ne prend un médicament que si l’on pense être malade. Alors qu’actuellement, en agriculture, on répand beaucoup de pesticides en prévention. Grâce à l’agriculture dite

▼ **L’installation de chaufferettes dans les vignes vise à réduire l’impact du gel sur les bourgeons, qui tendent à se développer de plus en plus tôt à cause du réchauffement climatique.**

numérique, que nous pratiquons chez ITK, nous avons recours, par exemple, aux prévisions météo afin de prévoir le meilleur moment pour utiliser un fongicide. Cela permet de produire toujours autant, mais sans gaspiller de ressources et avec moins de pesticides. Bien sûr, d’autres méthodes doivent être utilisées en parallèle, comme limiter le gaspillage alimentaire, évalué à hauteur de 20 % en France. Il faudra également s’adapter au climat en agriculture, en décalant par exemple le fourrage de l’été au printemps.





“ *En parallèle des changements de pratiques agricoles, il est nécessaire de modifier notre alimentation* ”

SVHS: Quelle alimentation conseillez-vous pour permettre à l'agriculture de s'adapter en douceur ?

S. Z. : En parallèle des changements de pratiques agricoles, il nous faut modifier notre alimentation. C'est inéluctable, car de nouvelles espèces vont migrer depuis le sud. Il faut s'y préparer dès maintenant et développer de nouvelles filières.

En résumé, nous aurons sans doute moins de maïs, mais plus de sorgho, plus résistant à la chaleur, du mil, des agrumes, qui seront produits en France. Ces nouvelles espèces se traduiront dans notre alimentation. Nous mangerons davantage de légumineuses, de haricots, de lentilles. C'est utile pour le climat, car cela stocke de l'azote. Et cela rejoint les

▲ **Moins de précipitations et plus de sécheresses. L'évolution du climat met en péril certaines cultures, comme le maïs, qui seront soumises à un fort stress hydrique.**

conseils des nutritionnistes, qui disent que nous n'en consommons pas assez ! En revanche, nous mangeons trop de viande, et surtout trop de bœuf, qui nécessite de nombreuses récoltes de fourrage [céréales, soja, maïs, etc., NDLR]. On se rapprochera donc du régime crétois ou libanais !

SVHS: Faut-il pour autant abandonner la viande ?

S. Z. : Il n'est pas intéressant, d'un point de vue climatique ou agricole, de supprimer totalement la viande ou l'élevage. Car cette activité permet de fertiliser les sols. Et, dans certains paysages,



comme en Auvergne ou dans les Pyrénées, on ne peut rien faire d'autre que de l'élevage. Si on supprime cette pratique, on détruira l'économie locale, et cela entraînera un dépeuplement. Il me semble donc important de conserver une part d'élevage, d'autant que les prairies permettent aussi un stockage du carbone. En résumé, il faut réduire les émissions de carbone des productions de viande et de laitages, et le stocker davantage. Donc, consommer moins de viande rouge et plus d'huiles végétales. Il faudra en parallèle apprendre à mieux se nourrir : limiter le gaspillage, manger des produits écologiquement et sanitaire­ment vertueux et améliorer l'éducation alimentaire des plus jeunes. Tout cela au-delà des lobbys, qu'ils soient proviande ou vegan.

“ Il faut réduire les émissions de carbone des productions de viande et de laitages, et le stocker davantage ”

SVHS : Vous soulignez régulièrement le rôle géopolitique de l'agriculture. En quoi la France a-t-elle un rôle à jouer à l'international ?

S. Z. : Certains pays ne peuvent pas faire d'agriculture, et ont besoin des exportations des pays situés aux bonnes latitudes. Ce n'est pas un hasard si les plus riches sont ceux dotés de bonnes récoltes ! Historiquement, l'Égypte s'est développée ainsi le long du Nil. Or, de nos jours, on peut créer des villes au milieu du désert grâce aux importations. C'est un

système mondialisé. Mais dès qu'il y a une pénurie, on retourne aux rationnements. La France, du fait de son bilan d'exportation positif, devra conserver une place et un rôle de soutien aux pays démunis. D'autant que, si le changement climatique apporte son lot de perdants, certains pays vont voir leurs rendements augmenter. C'est le cas de la Russie... et de l'Ukraine.

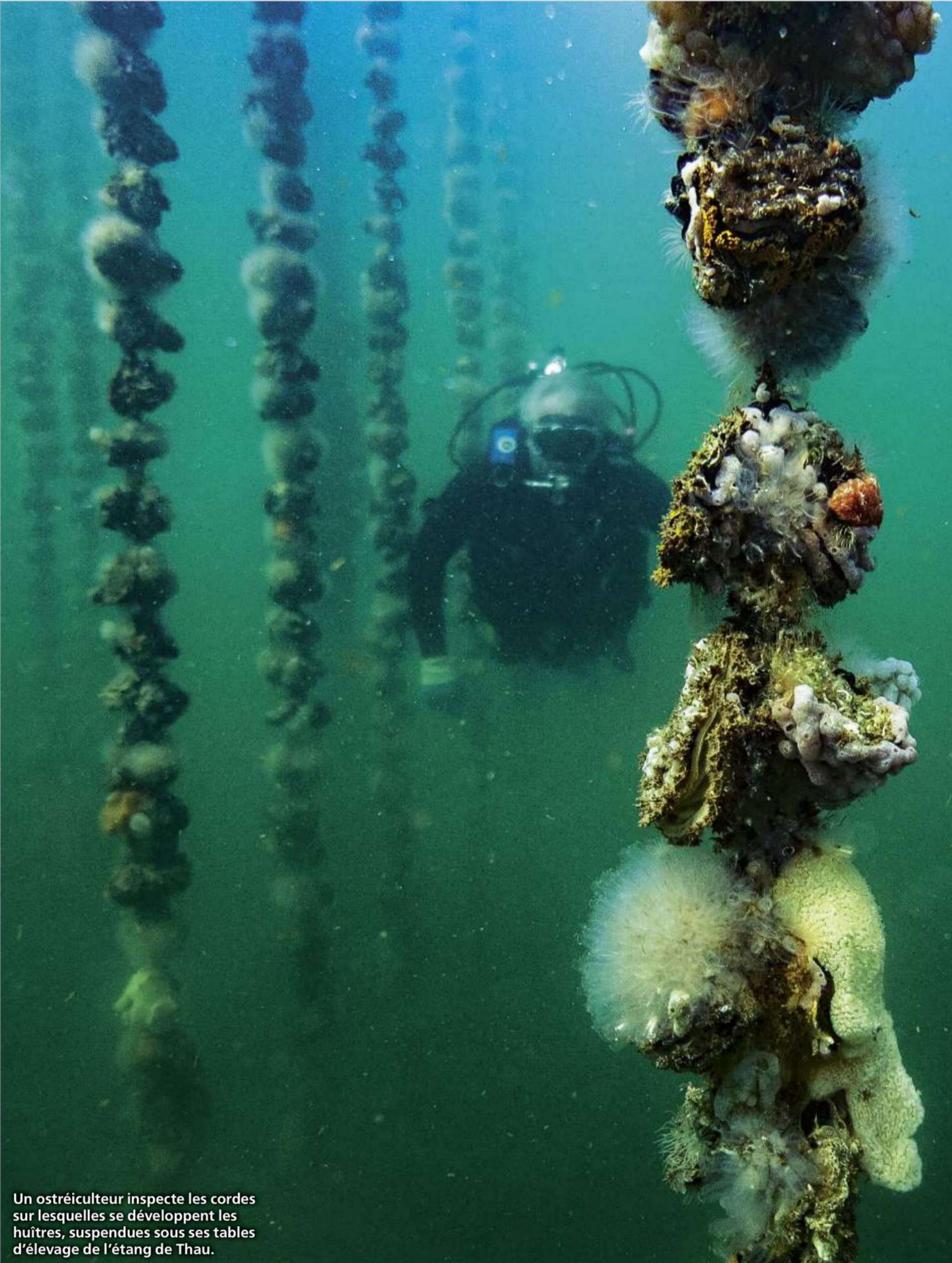
SVHS : L'agriculture peut-elle participer à endiguer le changement climatique ?

S. Z. : C'est notre espoir, en tout cas chez ITK, où nous travaillons à promouvoir des méthodes de stockage du dioxyde de carbone dans les sols. Certaines sont simples, comme planter plus de haies. Mais il faudra accompagner les agriculteurs pour que cela soit efficace, car si c'est à eux de payer le changement, ils ne modifieront tout simplement pas leurs pratiques. D'autres méthodes existent, comme mieux conduire les phases de repos du sol, avec moins de labour, ou apporter davantage d'ombre pour favoriser la fertilisation. À moins de stocker plus concrètement le CO₂ qui, une fois assimilé par les plantes, finit décomposé en humus et reste dans le sol. ■

Comment le changement climatique affecte-t-il la pêche ?

L'océan absorbe 90 % de l'excès de chaleur accumulé dans le système climatique et se réchauffe : 1°C depuis l'ère industrielle. Il absorbe également environ 30 % des émissions de CO₂, provoquant une acidification de l'eau. Conséquence, on assiste à une modification de la répartition des espèces, comme en témoigne José Luis Zambonino, directeur de recherche à l'Ifremer. *“Il y a cinquante ans, aucun bar ne s'aventurait sur les côtes norvégiennes. Aujourd'hui, non seulement leur présence est avérée, mais ils s'y reproduisent très bien.”* Le changement climatique a également un effet sur le plancton, premier maillon de la chaîne alimentaire marine, dont les quantités diminuent. Les poissons ont donc moins de nourriture, mais aussi d'oxygène, et leur croissance s'en trouve affectée. L'Ifremer l'observe en Méditerranée : *“La taille des sardines est passée de 15 à 11 cm en moyenne, leur poids de 30 à 10 g, et les individus de plus de 2 ans ont disparu.”* Un problème pour les pêcheurs, puisque seules les grosses sardines sont commercialisables. M.C.





© Boris HORVAT/AFP

Un ostréiculteur inspecte les cordes sur lesquelles se développent les huîtres, suspendues sous ses tables d'élevage de l'étang de Thau.

Nos huîtres face au réchauffement

L'agriculture, c'est aussi l'élevage de moules, huîtres et autres mollusques. L'étang de Thau, l'une des plus grandes réserves françaises, est aujourd'hui sous étroite surveillance pour comprendre l'impact du réchauffement climatique. PAR ADRIEN DENÈLE

Niché au sud-ouest de Montpellier, l'étang de Thau constitue une réserve unique en son genre. Entre les eaux douces, au nord de Bouzigues, et la mer salée de la presqu'île de Sète, le bassin de 6 790 ha abrite un trésor de biodiversité. Là se trouve l'un des plus grands élevages d'huîtres et de moules de France, étendu sur de larges structures en bois visibles du ciel. Mais ce lieu, comme tant d'autres, fait face à des défis grandissants : maladies, pollution et, surtout, réchauffement.

L'étang est surveillé avec attention par la Station méditerranéenne de l'environnement littoral, située juste en face de la Pointe Courte, le quartier de pêcheurs où Agnès Varda, en 1954, tourna son premier film, précurseur

de la Nouvelle Vague du cinéma français. Taux de sel, concentration d'oxygène, pH, présence de bactéries... De multiples analyses y sont effectuées chaque année. Il faut dire que cet écrien a déjà vécu quelques catastrophes. Comme entre 1970 et 1973, où près de 60 000 tonnes d'huîtres furent détruites à cause, entre autres, d'une eutrophisation massive, *"c'est-à-dire un apport trop important de matières organiques, du fait de l'activité humaine"*, explique Frédéric Gazeau, directeur adjoint du Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer. L'eutrophisation peut se traduire par une prolifération d'algues ou de bactéries, *"ce qui entraîne une perte d'oxygène pour les autres espèces"*, complète le chercheur. L'installation de stations d'épuration, en amont des déversements d'origine humaine, a permis d'endiguer le phénomène.



▲ Le réchauffement climatique entraîne une désoxygénation de l'eau aux conséquences multiples, dont la mort des algues benthiques qui tapissent le fond de l'étang, et du phytoplancton.

À la suite de cette crise, le bassin a été repeuplé à l'aide d'espèces d'huîtres plus résistantes aux maladies. On importe alors des *Crassostrea gigas* en provenance du Japon, et d'autres du Canada. Cette intervention a relancé, dès 1976, la filière conchylicole locale, pour lui permettre de revenir à un haut niveau puisqu'elle représente, depuis plusieurs années, 10 % de la production française. Cela n'empêche pas l'apparition d'agents pathogènes comme l'*Ostreid herpesvirus-1*, qui entraîne parfois l'arrêt des ventes d'huîtres – en prévention – et décime les populations juvéniles. Malgré tout, la situation

semblait s'améliorer dans le bassin de Thau, avec le retour de nurseries de poissons ou de champs d'herbiers en profondeur.

OBSERVER L'ÉVOLUTION DU PH

Une amélioration... jusqu'à ce que le changement climatique s'en mêle. Lors de la récente canicule de 2019, la hausse de la température de l'eau a ainsi eu pour effet de diminuer la taille du plancton de la lagune, et donc la quantité de matière organique disponible. Le pire est-il à venir? Pour le savoir, Frédéric Gazeau et ses collègues tentent de prévoir l'évolution des conditions du bassin. "Nous souhaitons connaître le futur environnement des huîtres, explique-t-il, et pour cela, nous construisons des conteneurs d'eau salée,

“ Plutôt que de modifier les gènes, on peut agir sur l'expression de ceux déjà présents ”



Il y a une relation claire entre la saturation de carbonates de calcium et la croissance des larves

selon les conditions que l'on prévoit pour 2050 et 2100." Ce projet français au financement européen a pour objectif "d'observer l'évolution du pH du littoral". Le pH, pour potentiel hydrogène, est la mesure de la concentration en protons dans un milieu liquide. Un pH de 7 désigne l'eau pure, de 14 les milieux les plus basiques et de 1 les plus acides. Ce taux traduit un lien direct avec le niveau d'habitabilité d'un milieu, car plus ce dernier est acide, moins les coquillages se développent. L'expérience de Frédéric Gazeau devrait ainsi s'échelonner sur le long terme, "au moins jusqu'à fin 2023", avec "deux conteneurs

▼ Placées dans des nacelles, les huîtres sont retirées de l'eau régulièrement afin que se développe la chair au détriment de la coquille. Or l'acidification de l'eau menace la formation même de la coquille.



d'eau salée, douze bacs, le tout dans les conditions ambiantes plutôt que dans de l'eau filtrée". Les dernières études climatiques se révèlent inquiétantes. "On s'attend à une hausse de 3°C de la température d'ici à la fin du siècle, et une baisse du pH de l'ordre de 0,2 à 0,3", prédit le chercheur. Un chiffre en apparence faible, "mais il faut se souvenir que son échelle est logarithmique, rappelle Frédéric Gazeau. Une baisse d'un point correspond à une multiplication par dix." Si le pH de l'océan est en moyenne de 8,1, celui du bassin de Thau connaît des variations fortes, du fait de son mélange d'eau douce et d'eau salée. "Rien qu'en octobre dernier, il était descendu à 7,4, précise ainsi le chercheur, alors qu'au printemps, il peut remonter à 8,4!"

DES VARIATIONS BRUTALES

Si les espèces locales, huîtres comme plancton, sont habituées à ces variations, le vrai souci risque d'être le taux de saturation en calcium de l'eau, qui conditionne la formation des coquilles. "Il y a aussi une relation claire entre la saturation de carbonate de calcium et la croissance des larves", expose Frédéric Gazeau. Huîtres et oursins ont ainsi besoin de calcite, et d'autres de nacre ou d'aragonite. "Si l'on regarde ce paramètre, on peut s'attendre à une réduction par deux de leur croissance d'ici à 2100."

La vitesse à laquelle vont survenir ces changements reste au centre du problème. Car, si l'océan a déjà subi de nombreuses variations de température, comme en témoignent les 5°C de différence entre la dernière période glaciaire et notre ère, elles n'ont jamais été aussi brutales. "Il faut entre 100 et 1 000 générations pour s'adapter à de telles variations, c'est trop pour les espèces dont la reproduction s'effectue tous les 5 ans." Des essais sont donc en cours, notamment pour introduire des huîtres australiennes dans l'étang. À moins que la clé réside dans les variations épigénétiques : "Plutôt que de modifier les gènes, on peut agir sur l'expression de ceux déjà présents", ce qui offrirait une chance de survie aux espèces de la lagune de Thau, avant leur renouvellement naturel ou d'origine humaine. ■

Gérer l'allocation des ressources

Comment augmenter nos capacités énergétiques et hydrauliques sans sacrifier une partie de l'agriculture ?
Le casse-tête du siècle ne fait que commencer...

PAR ADRIEN DENÈLE

Avec des tensions qui s'amplifient sur le prix de l'énergie, le mix énergétique oblige à se tourner vers des méthodes alternatives. Éoliennes, biocarburants, barrages... Autant de sources d'énergies, avec un inconvénient de taille : l'espace nécessaire à leur construction. Faut-il aller jusqu'à entrer en compétition pour les terres agricoles, et donc risquer des pénuries alimentaires ou des exportations affaiblies ? À moins de suivre les recommandations des experts, et de réduire notre consommation...

En France, 3 % de la surface agricole utile, soit 800 000 ha, sont destinés aux agrocarburants. Autrement dit, la culture de plantes dont l'objectif ne sera ni de nous alimenter ni de nourrir le bétail, mais de devenir un carburant, pour véhicules le plus souvent. L'idée étant bien sûr de ne plus émettre autant de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère, comme le fait actuellement le pétrole transformé en essence. Pétrole, d'ailleurs, déjà issu de matières organiques devenues des



L'agrivoltaïsme permet de mixer sur un même terrain production d'électricité et agriculture. Le système offre également la possibilité de réguler l'ensoleillement ou l'apport hydrique, en protégeant ou non les cultures.





sédiments, au fil de millions d'années passées dans le sol. Augmenter la surface pour les biocarburants signifie employer des terres déjà utilisées en agriculture ou d'en concevoir de nouvelles à partir de forêts ou de prairies inexploitées. Un concept séduisant sur le papier, mais qui l'est moins en pratique à partir du moment où la place vient à manquer ou que la biodiversité est menacée, soit exactement le problème actuel du XXI^e siècle.

En France, la production de l'éthanol, dans la filière bioessence, est issue en majorité de la betterave et de céréales (blé, maïs), mais aussi de résidus de vinification. Afin d'éviter d'utiliser des denrées alimentaires, les recherches se focalisent sur des biocarburants de seconde génération, utilisant des produits impropres à l'alimentation humaine ou animale, comme des huiles alimentaires usagées ou des graisses animales. Chaque région tente de profiter de ses propres ressources inutilisées. Ainsi peut-on employer les huiles de friture usagées dans le Nord, la graisse de canard dans le Sud-Ouest ou les bouillons de ramen au Japon ! Individuellement, ces tentatives semblent dérisoires, mais contribuent à l'essor mondial de ces carburants de substitution. Signe des temps et de la stratégie de mise en avant de ces biocarburants, le Grand Est offrait une prime de 250 € pour financer la mise en place d'un boîtier de conversion qui permette aux propriétaires d'un véhicule à essence non

< La récupération des huiles alimentaires usagées permet de fabriquer des biocarburants de seconde génération, qui peuvent être utilisés sur des véhicules à essence équipés d'un boîtier de conversion (ci-dessus).

neuf de rouler au bioéthanol : la région est l'une des plus grandes productrices de betterave à sucre, avec le Nord. Pourtant son voisin allemand, lui, semble revenir sur le pari du carburant produit à partir de biomasse. Depuis la guerre en Ukraine, Berlin souhaite en limiter la production au profit de ses récoltes alimentaires.

L'HEURE DES CHOIX

Pour Emma Haziza, la directrice de Mayane, le centre de recherche pour la résilience et l'adaptation des territoires face aux risques majeurs et au changement climatique, c'est l'heure des choix. *“Les biocarburants sont une solution si nous ne sommes pas prêts à vivre sans pétrole ou pas tous prêts*

“ Soit on choisit d'avoir autant de viande dans son assiette ; soit on choisit, dans une phase de crise, des mobilités avec des carburants alternatifs ”

à rouler en électrique". Mais faut-il empiéter sur les terres agricoles? "À l'heure actuelle, près de 70 % d'entre elles dans les pays de l'OCDE sont dédiées au bétail, commente Emma Haziza. Nous pourrions réduire notre consommation de viande et produire davantage pour la mobilité, mais ce sont des choix à faire! Soit on choisit d'avoir autant de viande dans son assiette; soit on choisit, dans une phase de crise, des mobilités avec des carburants alternatifs; soit on choisit de s'habiller car, dans le monde, les vêtements ont besoin de chanvre, de coton. Tout notre mode de vie part des champs." Des choix drastiques qui, de l'avis de la spécialiste, passeront par des décisions politiques fortes. "Ce sont des sujets à traiter maintenant, dit-elle. Il faut tout poser sur la table et faire les bon choix au niveau des investissements publics à fournir, selon les secteurs."

SACRIFIER DES TERRES

La France n'a pas la superficie des États-Unis ou de la Chine, où les terres vides de toute population représentent un large pourcentage. Dès lors, si l'on veut construire massivement du renouvelable, éolien comme solaire, il faudra sacrifier des terres. Jusqu'à empiéter sur les champs ou les forêts, et donc sur la biodiversité qui doit pourtant être protégée ardemment? Des contrats sont déjà passés entre agriculteurs et fournisseurs d'électricité pour planter des champs... d'éoliennes. Des constructions parfois critiquées, par crainte de fuites d'huiles ou de la présence de béton dans la terre. Le solaire, quant à lui, reste à 73 % installé en zone urbaine, d'après le ministère de la Transition écologique, du fait de la facilité d'installation sur les toits. Mais si les objectifs de réindustrialisation du pays, et de 50 % de part du renouvelable, sont maintenus pour 2050 (aujourd'hui 13 % de la production électrique primaire), les éoliennes et les panneaux solaires devront s'installer sur chaque parcelle utile. Même ainsi, les scénarios peinent à raconter une alternative totalement renouvelable : l'agriculture dépend de nombreuses énergies ; le chauffage des bâtiments et les moteurs des machines lourdes (tracteurs, moissonneuses) réclament toujours du pétrole ou du gaz...

L'eau à la source du débat

Ressource vitale de l'agriculture, l'eau commence également à manquer. D'où certaines solutions proposées, comme les bassines dans la Vienne. Mais ce pompage d'eau dans le sol en hiver afin de l'utiliser en été n'est pas du goût de tout le monde. "Cela va assécher les nappes phréatiques, où l'eau serait bien mieux conservée!", s'indigne ainsi Emma Haziza. "Il n'y a pas à être forcément pour ou contre ces projets, avance l'hydrologue, mais je m'étonne que personne ne pense aux autres solutions plus intelligentes. Comme la récupération de l'eau de pluie ou la création de bourrelets dans le sol. On nous dit que ce sont les bassines ou



rien, c'est faux !" Le problème des multiples crises énergétiques et de ressources semble difficilement soluble, à moins de renoncer aux objectifs de croissance du monde moderne.

Florence Habets, directrice de recherche au CNRS et hydrogéologue auprès du laboratoire Metis, commente ces récentes problématiques liées à la gestion de l'eau, aux bassines, et à l'adaptation nécessaire face aux sécheresses et maladies de l'eau à venir.



▼ La bassine de Mauzé-sur-le Mignon, dans les Deux-Sèvres, ou Sev 17, a une capacité de 240 000 m³ d'eau provenant des nappes souterraines grâce à trois pompes qui existaient avant la construction de l'ouvrage. Elle doit fournir en eau cinq fermes de onze agriculteurs.

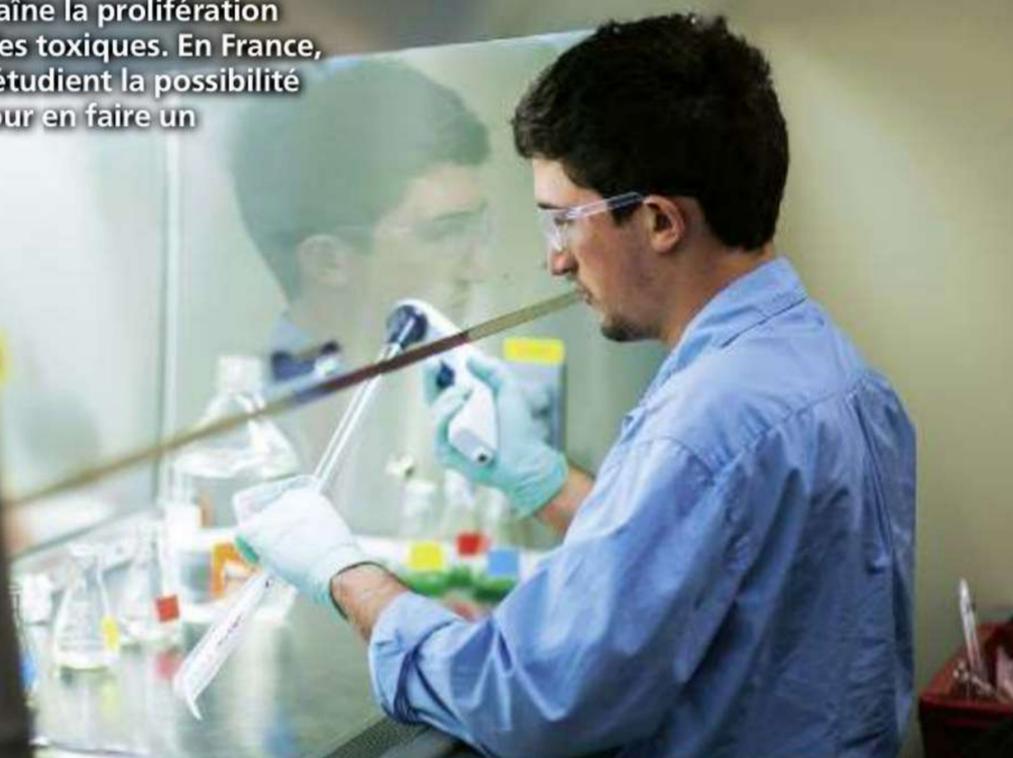
SVHS: Quelles sont, à vos yeux, les solutions à mettre en œuvre dès à présent pour éviter les pénuries d'eau en France ?

Florence Habets: La première c'est de miser sur les économies d'eau... c'est la seule solution de long terme face aux sécheresses futures. Ensuite, de préserver la qualité de l'eau, car si l'eau rare est de mauvaise qualité, on est doublement perdant. En particulier, les pollutions qui ne peuvent pas être

traitées facilement doivent être ciblées directement. Parmi elles, les nutriments issus de l'agriculture sont un problème, car ils génèrent de l'eutrophisation, c'est-à-dire une pollution liée à une surpopulation de matières organiques, dont des apparitions massives de cyanobactéries qui émettent des toxines. Ensuite, il faut adapter nos usages à la ressource en eau disponible même si elle est changeante, avec une tendance à la baisse. Cela veut dire, peut-être, limiter l'urbanisation dans certaines régions, voire limiter l'accueil de touristes, adapter



La stagnation de l'eau associée à son réchauffement et à l'apport de nutriments entraîne la prolifération de cyanobactéries toxiques. En France, des chercheurs étudient la possibilité de les utiliser pour en faire un biocarburant.



l'industrie et l'agriculture aux ressources. Et, bien sûr, il faut favoriser les stockages d'eau capables de se reconstituer. En priorité dans les sols, qui bénéficient très rapidement des pluies, et même de la rosée, et devraient donc être plus résilients aux

pluies intenses. Puis, dans les nappes en sous-sol. Le stockage en surface est déjà très important, mais souffre de nombreux problèmes, dont une fragilité face aux sécheresses longues, avec un risque d'eutrophisation. Son développement a des impacts importants sur les milieux et conduit à un verrouillage technique bien décrit.

SVHS: Les maladies de l'eau vont-elles se multiplier à l'avenir ?

F. H. : Malheureusement, il n'y a aucun doute pour les cyanobactéries... Le risque est accentué avec le réchauffement climatique, du fait de la réduction de la ressource en eau qui devient plus stagnante, d'une température plus élevée, d'un rayonnement solaire abondant et de la présence de trop de nutriments.

SVHS: Au sujet des bassines, est-ce une solution de court terme raisonnable face aux sécheresses en été ?

F. H. : Les bassines ont été conçues comme une solution à un problème causé par de trop nombreux prélèvements pour l'irrigation dans les années 1990. Les premières ont eu un impact positif, du fait de la substitution des prélèvements estivaux en prélèvements hivernaux. Mais l'impact des nouvelles bassines envisagées, dans un contexte de changement climatique, n'a pas été anticipé. Cela paraît incroyable... Ce sont de vieux projets, sans doute pas adaptés aux crises que l'on connaît, y compris à la crise énergétique : ces bassines se remplissent et se vident par pompage, c'est-à-dire avec une consommation importante d'électricité, qui pourrait à elle seule ruiner l'intérêt économique de ces structures.

SVHS: Quelles solutions alors pour réduire l'usage de l'eau en agriculture, sans pénaliser ni les agriculteurs ni les consommateurs ?

F. H. : C'est une bonne question... Je ne pense pas qu'il y ait de réponse unique ni simple. Mais je pense que c'est un leurre de croire que l'on va pouvoir passer les différentes crises du climat, de la biodiversité, de l'énergie... sans perte. A minima, sans perte économique. Si l'alimentation coûte plus cher, comme l'énergie, il faudra modifier beaucoup de choses. L'important est que ces modifications aillent dans une trajectoire qui mène à un équilibre. La solidarité sera une notion importante pour faire face à ces difficultés. ■

“ L'impact des nouvelles bassines envisagées, dans un contexte de changement climatique, n'a pas été anticipé ”

S'INSPIRER



44 Marc-André Selosse : “Le sol est un trésor qui nourrit le monde”

50 Les vers de terre, sauveurs des sols

52 Les champs de la science

60 Christophe Dupic : “L’exploitation est autonome en énergie à 80 %”

64 Nicolas Tonnet : “Questionner la consommation énergétique”

66 La révolution de l’algoculture

75 Le cercle vertueux de l’aquaculture intégrée

76 La biodiversité au cœur de la “smart” agriculture

82 Rééquilibrer les assiettes au labo

86 Nicolas Beaugendre : “La donnée satellite est objective”



Dans la province de Shandong, en Chine, le kelp, une algue brune géante de la famille des laminaires, était traditionnellement utilisé pour recouvrir les toits des maisons. Désormais, les pêcheurs de cette province de l'est du pays tirent des revenus de la macroalgue, des semis jusqu'à la récolte. Sa pousse rapide, jusqu'à 50 cm par jour, permet plusieurs récoltes en hiver. Pouvant mesurer de 30 m à 60 m, le kelp s'organise en forêts marines. Une algoculture vertueuse qui se nourrit des excès de nutriments rejetés dans l'océan par l'industrie, qui ne consomme ni eau ni produits chimiques, et qui produit de l'oxygène et désacidifie l'eau de mer. **J. S.**



MARC-ANDRÉ SELOSSE

“Le sol est un trésor qui nourrit le monde”

L'agriculture conventionnelle actuelle maltraite le sol. Marc-André Selosse, spécialiste des sols au Muséum national d'histoire naturelle, appelle à un plus grand respect de cet écosystème. PAR KHEIRA BETTAYEB



SVHS: Qu'est-ce que le sol, précisément ?

M.-A. S. : Par définition, il correspond à la couche qui s'étend entre l'atmosphère et les roches du sous-sol. Pouvant atteindre quelques mètres d'épaisseur dans nos régions et jusqu'à 100 m dans les régions tropicales, il est loin d'être une simple surface, ou d'être opaque et sale, comme certains le pensent. Il comprend une partie minérale, qui correspond à des débris de roche, dont de multiples morceaux de taille inférieure à 2 mm (sables, limons et argiles), et une partie organique, formée de divers restes d'organismes morts et, surtout, d'une multitude d'organismes vivants. Racines de plantes, vers de terre, collemboles, mais aussi champignons microscopiques, bactéries ou encore virus : le sol fourmille de vie, souvent invisible à l'œil nu !

C'est même l'un des plus grands réservoirs de biodiversité de la planète. Ainsi, il abrite plus de 25 % des espèces animales terrestres. Et 1 g de sol contient plusieurs millions de bactéries, issues de plusieurs milliers d'espèces différentes !

SVHS: Dans votre livre, vous écrivez que "le sol n'est rien de moins que... l'origine du monde!"... Vraiment ?

M.-A. S. : Oui, car non seulement il porte le monde, mais en plus, grâce à son fonctionnement et à sa biodiversité, il remplit plusieurs autres fonctions écologiques majeures, cruciales pour de nombreux écosystèmes.



SVHS: En 2021, vous avez publié L'Origine du monde – une histoire naturelle du sol à l'intention de ceux qui le piétinent*. Pourquoi avoir consacré un livre entier au sol ?

Marc-André Selosse : Pour permettre à tous de mieux connaître cet écosystème négligé, alors que c'est un trésor qui vit sous nos pieds et nous nourrit depuis des millénaires. Moi-même, je ne me suis intéressé au sol que tardivement. En effet, lors de ma formation universitaire

en biologie, on m'en a peu parlé... Il m'a fallu attendre ma formation à l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts. Là, j'ai eu la chance de suivre un cours de Claude Bourguignon, un grand chercheur qui se battait alors pour une nouvelle vision des sols et de leur caractère vivant. Devenu chercheur-enseignant, j'ai décidé de donner moi-même un cours de pédologie [science qui étudie les sols, NDLR] à l'École normale supérieure de Lyon... Bien plus tard, je me suis rendu compte que ce j'apprenais à mes élèves pouvait intéresser tout le monde. D'où mon livre.



Le trèfle planté entre les rangs de vignes fixe l'azote de l'air, maintient l'humidité du sol et repousse les maladies.

Tout d'abord, le sol nourrit le monde ; même l'alimentation issue des eaux continentales et du littoral découle de ses éléments nutritifs, emportés des sols par l'eau de pluie. Ensuite, il influence le climat, soit en le réchauffant, quand il libère des gaz à effet de serre, soit en le refroidissant, quand il les stocke. D'ailleurs, en 2019, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) a consacré son rapport spécial aux sols**. De plus, en absorbant l'eau de pluie et en la relarguant ensuite petit à petit, le sol préserve celle-ci pour les plantes, diminue les risques d'inondation et contribue au maintien du débit des cours d'eau entre deux pluies. Enfin, les

“ 1 g de sol contient plusieurs millions de bactéries, elles-mêmes issues de plusieurs milliers d'espèces différentes ! ”

bactéries et champignons du sol produisent la majorité de nos médicaments, comme des antibiotiques – pénicillines et céphalosporines – ou encore les statines, des anticholestérols.

SVHS: Pourquoi l'agriculture conventionnelle actuelle nuit-elle aux sols ?

M.-A. S. : À cause de quatre pratiques qui la caractérisent, comme le labour, qui

consiste à retourner la couche cultivée d'un sol, avec une charrue en général, avant de l'ensemencer. Ensuite, les engrais minéraux, destinés à apporter aux cultures des nutriments essentiels. Puis les pesticides, utilisés pour lutter contre des organismes considérés comme nuisibles. Et enfin l'irrigation dans les zones sèches. Pour ce qui concerne le labour, et même s'il contribue à aérer le sol

et à déraciner les mauvaises herbes, il laisse les sols à nu et accroît leur érosion. De plus, il réduit la biodiversité en détruisant les filaments des champignons microscopiques et en découvrant tous les animaux du sol, qu'il expose à leurs prédateurs. Enfin, en oxygénant le sol, il active les bactéries qui émettent du CO₂ et détruisent la matière organique du sol, alors que celle-ci sert à retenir l'eau.

SVHS: Quid des trois autres mauvais élèves de l'agriculture intensive ?

M.-A. S. : Concernant les engrais minéraux, en plus de passer dans les rivières et sur les littoraux, où ils favorisent la prolifération d'algues indésirables, ils détruisent une alliance bénéfique qui lie normalement des champignons du sol et les racines de 90 % des plantes : la symbiose mycorhizienne. Les plantes donnent des sucres aux champignons, lesquels, en contrepartie, puisent dans le sol les sels minéraux pour elles. Mais avec les engrais minéraux, la plante n'a plus besoin des champignons. Quant aux pesticides, ils tuent les organismes du sol, dont les vers de terre et les champignons mycorhiziens, ce qui met en péril le fonctionnement de l'écosystème. Enfin, l'irrigation mal réalisée induit une salinisation des sols et les rend toxiques pour les plantes...

SVHS: Est-il trop tard pour agir ?

M.-A. S. : Non, non ! On dit parfois que les sols agricoles



Les déchets des cultures laissés sur place vont se décomposer lentement. Le couvert végétal favorise l'enrichissement du sol.

français sont morts, mais c'est faux. Un remarquable inventaire*** des bactéries recensées dans 2 200 sols de France, réalisé en 2018 par l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement de Dijon, a révélé que les microbes sont aussi abondants et diversifiés dans les sols cultivés que dans ceux de forêts ou de prairies. Donc ces terres ne sont pas

encore mortes. En revanche, l'abondance bactérienne y est 30 à 40 % plus faible. Donc, s'il n'est pas trop tard, il est en revanche urgent de rétablir la richesse des milieux perturbés pour éviter des extinctions.

SVHS: Quelles sont les solutions possibles ?

M.-A. S. : Il en existe au moins deux. La première est l'agriculture biologique, qui

> Sur cette exploitation menée en agriculture biologique de conservation des sols, le non-labour est effectué avec un Rotavator. Cette machine enfouit l'engrais vert (avoine et épeautre), qui vient d'être semé, à 5 cm de profondeur maximum.

remplace les engrais minéraux par des engrais organiques (résidus de récolte, fumier, lisier, etc.), et les pesticides par des méthodes naturelles (bactéries, virus, champignons qui s'attaquent aux indésirables, substances naturelles). À ce jour, le bio ne représente que 15 % de la surface agricole utile en France. L'autre solution est l'agriculture dite de conservation des sols, qui exclut le travail du sol et les engrais minéraux, en couvrant les terres de végétation tout au long de l'année. L'idée est de semer après les récoltes, en fin d'été, des cultures intermédiaires qui fixent l'azote de l'air (luzerne, trèfles, etc.), retiennent l'eau et les minéraux du sol, repoussent des indésirables des cultures suivantes et/ou soignent le sol et sa biodiversité, en nourrissant les champignons mycorhiziens. En plus, cela empêche l'érosion ! Hélas, ce type d'agriculture ne concerne que 4 % de la surface agricole française.

SVHS: Oui, mais concernant le bio, il est plus onéreux à produire et, selon certains, il ne permettrait pas de nourrir toute la planète...

M.-A. S. : Son prix pourrait être compensé par les économies collectives potentiellement réalisables grâce à la réduction des



“ Les bactéries et champignons du sol produisent la majorité de nos médicaments, comme des antibiotiques – pénicillines et céphalosporines – ou encore les statines, des anticholestérols ”

coûts de traitement des eaux (lesquelles sont contaminées par les engrais et les pesticides) et des coûts de santé liés à des maladies dues aux pesticides (cancers, pathologies neurologiques...). Concernant une imaginaire incapacité à nourrir la planète, cet argument est un pur scandale intellectuel ! Pour remédier à cela, il suffit déjà de limiter le gaspillage alimentaire, qui représente 30 % de la production mondiale ; de produire moins de

viande rouge (dont l'excès est néfaste pour la santé) pour libérer des parcelles cultivables (71 % des surfaces européennes sont aujourd'hui dédiées à l'élevage) ; et de sélectionner de nouvelles variétés de plantes capables de produire plus et de résister mieux aux pathogènes.

SVHS: Pour ce qui est de l'agriculture de conservation, elle autorise tout de même les herbicides...



< Chaque parcelle de ce site légumier exploité en bio accueille une variété de légumes. Cela permet la rotation des cultures, préserve la fertilité des sols et réduit les maladies.

artificialisation nette, applicable pour 2050 seulement, peine à changer la donne : elle projette que toute artificialisation d'une terre soit compensée par la désartificialisation d'une surface équivalente ; or, en plus d'être tardive, cette comptabilité n'exige pas que la qualité du sol découvert soit la même que celle des terres recouvertes par ailleurs... Il faut absolument arrêter l'artificialisation des terres agricoles ! C'est crucial pour transmettre à nos enfants des sols en bon état et une autonomie alimentaire. Il ne faudrait pas les rendre dépendants d'agricultures décidées ailleurs... ■

*Éd. Actes Sud.

** Rapport Changement climatique et terres émergées – Rapport spécial du Giec sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres, Giec, 2019.

*** Atlas français des bactéries du sol, Battle Karimi et al., Biotopie / Publications scientifiques du MNHN, 2018.

M.-A. S. : Oui, hélas, elle utilise souvent du glyphosate pour désherber. Néanmoins, on sait désormais que, comparé à un champ labouré, un champ non labouré mais traité au glyphosate contient 25 % de vie en plus. Donc le labour est plus délétère que le glyphosate. Cela dit, il faudra à terme abandonner ce produit, pour gagner encore plus de vie dans le sol ! Pour cela, il faut chercher des alternatives, non seulement pour sortir du glyphosate, mais aussi pour faire du bio et de l'agriculture de conservation à grande échelle. Malheureusement, les financements manquent pour mener ce type de recherches...

SVHS : La récente tribune que vous avez copubliée en décembre alerte sur un autre facteur nuisant aux sols agricoles, l'artificialisation, qui "compromet grandement

la souveraineté alimentaire" de la France... Qu'est-ce que c'est exactement ?

M.-A. S. : Un problème qui me semble plus grave encore que l'agriculture intensive. Car si celle-ci endommage les sols, seule l'urbanisation les tue vraiment. De fait, l'artificialisation correspond à la disparition des sols en raison de l'extension des villes et des infrastructures de transport : en cinquante ans, 10 % de la surface agricole métropolitaine a été artificialisée, soit la surface de la région Paca ! Or, cela détruit durablement la fertilité des sols, qui découle de milliers d'années de fonctionnement. Et la loi Zéro

“ Il faut absolument arrêter l'artificialisation des terres agricoles ! ”





LES VERS DE TERRE, SAUVEURS DES SOLS

Acteurs majeurs de la vie terrestre, les vers de terre aident à cultiver sans utiliser d'engrais chimiques nocifs. La technique du lombricompostage est ainsi amenée à s'étendre. PAR KHEIRA BETTAYEB

Et si pour éviter les dégâts de l'agriculture classique, on mobilisait les vers de terre ? C'est l'idée à l'œuvre derrière le lombricompostage, qui consiste à utiliser ces animaux, dits aussi lombrics, pour transformer les biodéchets riches en matière organique (épluchures, fumier...) en un fertilisant naturel : le lombricompost. Soit une alternative séduisante aux engrais

chimiques. En France, cette pratique agricole ne cesse de se développer : en témoigne la multiplication ces dernières années de producteurs de vers de terre, de lombricomposts et de lombricomposteurs individuels et collectifs.

Souvent mal aimés à cause de leur corps allongé, mou et gluant, les vers de terre constituent pourtant... 80 % de la biomasse (poids) totale des animaux terrestres en milieu tempéré ! D'après une étude menée par l'Observatoire participatif des vers de terre de l'université de Rennes 1, chaque mètre carré de sol en renferme en moyenne 264 individus. Forts de plus de 7 000 espèces (dont 150 rien qu'en France), ils forment même un sous-ordre animal à part entière appelé *Lumbricina*.

Dès le XIX^e siècle, le naturaliste anglais Charles Darwin, père de la théorie de l'évolution, encensa ces discrets animaux : "Il est permis de douter qu'il y ait beaucoup d'autres animaux qui aient joué dans l'histoire du globe un rôle aussi important que ces créatures, d'une organisation si inférieure", écrit-il dans son ouvrage *Rôle des vers de terre dans la formation de la terre végétale* (1882).



C'est que dans l'intimité des sols, ces invertébrés remplissent plusieurs fonctions majeures : *“En creusant des galeries lors de leur déplacement, et en ingérant d'énormes quantités de terre pour se nourrir de ses matières organiques, ils aèrent le sol et maintiennent sa structure grumeleuse, indispensable à la circulation de l'eau et de l'air, et à la pousse des racines. De plus, au passage, ils fertilisent naturellement les sols, via leurs déjections riches en différents nutriments (azote, phosphore...), utiles pour la croissance des plantes et des micro-organismes du sol”*, précise Éric Blanchart, spécialiste des vers de terre, à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) de Montpellier.

MOBILISATION DES ÉPIGÉS

Si tous les vers de terre décomposent la matière organique, ils se répartissent cette tâche dans les différents niveaux du sol. Ce qui permet de distinguer trois groupes écologiques : *“Les épigés, généralement très colorés, qui ingèrent la matière organique en surface, dans les litières des boisements et des prairies, et par conséquent quasi absents des terres labourées et nues. Les endogés, de couleur rose pâle, qui creusent des galeries essentiellement horizontales dans les premiers centimètres du sol. Et, plus en profondeur, les anéciques, de grande taille, qui creusent des galeries jusqu'à quelques mètres de profondeur”*, liste le chercheur de l'IRD.

Le lombricompostage mobilise, lui, les épigés. *“Ces vers sont aidés par des bactéries qu'ils ingèrent avec le sol. Dans leur tube digestif, celles-ci voient leur activité stimulée par le mucus qui y est sécrété, et se mettent alors à décomposer et minéraliser la matière organique. Le ver de terre assimile le carbone et autres éléments nutritifs libérés (phosphore, calcium...) et rejette la matière organique partiellement décomposée. Le lombricompost correspond à celle-ci”*, explique Éric Blanchart.

Impossible de dire quelle proportion d'agriculteurs et de particuliers utilise déjà le lombricompostage. Mais une chose est sûre pour Éric Blanchart : *“À l'avenir, cette technique sera amenée à s'étendre, grâce au développement des approches agroécologiques.”* ■

“ Ils fertilisent naturellement les sols, via leurs déjections riches en différents nutriments, utiles pour la croissance des plantes et des micro-organismes

Les champs de la

Avec une agriculture qui laisse la nature s'exprimer, fermiers et chercheurs repensent leur façon de travailler ensemble et placent la recherche participative au cœur de leurs projets. PAR RIVA BRINET-SPIESSER



La ferme biologique du Bec-Hellouin, en Normandie, fonctionne selon les principes de la permaculture qui s'inspire du fonctionnement de la nature. Elle pratique notamment la culture sur buttes permanentes, disposées dans un jardin mandala de 800m².

science



A l'heure où l'agriculture entame sa transition écologique, peut-on penser la recherche agronomique de la même manière qu'hier, quand pesticides et engrais faisaient table rase du vivant ? De toute évidence, non. *“L'un des grands principes de l'agroécologie, c'est qu'il y a une diversité de solutions. Chaque problématique nécessite de comprendre le milieu, à la fois biologique, écologique, climatique et social”*, estime Kevin Morel, chercheur à l'Inrae au sein de l'unité Sadapt. *“Quand on réfléchit de façon systémique aux transformations de l'agriculture, il arrive un moment où les approches expérimentales classiques deviennent insuffisantes car la réalité est beaucoup plus complexe que les modèles conceptuels des scientifiques”*, complète François Léger, enseignant-chercheur à AgroParisTech. Ainsi, penser les systèmes agricoles de demain en intégrant une dimension écologique, nécessite-t-il une démarche radicalement différente. Les chercheurs en agroécologie s'attachent notamment à incorporer à leurs méthodes habituelles des questions qui relèvent des hommes, de leurs savoir-faire et de leurs cultures. Il convient alors de placer l'agriculteur au cœur de la réflexion scientifique et de comprendre les savoirs écologiques qui fondent leurs choix techniques. Ce travail requiert un dialogue continu entre chercheurs et fermiers afin de produire une connaissance hybride, née de la confrontation entre lecture scientifique et réalité de terrain.

CONDUITE EN PERMACULTURE

Kevin Morel et François Léger ont tous deux travaillé en ce sens au sein d'une ferme au modèle inédit, celle du Bec-Hellouin, dans le département de l'Eure. Là, en 2008, ils découvrent les pratiques avant-gardistes d'un couple, Charles et Perrine Hervé-Gruyer, désireux d'explorer une agriculture la plus naturelle possible. Leur projet : créer une microferme maraîchère dont la conception et la conduite relèvent de la permaculture et imitent le fonctionnement des écosystèmes



▲ Sur ce tableau, les agriculteurs de la ferme du Bec-Hellouin ont dessiné un plan des parcelles, enrichi des cultures développées sur chaque butte et des soins apportés à la terre.

naturels. Mais ce n'est pas tout. Le lieu se passe, autant que possible, de pétrole et de machine agricole. Les récoltes se font à la main et certaines parcelles sont cultivées avec un cheval de trait. *“Nous nous sommes inspirés des pratiques des temps anciens. Tout est pensé dans une recherche de résilience pour pouvoir nourrir notre communauté locale, même en cas de crise”*, explique Charles Hervé-Gruyer.

OPTIMISATION DES RENDEMENTS

Très vite, ces “irréductibles Gaulois” intéressent la communauté scientifique par leurs pratiques éloignées du modèle agronomique dominant. *“Les fermiers du Bec-Hellouin ont une grande intelligence de leur métier, ils ont réfléchi à la relation entre ce qu'ils cultivent et*

ce qu'il y a autour. Ils produisent pour vivre, mais aussi pour démontrer les possibilités de la culture alternative”, raconte François Léger, sensible dès ses débuts au projet. Et cette curiosité est réciproque, car les fermiers ont besoin de points de repère. Ils ont l'intuition que leur modèle est rentable et que celui-ci pourrait se déployer à d'autres endroits. Mais ils n'en ont pas la preuve. S'ouvre alors, entre 2011 et 2015, une collaboration autour

“ Chaque problématique nécessite de comprendre le milieu, à la fois biologique, écologique, climatique et social



Le cheval de trait remplace tracteurs et autres machines agricoles pour entretenir les jardins en terrasse.



▲ Perrine Hervé-Gruyer, cofondatrice de la ferme du Bec-Hellouin, surveille la couche chaude – du fumier mis en fermentation – où seront semés des légumes.

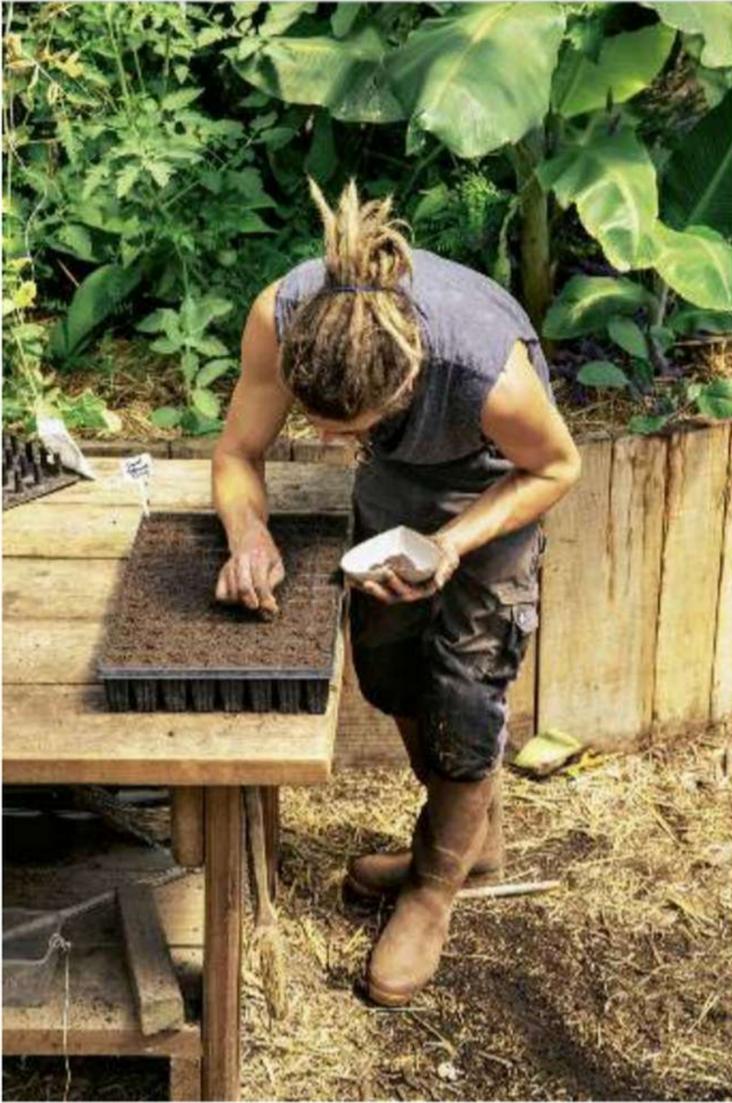
d'un programme de recherche intitulé "maraîchage permaculturel biologique et performance économique". Sur un périmètre de 1 000 m² de culture intensive, agriculteurs et scientifiques établissent ensemble un protocole de mesure. Ils calculent ce qui est produit, non pas en volume, mais en valeur. Les résultats sont étonnants : la petite surface rapporte en moyenne, sans aucune machine, 55 €/m² de légumes commercialisés (les invendus

“ *Tout est pensé dans une recherche de résilience* ”

sont exclus), alors qu'un maraîchage biologique mécanisé dégage en moyenne 4 €/m².

Une telle efficacité s'explique notamment par le mode de culture choisi. Les légumes poussent en étage sur des buttes de terre permanente, technique qui concentre la production sur une toute petite surface. Travailler à la main permet aussi de cultiver plusieurs variétés de légumes en même temps, avec des rotations très fréquentes. Cette approche minutieuse et soignée optimise les rendements et, paradoxalement, diminue la charge de travail : le désherbage devient moins fréquent, par exemple, l'arrosage est optimisé et la matière organique apportée naturellement. L'étude montre aussi que le mode de commercialisation par vente directe est essentiel à la performance économique du modèle des microfermes bio-inspirées. Elle augmente les marges et assure la vente, tout au long de l'année, de ce qui est produit. Pour valider ces résultats, des expérimentations similaires sont menées





◀▲ Les graines, comme ici celles du navet, sont semées en godets dans les serres jusqu'à l'apparition de la plantule. Cette dernière sera ensuite repiquée sur les buttes, à l'extérieur, ou dans l'une des serres de la ferme. Dans celle-ci, les bananiers cohabitent avec les plants de tomates, les vignes et les capucines qui éloignent les aleurodes.

sur une vingtaine d'autres fermes. *"Ça a été une surprise. Plus le nombre de fermes augmentait dans notre base de données, plus on démontrait l'intérêt de ces systèmes non mécanisés sur petite surface. On a aussi montré les conditions qui garantissent leur viabilité économique, en particulier en matière de commercialisation"*, s'enthousiasme François Léger. Cette étude fait date dans le monde agricole et facilite l'installation de nombreux agriculteurs souhaitant s'inscrire dans une production de type paysan. C'est ainsi que ce rêve de transmission, cher aux équipes du Bec-Hellouin, se réalise.

RÉCUPÉRER DE LA BIODIVERSITÉ

Aujourd'hui, la ferme est un laboratoire à ciel ouvert, dédié entièrement à la recherche. Chaque année, des programmes d'étude démontrent que, au-delà d'être productif,

l'endroit a un impact positif sur l'environnement – entre autres la biodiversité, l'écologie des sols et la séquestration de carbone. Des projets prometteurs démarrent actuellement sur le blé jardiné, la forêt-jardin et les jardins de bois. *"Le fait d'être très connecté au monde de la recherche scientifique nous permet d'être extrêmement nourris de toutes les avancées de la science du vivant. C'est en croisant les regards et en étant audacieux qu'on peut trouver des solutions qui s'écartent des modèles actuels"*, conclut Charles Hervé-Gruyer.

L'audace et la volonté de collaborer avec des scientifiques du monde entier, c'est aussi l'ambition du Centre de ressources de botanique appliquée (CRBA) situé dans la commune de Charly, au sud de Lyon. Lancé en 2008, ce "laboratoire de la biodiversité" s'est donné pour mission de redonner à la



“ Nous avons entre nos mains un patrimoine génétique capable de nous aider à faire face aux enjeux climatiques ”

capitale des Gaules l'autonomie alimentaire qu'elle avait au XIX^e siècle, lorsque la région lyonnaise était l'un des principaux centres horticoles d'Europe. Partir en expédition à l'autre bout de la planète pour récupérer de la biodiversité, tel est le projet du CRBA, avec deux objectifs majeurs : retrouver les espèces endémiques disparues et chercher les variétés du futur, capables de résister aux bouleversements climatiques. *“On constate que 85 % de notre biodiversité cultivée a complètement disparu, et presque toutes les variétés se trouvent dans des banques de semences à l'étranger. Le haricot lyonnais se trouvait en Russie et en Colombie ! Nous avons reconstitué un patrimoine culturel, mais très vite nous avons réalisé que nous avons entre nos mains un patrimoine génétique capable de nous aider à faire face aux enjeux climatiques”*, explique Sabrina Novak, directrice adjointe du CRBA, responsable projets, communication et développement. Dans le sud du Caucase, les scientifiques du CRBA ont identifié des

variétés de melons et de pastèques à même de fructifier dans des conditions extrêmes. Là-bas, les températures dépassent 50°C en été et descendent sous les -40°C en hiver ! Une fois les variétés choisies, celles-ci suivent un processus de sélection à la ferme expérimentale Melchior, sur le site du CRBA. On teste leur résistance à la sécheresse, au gel, au vent et aux maladies. Cultivées sans intrant chimique, on regarde aussi de près leurs qualités nutritionnelles.

S'ouvre alors une phase de recherche participative, en collaboration notamment avec les agriculteurs de la région lyonnaise, pour adapter ces semences exotiques à nos sols et à nos climats. *“Le meilleur moyen de sauvegarder une variété, c'est de la cultiver !”*, s'exclame Vincent Galliot, maraîcher en culture biologique dont la ferme Le champ des saveurs, située à Collonges-au-Mont-d'Or, est partenaire du CRBA. Vincent Galliot est ce que l'on appelle un agriculteur “adoptant” : il accueille des graines sélectionnées à la ferme Melchior pour les faire revivre sur ses terres. *“La première année, je 'laisse faire' la plante, je ne l'arrose que si elle est en danger. Je cherche à ce qu'elle développe une certaine résilience, qu'elle garde cette mémoire génétique pour sa descendance. Les années suivantes, je la bichonne davantage pour qu'elle puisse produire plus de graines”*, précise-t-il.

ADAPTATION DES GRAINES

Dans le projet du CRBA, les agriculteurs sont inclus dès le début dans le travail de sélection variétale. *“Ils nous transmettent leurs besoins concrets, mais aussi leurs pratiques agronomiques ou culturelles. Depuis soixante-dix ans, la sélection de semence se fait par des organismes publics ou privés qui cherchent avant tout des graines adaptables aux cultures du monde entier. Auparavant, chaque communauté choisissait ses propres*



Les buttes sur lesquelles seront plantés les légumes sont composées d'un mélange de compost et d'argile.

variétés en fonction des besoins de sa localité – sol, altitude, climat, etc. », souligne Stéphane Crozat, ethnobotaniste, historien d'art des jardins et directeur du CRBA. Cette notion d'adaptation des graines à différents territoires est importante car la génétique d'une même variété s'exprime différemment selon son environnement : le taux de sucre, d'antioxydants ou de vitamines varie avec le type de terroir. *“Ce qui est intéressant chez moi, avec un sol limono-argileux, ne le sera peut-être pas autant chez un confrère qui a un sol sableux”*, résume Vincent Galliot. La participation des agriculteurs dans le choix des variétés est donc indispensable et permet de les “essayer” dans différentes conditions.

FERME SEMENCIÈRE

Une fois cette adaptation en situation réelle faite, les graines sont multipliées dans la ferme semencière du CRBA, qui a ouvert ses portes en 2022 dans le but de distribuer gratuitement ces graines aux agriculteurs de la région. La Métropole de Lyon, qui soutient ce projet, souhaite répliquer ce modèle de ferme semencière ailleurs dans le département afin, notamment, de fournir des légumes locaux et de qualité aux cantines scolaires.

Comme à la ferme du Bec-Hellouin, le projet du CRBA illustre comment des dispositifs de recherche peuvent s'articuler autour de maraîchers qui souhaitent agir pour l'avenir de la planète. Dans une agriculture intensive chimique, où le sol n'était que substrat, les résultats de recherche étaient facilement transférables, des institutions jusqu'au terrain. Mais aujourd'hui, dans des écosystèmes naturels complexes, le modèle de recherche participative, qui intègre le point de vue et les connaissances des agriculteurs à toutes les phases du projet, est devenu indispensable.



Fermes réelles et quelles

Réfléchir ensemble, partager ses pratiques, apprendre des autres. Ces principes d'échanges entre agriculteurs sont au cœur du projet de recherche PerSyst-maraîchage. Ce programme de cinq ans, soutenu par l'Office français de la biodiversité, accompagne une dizaine de maraîchers en agriculture biologique de Bretagne à améliorer la fertilité des sols dans des systèmes utilisant peu – ou pas – de produits phytosanitaires. *“L'intérêt de ce projet est d'avoir un travail très étroit entre maraîchers, de créer un réseau avec des moments d'échanges, comme lors des journées 'fermes ouvertes' où chaque maraîcher présente aux autres les expérimentations qu'il entreprend. Il y a une émulation, ça foisonne d'idées pour tester ce qui peut marcher”*, s'émerveille Kevin Morel, chercheur à l'Inrae et partenaire du projet. L'autre volet du dispositif PerSyst est d'associer ce réseau d'horticulteurs aux travaux menés



Le projet PerSyst-maraîchage associe maraîchers et techniciens pour tester en conditions réelles de nouveaux systèmes de culture en agriculture biologique. L'échange entre chercheurs et agriculteurs permet de comparer les performances agronomiques, environnementales et sociales.

expérimentales : interconnexions ?

dans une station expérimentale du Groupe de recherche en agriculture biologique, située à Morlaix, dans le Finistère. *“Les pratiques alternatives que l'on teste à la station expérimentale ont vraiment été conçues avec les maraîchers. Au cours d'ateliers de réflexion, les agriculteurs nous disent quelle stratégie ils souhaitent tester et comment ils vont la mettre en place dans leur ferme”*, continue Kevin Morel.

BRIGADES MOBILES

Les dispositifs de la ferme expérimentale sont complémentaires de ceux testés en “ferme réelle” chez les maraîchers. En station, les systèmes nécessitent des analyses robustes et régulières sur plusieurs années, sans contrainte économique. *In situ*, les résultats sont davantage le reflet des vraies conditions de production, même si les mesures sont moins précises. *“On a longtemps dit que l'on pouvait prendre plus de risques en ferme expérimentale que chez l'agriculteur*

lui-même. Mais je trouve que certains d'entre eux font des choses très radicales, confie le chargé de recherche. Les fermiers ont un véritable enjeu personnel à aller tester des solutions innovantes. À l'avenir, nous pourrions envisager de travailler davantage sur des réseaux d'expérimentation en ferme réelle, avec par exemple des brigades mobiles de chercheurs qui iraient faire directement des mesures chez les agriculteurs. La robustesse des résultats ne viendrait pas tant de la précision des mesures que de l'étendue du réseau et d'une confrontation au terrain renforcée.” ■

“ Les fermiers ont un véritable enjeu personnel à aller tester des solutions innovantes





CHRISTOPHE DUPIC

“L’exploitation est autonome en énergie à 80 %”

Dans le contexte actuel d’augmentation exponentielle du prix de l’énergie, la valorisation des déchets organiques d’une exploitation grâce à des unités de méthanisation semble de plus en plus pertinente. Mais comment produit-on de l’énergie avec du fumier ?

PAR ARMELLE CAMELIN



Depuis plusieurs générations, la famille Grallet-Dupic distille de l'eau-de-vie de mirabelle et du whisky sur son exploitation, à Rozelieures, en Lorraine. En 2013, pour subvenir aux besoins énergétiques de sa distillerie et valoriser ses déchets, Christophe Dupic décide de construire une unité de méthanisation avec deux associés. À l'époque, ils étaient peu à parier sur cette solution pour produire de l'énergie. Mais les choses ont bien changé. Au 1^{er} janvier 2022, on dénombrait en France 1 310 unités de méthanisation, soit 300 de plus que l'année précédente. L'ingénieur de formation nous raconte ce choix, ses avantages et ses inconvénients.



Christophe Dupic a installé une unité de méthanisation (à gauche), en 2013. Elle permet de produire de l'électricité et de la chaleur pour la distillerie, mais chauffe aussi six maisons du village (en bas).



SVHS: Pourquoi avoir fait le choix de la méthanisation en 2013 ?

Christophe Dupic: J'ai toujours pensé que le combat de l'énergie serait le combat du futur. Déjà en 2013, alors qu'on ne parlait pas autant d'énergie qu'aujourd'hui, je me disais que c'était complètement absurde d'être dépendant de pays tiers en matière d'énergie, alors qu'on a à disposition sur le territoire des ressources qu'on n'exploite pas. Avec les deux autres agriculteurs de Rozelieures, on s'est aperçus qu'on avait chez nous tous les ingrédients nécessaires pour faire de la méthanisation : du fumier, des déchets organiques, de la paille et aussi les drêches de brasserie, le produit qui me

reste en fin de distillation. En 2013, je me suis dit qu'il fallait qu'on le fasse parce que j'étais persuadé que l'énergie bon marché ne durerait pas. Aujourd'hui, grâce à la méthanisation, l'exploitation est autonome en énergie à 80 %.

SVHS: Quels en sont les avantages ?

C. D.: C'est un procédé intelligent parce que ça permet d'utiliser des coproduits agricoles pour faire de l'énergie. Leur décomposition dans le digesteur produit du méthane, avec lequel on génère l'énergie. Et on peut également utiliser le digestat qui reste après décomposition. C'est un liquide très riche en azote, phosphore et potassium, un engrais qu'on utilise

Les résidus organiques de la méthanisation, composés d'azote, de phosphore et de potassium, sont réutilisés comme engrais pour fertiliser les champs d'orge.



ensuite dans nos champs. En France, les engrais azotés sont principalement importés. Chez nous, le digestat répond à environ 50 % de nos besoins en engrais. C'est un système d'économie circulaire.

SVHS: Que faites-vous de l'énergie produite ?

C. D. : Nous produisons de l'électricité et de la chaleur. Le gaz issu de la méthanisation est brûlé par un module de cogénération dont le moteur entraîne un générateur de courant. Nous produisons 260 kilowatts thermique (kWth) et 200 kilowatts électriques par heure, ce qui correspond à la consommation en électricité de 150 maisons. L'électricité produite est vendue à EDF et la chaleur est récupérée dans un réseau, qui chauffe six maisons du village.

SVHS: Investir dans une unité de méthanisation, est-ce une prise de risque ?

C. D. : C'est un investissement de départ important, qui nous a coûté 2 millions d'euros il y a dix ans. On a bénéficié de 15 % d'aide publique. Il faut faire ses propres calculs pour évaluer l'intérêt de ce choix. L'électricité que nous vendons à EDF nous permet de payer ce que nous coûte le système au jour le jour, mais ça ne couvre pas l'investissement. En plus, ce qui est compliqué, c'est que nous injectons de l'électricité dans le système et EDF nous rémunère pour ça, mais nous payons quand même EDF pour l'électricité que nous consommons. Et j'ai comme l'impression que le tarif de rachat augmente moins vite que celui qu'on nous facture. Il y a un effet ciseau.

Les 3 de la

1

1 • Récupérer des déchets ou intrants

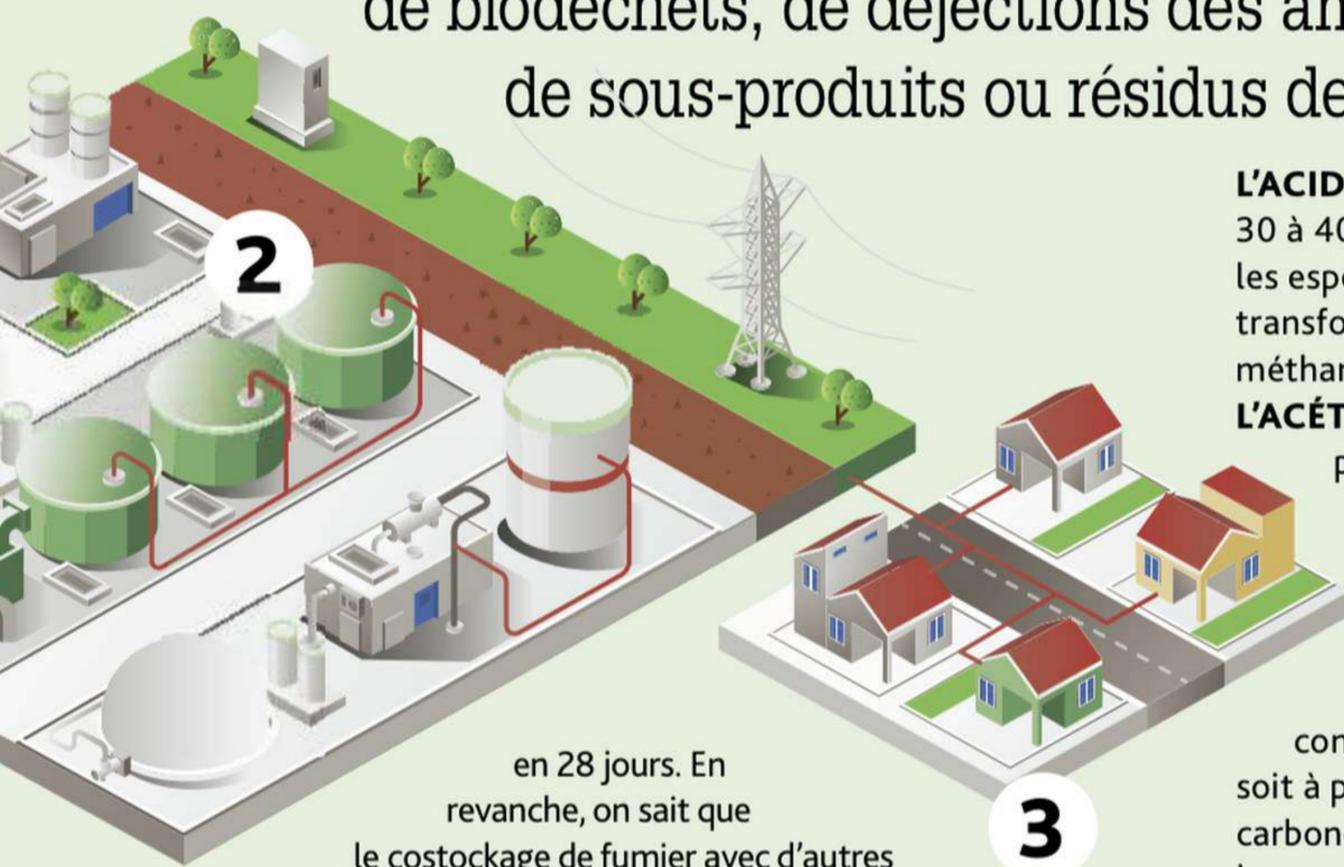
En France, 150 millions de tonnes de résidus organiques générées chaque année par les activités agricoles pourraient être méthanisées. Pour autant, tous ces rebuts ne sont pas méthanisables. Cela dépend de leur pourcentage de matière organique, de matière sèche et de leur potentiel méthanogène ou "Biochemical methane potential" (BMP). Pour les produits agricoles, sont méthanisables les fumiers et lisiers, la paille, les résidus de culture comme la drêche obtenue après distillation. Dans l'industrie agroalimentaire, cela concerne les graisses végétales et animales et les déchets d'usines de production de viande, de lait, de fruits et de légumes. Au niveau des collectivités et des ménages, les déchets verts ou de cuisine peuvent être méthanisés. Les eaux usées et boues de stations d'épuration s'ajoutent à ces déchets.

Dernier type d'intrant, ceux issus de ce qu'on nomme culture intermédiaire à vocation énergétique (Cive). Ce sont des végétaux uniquement destinés à produire de l'énergie par méthanisation, et que les agriculteurs peuvent cultiver entre deux cultures alimentaires.

Le stockage des déchets destinés à la méthanisation ne se fait pas n'importe comment. Par exemple, du fumier stocké à l'air libre perd 40 % de son potentiel méthanogène

étapes méthanisation

Le processus produit du méthane à partir de la fermentation de biodéchets, de déjections des animaux d'élevage et de sous-produits ou résidus de culture.



en 28 jours. En revanche, on sait que le costockage de fumier avec d'autres sources de matière organique riches en sucre permet une augmentation du BMP.

2• Méthaniser dans un digesteur

La méthanisation utilise un processus biologique naturel: dans le digesteur, sans oxygène et sous l'effet de la chaleur (entre 30 °C et 40 °C dans la majorité des unités), des bactéries transforment une partie de la matière organique en biogaz, et une autre partie en résidu appelé digestat.

On observe quatre phases chimiques:

L'HYDROLYSE. Au contact de micro-organismes et par action d'une molécule d'eau, la matière organique est rompue en molécules simples. Les lipides, polysaccharides, protéines et acides nucléiques deviennent des monosaccharides, acides aminés, acides gras et bases azotées. La durée de cette décomposition dépend du déchet: l'hydrolyse des déchets solides est plus lente que celle des déchets liquides.

L'ACIDOGENÈSE. Pendant cette étape, 30 à 40 fois plus rapide que la première, les espèces microbiennes dites acidogènes transforment la matière présente dans le méthaniseur en acides organiques et en alcool.

L'ACÉTOGÉNÈSE. À cette étape, des bactéries permettent la production de précurseurs directs du méthane: l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène.

LA MÉTHANOGENÈSE. Pour cette dernière étape, ce sont des micro-organismes unicellulaires qui conduisent à la production de méthane, soit à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone, soit à partir de l'acétate présent dans la cuve.

3• Valoriser le biogaz et utiliser le digestat comme engrais

Le biogaz contient 50 à 65 % de méthane et 35 à 50 % de dioxyde de carbone. Il existe deux options de valorisation:

PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ PAR COGÉNÉRATION. En brûlant dans un cogénérateur, le biogaz produit de l'électricité, qui est injectée dans le réseau EDF, et de la chaleur, qui peut alimenter un circuit d'eau chaude.

INJECTER LE BIOGAZ DANS LES RÉSEAUX DE GAZ NATUREL APRÈS SON ÉPURATION (désulfuration, déshumidification, décarbonisation). Les tarifs d'achat de l'électricité et du biométhane sont fixés par arrêtés ministériels.

NICOLAS TONNET

“Questionner la consommation énergétique”

Nicolas Tonnet, ingénieur de recherche à l'Ademe, travaille dans le secteur de l'énergie et des innovations. Ses enquêtes orientent les agriculteurs sur leurs choix énergétiques, mais d'abord sur les leviers qui s'offrent à eux pour réduire leur consommation d'énergie fossile.

PAR ARMELLE CAMELIN

SVHS: Quel type d'énergie les exploitations agricoles françaises consomment-elles ?

Nicolas Tonnet :

60 % de la facture énergétique de l'agriculture en France est liée au gazole non routier. Ce carburant liquide est utilisé dans tous les engins agricoles à roues. Il représente la plus grosse part de consommation énergétique. Viennent ensuite les consommations de gaz et d'électricité, à peu près équivalentes. Ce sont les exploitations avec des bâtiments d'élevage et

des serres maraîchères et horticoles qui sont les plus consommatrices de ces deux derniers types d'énergie.

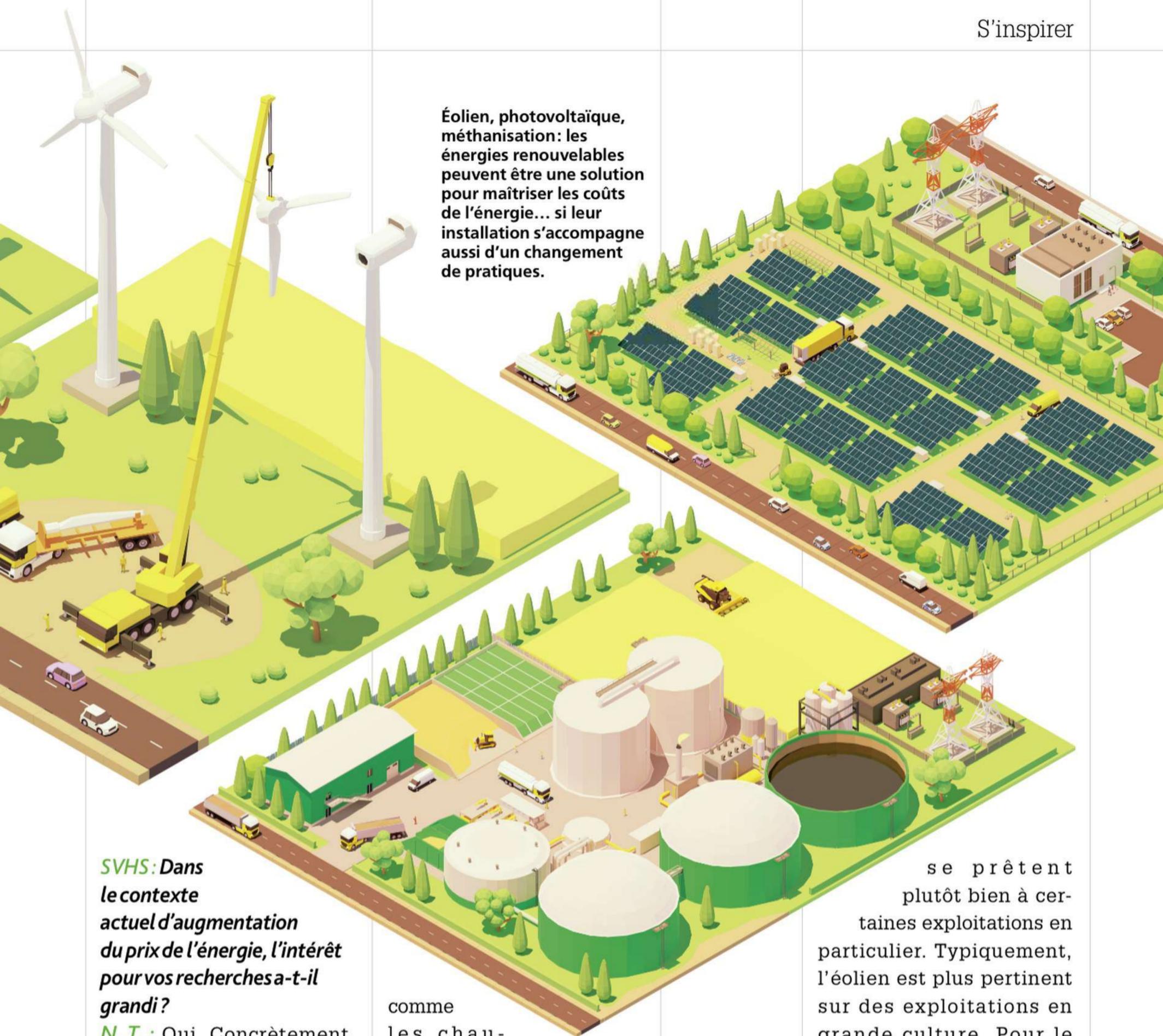
SVHS: D'après les scénarios sur lesquels vous travaillez, une réduction de moitié de ces consommations en énergie est envisageable. Quels sont les leviers sur lesquels s'appuyer ?

N. T. : Le premier potentiel de réduction de la consommation énergétique touche les carburants. On peut améliorer les moteurs des engins et réduire leur consommation, repenser les tracteurs, envisager des machines plus légères qui fonctionnent

à l'électricité. Des évolutions dans les itinéraires techniques de culture sont imaginées : faire du labour moins profond, par exemple, et du semis direct, c'est-à-dire semer en même temps qu'on récolte pour supprimer un passage dans le champ. Le deuxième levier pour diminuer la consommation se situe au niveau des serres. Elles peuvent être plus efficaces et nécessiter moins d'apports de chaleur pour maintenir les cultures aux bonnes températures. On peut aussi envisager une évolution des conditions de culture : décaler les plantings et éviter les plus forts pics de consommation. Le troisième enjeu, ce sont les bâtiments d'élevage : nous cherchons des innovations pour que les blocs de traite et les systèmes de refroidissement du lait consomment moins.



Éolien, photovoltaïque, méthanisation: les énergies renouvelables peuvent être une solution pour maîtriser les coûts de l'énergie... si leur installation s'accompagne aussi d'un changement de pratiques.



SVHS: Dans le contexte actuel d'augmentation du prix de l'énergie, l'intérêt pour vos recherches a-t-il grandi ?

N.T.: Oui. Concrètement, jusqu'à présent, le secteur des serres s'emparait mollement de la question. Les acteurs réalisent depuis une petite année que les augmentations peuvent grever fortement leur chiffre d'affaires et que leur modèle n'est plus compatible avec une évolution aussi importante des prix. Avant, les exploitants ne souhaitaient pas changer leurs pratiques : éventuellement, ils nous interrogeaient sur les énergies renouvelables

comme les chaudières au bois ou la géothermie. Maintenant, on leur demande de se questionner d'abord sur leur propre consommation énergétique avant d'envisager de se tourner vers du renouvelable.

SVHS: Existe-t-il la bonne solution énergétique en fonction du type d'exploitation ?

N.T.: On ne peut pas aller aussi loin. Mais il est vrai que les énergies renouvelables

se prêtent plutôt bien à certaines exploitations en particulier. Typiquement, l'éolien est plus pertinent sur des exploitations en grande culture. Pour le photovoltaïque, rappelons qu'avant de développer des installations au sol, on peut équiper les toitures de bâtiments d'élevage. Pour ce qui est des chaudières au bois, cela conviendra davantage à des systèmes de polyculture d'élevage qui peuvent réintroduire du bois sur leur exploitation via des haies ou de l'agroforesterie. La méthanisation s'adresse pour sa part plutôt aux polycultures d'élevage qui ont beaucoup de déchets à valoriser. ■

La révolution de l'algoculture

La surface de la Terre est recouverte à 71 % par l'océan, abritant quelque 11 000 espèces d'algues, au potentiel largement sous-estimé.

PAR PASCALE-EMMANUELLE LAPERNAT-GUILHAUMON

Malnutrition, réchauffement climatique, acidification de l'océan, pollution plastique, alimentation des animaux et émissions de méthane... La liste des problèmes auxquels l'algoculture promet d'apporter des solutions est longue ! *"Nous nous comportons comme des chasseurs-cueilleurs envers les ressources marines, en sous-exploitant les sept dixièmes de la planète qui ne fournissent que 2 % de l'alimentation mondiale. Il est temps de faire connaître l'incroyable potentiel des algues !"*, avance Vincent Doumeizel, conseiller Océan du Pacte mondial à l'ONU, cofondateur avec le CNRS – notamment Philippe Potin, directeur de recherche à la Station Biologique de Roscoff – de la première coalition mondiale des algues "Safe Seaweed Coalition", portée par la fondation Lloyd's Register. Dans son livre *La Révolution des algues*, paru en 2022, Vincent Doumeizel explique comment sortir du "Paléolithique océanique" pourrait avoir autant d'effet que la révolution agricole menée par nos ancêtres au Néolithique voilà douze mille ans, à commencer par la possibilité de



Les pieds dans l'eau, Scarlett Le Corre cultive les algues dans le Finistère. Ici, elle récolte de la laitue de mer sauvage sur une plage du Guilvinec.





<^ À gauche, Vincent Doumeizel examine des algues cultivées sur 150 ha par la société Algolesko, à Lesconil, en Bretagne. Ci-dessus, l'expert observe des algues placées dans un photobioréacteur de la station biologique de Roscoff (CNRS), le plus grand centre d'études scientifiques pour les algues en France.

nourrir huit milliards d'êtres humains. Son discours à l'ONU, en 2020, a su convaincre des instances telles que la Banque Mondiale ou l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). De là est né un manifeste (seaweedmanifesto.com) présentant "l'immense potentiel et l'immense fragmentation de la filière, la nécessité de rassembler tous les acteurs et de mettre en place des réglementations d'hygiène, de sécurité, des normes alimentaires, et trouver des financements à l'échelle du défi". Cette coalition, qui a déjà financé 25 projets dans 20 pays répartis sur cinq continents, s'apprête à migrer sous l'égide des Nations unies.

Pour organiser les filières, la première étape est un état des lieux. Le Centre de bioéconomie de la Commission européenne a publié

en 2022 un rapport sur l'industrie des algues en Europe, mettant en évidence une explosion de 150 % du nombre d'exploitants durant la dernière décennie : dans 20 pays, au moins 413 entreprises (souvent de petite ou très petite taille) sont identifiées, qu'il s'agisse de production de macroalgues, microalgues (planctoniques) ou de spiruline (qui est en fait une cyanobactérie, mais assimilée à une microalgue dans ce contexte). La production des macroalgues repose à 68 % sur la récolte d'algues sauvages (dont les *Laminaria*, *Palmaria*, *Ulva*, *Fucus*, *Himanthalia*) et à 32 % sur l'algoculture (la production majeure étant *Saccharina*), principalement en mer. Les microalgues, dont les plus fréquentes sont les *Chlorella* et les *Nannochloropsis*, sont cultivées en photobioréacteurs (dans deux tiers des cas) ou en bassins ouverts. À l'échelle



▲ Le kombu royal, de la famille des laminaires, est riche en fibres et minéraux. Il se récolte dans les eaux froides et profondes et peut atteindre 4m de long. Il se cultive facilement en mer sur filières (en suspension), permettant de répondre à la demande du marché asiatique pour les soupes et salades, sa teneur en glutamate apportant la saveur *umami*. Réduit en poudre dans l'alimentation animale, il contribue à diminuer les émissions de méthane.

européenne, la France – essentiellement la Bretagne – est le deuxième pays producteur d'algues avec 75 000 t, loin derrière la Norvège qui dépasse les 200 000 t, dont 150 000 t de *Laminaria hyperborea*. Les algues sauvages sont récoltées par cueillette sur les rivages, comme la laitue de mer (*Ulva lactuca*), la nori (*Porphyra umbilicalis*) ou le haricot de mer

(*Himanthalia elongata*). Pour celles vivant en eaux plus profondes, telles les laminaires, les bateaux ont recours à des peignes ou des scoubidous, à la manière des goémoniers bretons. Les algues peuvent aussi être cultivées en mer, en utilisant des cordes de dizaines de mètres sur lesquelles seront fixées les plantules, avant d'être immergées pendant plusieurs semaines ou plusieurs mois. Les systèmes de culture en bassin se développent également, permettant de s'éloigner des côtes et de garder une parfaite maîtrise de tous les paramètres.

UNE MANNE ALIMENTAIRE

Les algues ainsi produites ou récoltées sont en premier lieu destinées à l'alimentation, sous forme de gélifiants et d'épaississants : l'agar-agar, les carraghénanes, les alginates. Les "légumes de mer" devraient prendre une place de plus en plus importante dans l'alimentation européenne et mondiale, comme c'est le cas dans les pays asiatiques. Les recommandations vont du moins dans

“ Avec des vertus antibiotiques, antifongiques, anti-inflammatoires, et les prébiotiques naturels les plus puissants au monde, les algues sont de véritables bombes nutritionnelles ! ”



ce sens : le Centre d'étude et de valorisation des algues (Ceva) fournit des fiches précisant les atouts d'un grand nombre de ces végétaux : faibles en calories et riches en protéines, fibres, vitamines, minéraux (calcium, magnésium...), fer, iode, acides gras polyinsaturés, antioxydants... *"avec en plus, complète Vincent Doumeizel, des vertus antibiotiques, antifongiques, anti-inflammatoires, et les prébiotiques naturels les plus puissants au monde : ce sont de véritables bombes nutritionnelles !"*

“ 2 % de l'océan avec une algoculture régénérative hautement performante suffiraient à nourrir la planète ”

▲ La salicorne est une plante halophile –qui aime le sel– poussant dans les marais salants. Elle se récolte sauvage ou se cultive en milieu naturel ou en serre. Ce “cornichon de mer” est consommé comme condiment ou légume, frais ou saumuré. La salicorne a des vertus environnementales, permettant d'épurer certains effluents en sortie d'exploitations agricoles ou piscicoles. L'industrie cosmétique s'y intéresse également pour ses propriétés hydratantes.

Une étude de l'université de Washington, parue dans *Oceanography* en octobre 2022, estime que l'aquaculture basée sur les algues a le potentiel pour couvrir la totalité des besoins en protéines de la planète d'ici 2050 : les projections tablent sur une production comprise entre 263 et 286 millions de tonnes par an pour dix milliards de Terriens. Et cela, tout en participant à la restauration de l'environnement. Cette activité permettrait de réduire les besoins en eaux, en terres arables, la pression de déforestation, les émissions de carbone et la perte de biodiversité. Il faudra pour cela dépasser les systèmes côtiers et établir des installations offshore, comme le propose Vincent Doumeizel, partisan d'une optimisation des sites d'éoliennes au large. Les auteurs de l'étude comparent les productions



La spiruline est une cyanobactérie cultivée partout dans le monde pour ses nombreuses vertus. Elle est traditionnellement consommée en Amérique centrale ou au Tchad, où elle se récolte sur les lacs depuis le IX^e siècle. Reconnue comme "aliment du futur", elle aide à lutter contre la malnutrition grâce à une teneur moyenne en protéines de 65%. Elle contient du fer (20% des AJR pour 10g de spiruline), des fibres, des minéraux et des vitamines.

de protéines issues du soja et leur équivalent issu des microalgues : le soja produit au Brésil en 2020 a occupé 372 000 km². Pour atteindre le même niveau de protéines, les microalgues auraient eu besoin de 4 940 km². Les surfaces dédiées à l'élevage de bovins entre 2018 et 2020 au Brésil s'élevaient à 1,65 million de kilomètres carrés, alors que les microalgues peuvent produire l'équivalent de protéines sur 446 km², sans consommer ni eau ni nourriture. Autant de terres qui pourraient être rendues à la forêt amazonienne et à sa biodiversité...

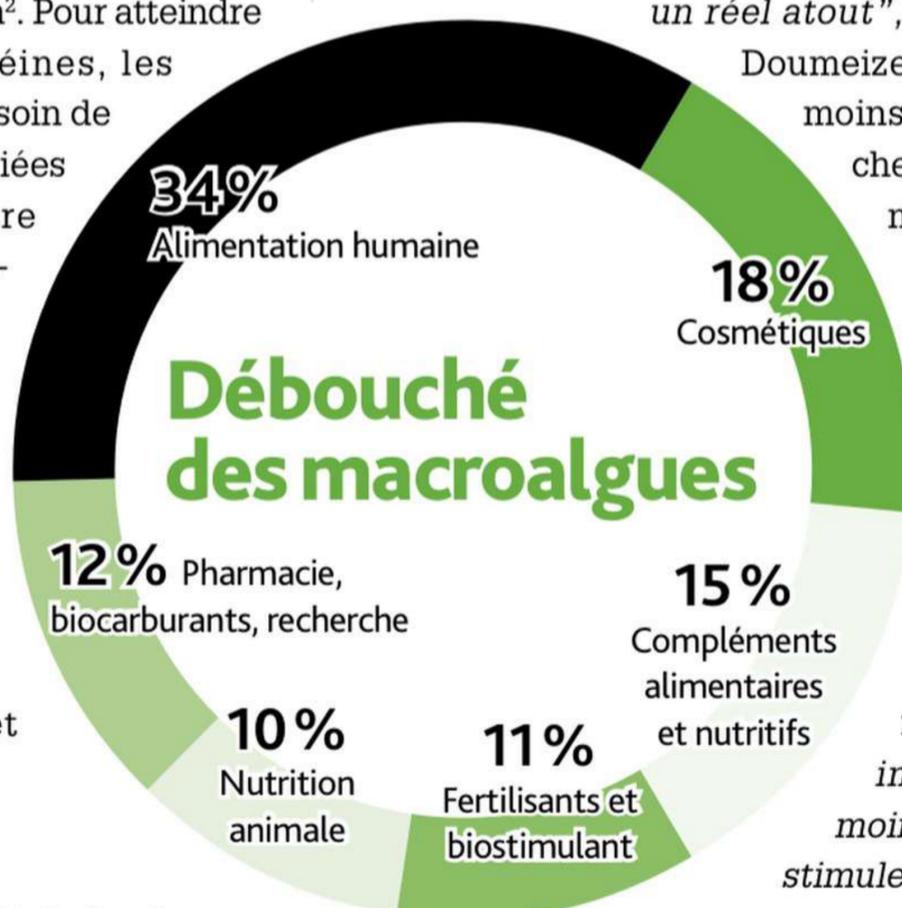
CHANGER DE RECETTE

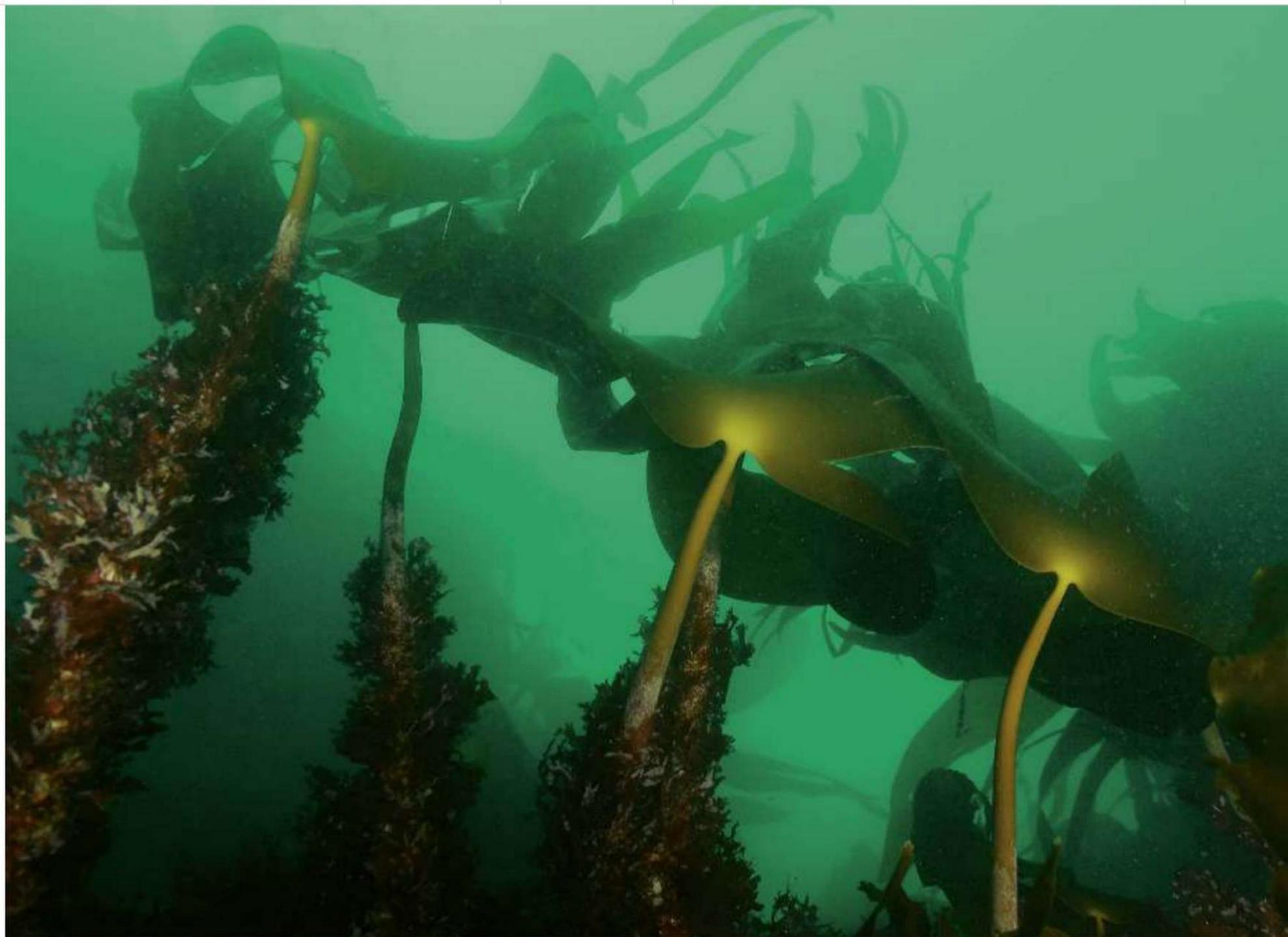
"Selon une estimation, 2 % de l'océan avec une algoculture régénérative hautement performante suffiraient à nourrir la planète. Outre leur valeur nutritive, les algues se conservent bien et gardent une grande partie de leurs propriétés une fois séchées. Le transport de matière sèche sans chaîne du froid vers les pays souffrant le plus de malnutrition, ou

d'un déficit en iode à l'origine du crétinisme [par insuffisance thyroïdienne, NDLR] est un réel atout", s'enthousiasme Vincent

Doumeizel. Le projet n'en reste pas moins un défi culinaire pour les chefs afin de faire changer les mentalités et les a priori des palais européens ! "Des préparations préalables, comme la fermentation, facilitent l'accès gustatif à ces produits", tempère l'expert.

Les vertus des algues sont également valables pour l'alimentation animale. "Source de protéines importante, elles causent moins de problèmes digestifs, stimulent le système immunitaire et permettent ainsi la réduction des besoins en antibiotiques. Seulement 10 g/jour/animal dans l'alimentation des bovins diminueraient drastiquement les émissions de méthane, un puissant gaz à effet de serre. L'impact serait possible très rapidement et équivalent à l'arrêt de la circulation automobile mondiale !" La recherche médicale s'intéresse





aussi à leurs molécules et principes actifs pour lutter contre les cancers, Alzheimer, la mucoviscidose. À l'Institut de la vision, à Paris, des essais ont permis à un aveugle de retrouver une partie de ses fonctions visuelles grâce aux propriétés photosensibles d'une microalgue.

Les algues ont également un pouvoir régénérant sur leur environnement. Pour leur croissance, elles ont besoin de lumière, d'eau et des nutriments qu'elles tirent de la mer. Elles absorbent aussi du dioxyde de

“ Les champs d'algues sont des puits de carbone, supérieurs aux forêts tropicales pour une surface équivalente ”

▲ *Laminaria digitata*. Cette algue brune peut atteindre une teneur en fibre de 68 %. Elle est exploitée pour sa transformation en alginate, largement répandu dans l'industrie alimentaire comme gélifiant, épaississant et stabilisant. Les forêts de laminaires s'étendent sur de vastes superficies, véritables puits de carbone, abritant toute une faune. Elles sont menacées par le réchauffement climatique et la surexploitation.

carbone (CO₂) dissous et produisent de l'oxygène. Par cette respiration, elles participent à l'équilibre du pH, intéressant les ostréiculteurs ou conchyliculteurs confrontés à l'acidification de leurs zones de culture. Planter des algues ou réensemencer les milieux dévastés par le réchauffement climatique a d'autres bénéfices : “Les champs d'algues sont des puits de carbone, supérieurs aux forêts tropicales pour une surface équivalente. Les algues pourraient absorber 10 milliards de tonnes d'équivalent carbone par an, capables d'inverser la courbe des changements climatiques ! Elles jouent aussi un rôle d'atténuateur des vagues, freinant l'érosion. Replanter, c'est recréer des écosystèmes, avec toute une biodiversité, et faire revenir



les poissons”, poursuit Vincent Doumeizel. Une nouvelle étape vers la décarbonation a été franchie au Japon avec le premier “crédit carbone bleu” attribué pour des laminaires : l'échiniculteur ramasse les oursins dévastant les champs de laminaires, les nourrit de kelp cultivé et les destine à la vente. Il replante des laminaires pour restaurer le milieu et crée ainsi une économie circulaire.

ÉVITER LES MÊMES ERREURS

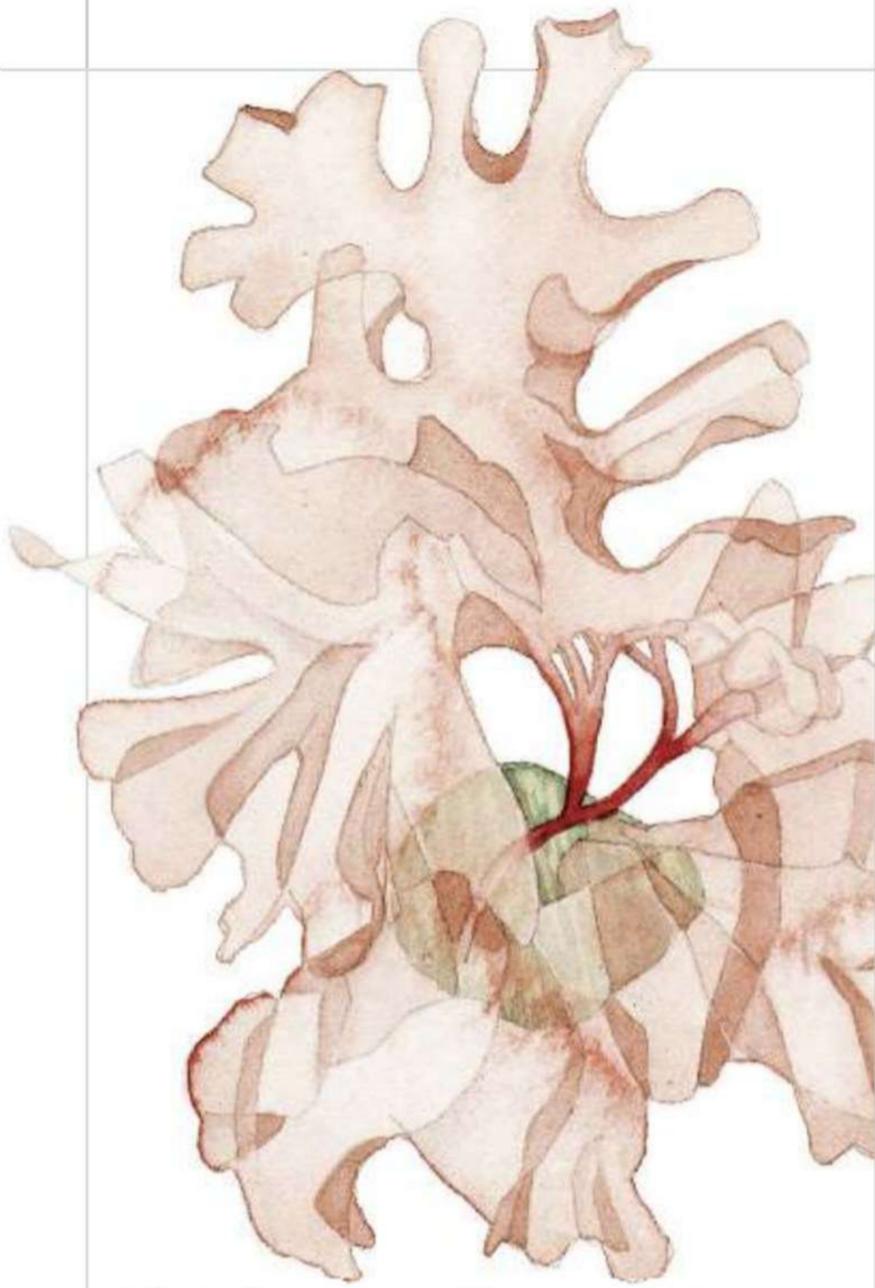
Tous les avantages de l'algoculture ne doivent pas faire oublier les précautions à prendre. Cette domestication est étudiée pour évaluer ses impacts sur les algues, mais aussi sur l'environnement. Myriam Valero, directrice de recherche à la station biologique de Roscoff, insiste sur les leçons à tirer des erreurs liées à une agriculture intensive et des effets néfastes pour l'environnement quand notre espèce a voulu ajuster la nature aux plantes cultivées : “Les précautions à prendre sont d'autant plus importantes que la dimension des enjeux économiques à venir est grande. Il faut favoriser les espèces locales déjà adaptées, ne pas faire des supersouches que l'on répandrait partout et pour lesquelles on chercherait à adapter le milieu. Il faut diversifier

▲ *Ulva lactuca*. Connue pour les marées vertes sur le littoral breton, la laitue de mer regorge de qualités nutritionnelles: 15,7 % de protéines, 33,5 % de fibres, riche en magnésium, potassium, calcium. Sa consommation apporte en outre un grand nombre de vitamines, dont les D, E, B9, B12. Elle se ramasse sur les rives ou se cultive, aussi bien en milieu naturel qu'en bassin.

les cultures, pour qu'elles soient résilientes face aux maladies, parasites, réchauffement climatique... Nous avons besoin de connaître la biologie des espèces, comme la reproduction clonale ou sexuée, pour définir les meilleures conditions de culture. Les ressources génétiques dans le milieu naturel sont aussi une information nécessaire pour pouvoir définir les 'réserves' sur l'aire de distribution.” Un grand nombre d'études issues des programmes Idealg et Genialg, coordonnés par son collègue Philippe Potin, montrent en effet que croiser des individus trop éloignés peut aboutir à de la dépression hybride :

“ Il faut favoriser les espèces locales déjà adaptées ”





▲ Cette algue rouge est bien connue au Japon, transformée en feuilles de nori pour la confection des makis. Son intérêt nutritif (en moyenne, 30,2 % de protéines et 36,8 % de fibres) attire les algoculteurs, mais les souches vivant sous nos latitudes se prêtent mal à la domestication.

chaque parent est bien adapté à son environnement, mais cette coadaptation est brisée par leur union et leur progéniture ne survit pas, ou difficilement.

Les bénéfices économiques, sociaux et environnementaux de l'algoculture sont désormais reconnus, mais les algues sont trop souvent considérées comme une pollution alors qu'elles n'en sont qu'un symptôme. *"L'enjeu, c'est refuser la prophétie autoréalisatrice de catastrophe environnementale, et redonner espoir aux jeunes générations avec des solutions ! Mon but, conclut Vincent Doumeizel, est de trouver un nouveau modèle pour l'humanité, qui ne reproduise pas les erreurs de l'agriculture... Une permaculture des océans qui pourra nourrir dix milliards de personnes et faire que l'on se souviendra de notre génération comme celle qui a mis un terme à la faim dans le monde tout en réparant la biodiversité, en réduisant le réchauffement climatique et en restaurant la justice sociale."*

Tous les sites d'aquaculture sont confrontés au problème des déchets : une quantité importante de nourriture se retrouve sur les fonds, venant s'ajouter aux déjections des poissons, avec des effets délétères sur la faune et la flore vivant sous ces fermes. L'idée est donc d'associer un ou plusieurs groupes liés aux élevages de poissons ou crevettes pour valoriser ces déchets : des coquillages bivalves (moules, huîtres, coquilles Saint-Jacques) qui filtrent l'eau ; des algues qui absorbent les éléments dissous tels les nitrates ; des détritivores au sol comme les holothuries (ou concombres de mer) ; des ormeaux qui profiteront de l'abondance des algues et qui pourront à leur tour contribuer à l'alimentation des poissons. Ces systèmes d'aquaculture multitrophique intégrée (AmTi) sont ainsi plus "propres" et permettent de diversifier les productions, et donc les revenus. À noter que, par extension, le principe peut être utilisé en sortie d'exploitation avec des plantes de types obione et salicorne destinées à épurer les effluents avant que l'eau ne retourne dans le milieu naturel.

La transition vers ces systèmes multitrophiques doit s'accompagner d'avancées dans les recherches : bien cibler les espèces, leurs besoins, leur valorisation possible, pour aider au mieux les choix des aquaculteurs... Ceux-ci peuvent compter sur le soutien de structures comme l'Institut technique des filières avicole, cunicole et aquacole (Itavi). Aurélien Tocqueville, le responsable pisciculture, y travaille sur le projet Apiva (aquaponie, innovation végétale et aquaculture), suivant le concept de l'AmTi. Il s'agit de cultiver des plantes hors-sol, en parallèle à des élevages de poissons, et d'utiliser l'eau de manière optimale, en "circuit recirculé" : les



Le cercle vertueux de l'aquaculture intégrée

rejets des poissons deviennent les nutriments des plantes via l'action de bactéries, l'eau est ensuite filtrée mécaniquement et biologiquement avant de revenir aux poissons. Toute une palette de cultures (laitues, tomates, fraises, plantes aromatiques...) peut être associée à des poissons d'eau douce (carpe, truite, esturgeon, sandre...). "L'intrant du système, le seul, est l'aliment donné au poisson. Certains programmes existent depuis six ans, on compte une trentaine d'implantations, de petites productions. Quelques gros projets émergent, avec différents contextes, comme en espaces contraints urbains ou

périurbains. L'un d'eux est un projet immobilier, en région parisienne, d'architecture de renouvellement urbain, comprenant un volet de production pour faire du circuit court, très valorisé." Aurélien Tocqueville précise qu'il n'existe pas encore de modèle type comme dans les autres filières agricoles, car chaque installation a ses spécificités. "L'attrait pour cette filière est grandissant, souvent avec des porteurs de projets en reconversion, intéressés par la diversification des productions et leur relocalisation. C'est une voie d'avenir pour repenser les systèmes d'élevages existants!" ■

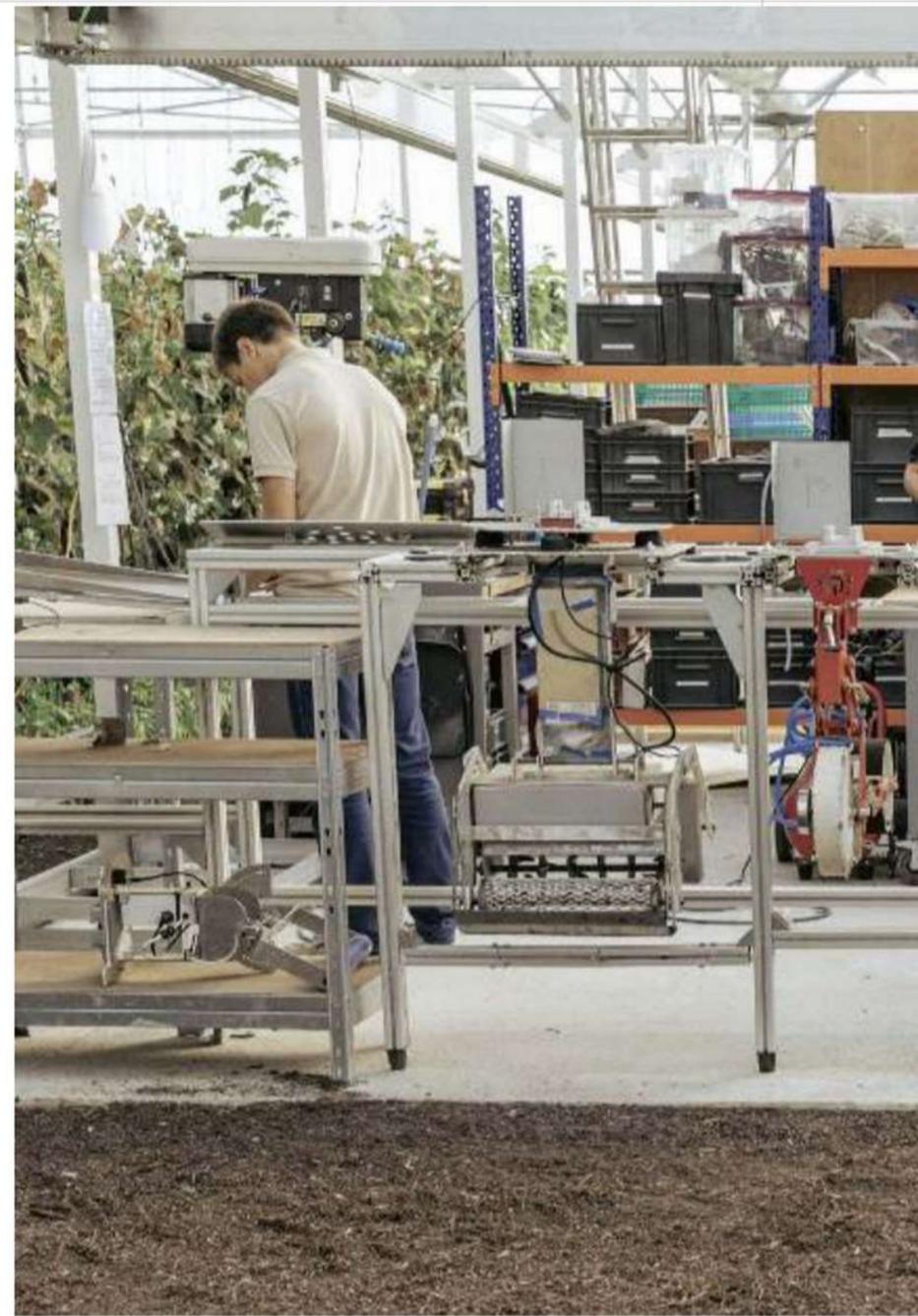
La biodiversité, au cœur de la “smart” agriculture

Grâce à des outils numériques, certaines exploitations peuvent suivre l'évolution de la richesse de leurs sols et modéliser l'impact de leurs pratiques sur la biodiversité. Le tout sans renoncer à une productivité optimale. PAR HÉLOÏSE RAMBERT

Depuis 1950, les agriculteurs ont, ou avaient, un crédo : simplifier toutes les étapes de leur travail, dans un souci de rentabilité maximale. Simplification des techniques, des productions agricoles – notamment grâce au recours aux pesticides pour éliminer les ravageurs – et des paysages, avec l'exploitation de parcelles toujours plus grandes... Ces décennies d'agriculture intensive ont transformé le sol en un simple support, et l'ont appauvri. Mais un virage à 180°

À Saint-Nom-la-Bretèche, dans les Yvelines, la Station V accueille plusieurs start-up, dont NeoFarm, qui développe des solutions d'automatisation des tâches agricoles au service de l'agroécologie.





< Dans les microfermes NeoFarm, un portique mobile équipé d'un bras articulé est programmé (à gauche) pour réduire la pénibilité des tâches manuelles, éviter l'utilisation des pesticides et augmenter les rendements.

est amorcé. Certains agriculteurs et entrepreneurs déconstruisent ce paradigme de simplification des procédés pour y réintroduire de la complexité. Ils en tirent des bénéfices en termes d'enrichissement de la biodiversité et de la fertilité des sols, mais aussi au niveau des rendements. Pour poursuivre cet objectif, les outils numériques peuvent être de précieux alliés.

MINIMUM D'INTRANTS

Les fermes NeoFarm ne veulent plus piétiner les ressources de la terre. Installées sur des surfaces de quelques hectares à proximité des villes, elles produisent des légumes biologiques et locaux – sur des espaces sous serre et en plein champ – en agroécologie. Elles se basent sur un modèle de production agricole respectueux de l'environnement, avec notamment peu de mécanisation, un travail du sol réduit, un fonctionnement

sans intrants chimiques et avec un minimum d'autres intrants et d'énergies fossiles. L'agroécologie, en s'appuyant sur les écosystèmes naturels au lieu d'entrer en compétition avec eux, apporte de nombreux bénéfices dans la lutte contre le changement climatique et la préservation des ressources naturelles. Entre autres : la séquestration du carbone dans les sols, l'optimisation de

“ Plus le taux de matière organique des premiers centimètres du sol est élevé, plus la terre est riche en biodiversité ”



“ La biodiversité, c'est la pierre angulaire de tout l'agroécosystème ”

travail' pour conserver la terre en bonne santé et aider les cultures à pousser. C'est un cercle vertueux, mais néanmoins fragile et auquel il faut faire attention, avec des pratiques agricoles protectrices.” NeoFarm est pourtant bien loin d'être revenue au temps de la pioche : leurs minifermes sont agroécologiques, mais aussi technologiques. Elles disposent d'une application de gestion intelligente, de capteurs et d'automates contrôlant notamment l'irrigation et l'aération. Parmi les données surveillées de près : la si précieuse biodiversité. “La productivité de l'ensemble de l'agroécosystème, et donc les rendements agricoles, constitue un bon indicateur de l'état de la biodiversité, continue Alexia Rey. Mais nous avons mis en place d'autres indicateurs et mesures sur nos fermes, parmi lesquels le comptage des espèces faunistiques, et notamment des auxiliaires de cultures – qui rendent des services écosystémiques à la ferme –, le comptage des vers de terre, des mesures de l'état du sol et des analyses diverses comme la qualité de l'eau des bassins et des mares.”



Le système NeoFarm peut s'appliquer sous serre ou en plein champ, sur des surfaces comprises entre 1 et 4 ha.

l'usage de l'eau, et le maintien de la biodiversité, particulièrement utile, car favorisant en retour les rendements agricoles élevés sur de petites surfaces. “La biodiversité, c'est la pierre angulaire de tout l'agroécosystème : c'est parce que le sol est riche que les cultures pourront être cultivées avec le minimum d'intrants, explique Alexia Rey, directrice générale de NeoFarm. Un bon sol est un sol dans lequel se développent les micro-organismes, qui vont pouvoir s'épanouir et faire leur

AIDE À LA DÉCISION

Chez ITK, on mise aussi sur les outils numériques pour aider les agriculteurs à tirer un profit maximum de leur terre tout en “bichonnant” l'environnement... qui le leur rend bien. “Notre métier, c'est l'aide à la décision informatique pour l'agronomie et pour l'élevage, explique Philippe Stoop, directeur R&D et Innovation à ITK. Cela comprend en particulier des services en faveur de l'agriculture raisonnée : minimiser l'utilisation d'eau pour l'irrigation, celle de l'engrais pour la fertilisation et des pesticides pour la protection des cultures.” Un peu comme un GPS guide un conducteur en lui permettant d'éviter



Le collier connecté d'ITK permet de suivre en temps réel le comportement de chacune des vaches. L'éleveur reçoit directement sur son smartphone les alertes en cas d'urgence, comme le vêlage.

obstacles et ralentissements pour arriver dans les meilleurs délais, même s'il connaît la route, les outils numériques assistent les agriculteurs. Du semis à la récolte, ces technologies détectent des éléments qu'ils ne peuvent pas anticiper, comme une vague de sécheresse, un afflux de froid ou encore le coût des intrants. Objectif : rendement économique maximum et impact minimum sur les écosystèmes.

La biodiversité est aussi forcément au cœur des préoccupations d'ITK. L'intelligence artificielle renseigne l'agriculteur sur l'incidence de chacune de ses pratiques sur la vie dans le sol de ses parcelles. *“On connaît bien les actions qui favorisent cette biodiversité, comme les techniques de conservation des sols ou la réduction de l'emploi des pesticides, rappelle Philippe Stoop. Impossible à ce stade, cependant, de modéliser l'impact des pratiques directement sur la biodiversité. “C'est encore trop complexe, il n'y a pas moyen de concevoir des modèles simples et utilisables à l'échelle d'exploitations agricoles”, précise-t-il. En clair, aucun outil numérique n'est actuellement capable de dire à un exploitant combien de vers de terre pourraient disparaître s'il utilise une quantité donnée de pesticides, et donc de prédire les conséquences sur sa récolte... “Ce qu'il est possible de faire, en revanche, c'est de*



▲ La ferme expérimentale du Mourier, en Haute-Vienne, possède une station météo connectée aux smartphones, qui donnent en temps réel pluviométrie, hygrométrie, pression atmosphérique, etc.

se reposer sur des indicateurs indirects de la biodiversité, comme la mesure du taux de matière organique des premiers centimètres du sol : plus ce taux est élevé, plus la terre est riche en biodiversité”, ajoute le directeur R&D. L'important pour les ingénieurs agronomes qui croient à la numérisation est de rendre toujours plus accessibles les pratiques favorables à la biodiversité. Alexia Rey se veut résolument optimiste. “C'est parce qu'il est économiquement viable que ce modèle écologique pourra essaimer et constituer une alternative solide aux modèles aujourd'hui dominants d'agriculture”, assure-t-elle. ■

ABONNEZ-VOUS À SCIENCE & VIE

ET PROFITEZ DE TOUS VOS ACCÈS ET PRIVILÈGES ABONNÉS

12 numéros par an



6 hors-séries par an



L'accès illimité au site internet et à l'appli Science & Vie

- ✓ Consultez plus de 12 ans d'archives
- ✓ Retrouvez le magazine et ses hors-séries en version numérique
- ✓ Plus de 50 contenus exclusifs par semaine
- ✓ **PRIVILÈGE** l'accès à Science & Vie TV
- ✓ Et accédez à d'autres contenus exclusifs...



L'offre Liberté

5€90 seulement

au lieu de 11€99*

-50%

SANS ENGAGEMENT

SCIENCE & VIE

LA RÉFÉRENCE

Profitez-en vite en scannant le QR code



BULLETIN D'ABONNEMENT à retourner sous enveloppe affranchie à : Science et Vie – Abonnements – 59898 Lille cedex 9

1 Je choisis mon offre d'abonnement et mon mode de paiement :

M030 # D1510171

LA MEILLEURE OFFRE SANS ENGAGEMENT

Offre Liberté :

Je règle par prélèvement **5,90€** au lieu de 11,99€* et je reçois **SCIENCE & VIE** tous les mois + 6 hors-séries par an + l'accès au site (dont TV).

Résiliable à tout moment sans frais. Après 1 an, je serai prélevé de 6,90€ par mois.

-50%

(1)

Je complète l'IBAN à l'aide de mon RIB et je n'oublie pas de **joindre mon RIB**.

IBAN: F R

Vous autorisez Reworld Media Magazines à envoyer des instructions à votre banque pour débiter votre compte, et votre banque à débiter votre compte conformément aux instructions de Reworld Media Magazines. Créancier : Reworld Media Magazines 40 Avenue Aristide Briand 92220 Bagneux France. Identifiant du créancier : FR 05 ZZZ 489479

Date : / /

Signature obligatoire :

▲ Cette offre est disponible **uniquement en joignant votre R.I.B.** (Relevé d'Identité Bancaire) ▲

L'OFFRE 1 AN

-44%

Offre Intégrale :

1 an (12 n°) + 6 hors-séries + l'accès au site (dont TV). Je règle en une seule fois 79,90€ au lieu de 143,21€*.

(2)

✓ Je règle par chèque à l'ordre de Science & Vie et le joins sans agrafe ni scotch.

Vous souhaitez régler par carte bancaire ?
Rendez-vous sur **www.kiosquemag.com**
c'est rapide, simple et 100% sécurisé !



2 J'indique les coordonnées du bénéficiaire de l'abonnement :

Nom** : Prénom** :

Adresse postale** :

CP** : Ville** :

Tél. (portable de préférence) : (Envoi d'un SMS en cas de problème de livraison)

Email :

(Pour gérer l'abonnement, accéder aux services numériques et recevoir nos offres promotionnelles. L'adresse e-mail ne sera pas communiquée à des partenaires extérieurs)

Date de naissance : (pour fêter votre anniversaire)

*Le prix de référence à l'année se compose du prix kiosque (58,80€ sans HS, 94,50€ avec HS), des frais de port (7,32€ sans HS, 8,82€ avec HS), du site internet (41,40€). ** À remplir obligatoirement. Offre réservée en France Métropolitaine valable jusqu'au 31/03/2023. DOM-TOM et autres pays nous consulter. Vous disposez, conformément à l'article L 221-18 du code de la consommation, d'un droit de rétractation de 14 jours à compter de la réception du magazine en notifiant clairement votre décision à notre service abonnement. Responsable de traitement des données personnelles : Reworld Media Magazines SAS. Finalités du traitement : gestion de la relation client, opérations promotionnelles et de fidélisation. Données postales et téléphoniques susceptibles d'être transmises à nos partenaires. Conformément à la Loi informatique et Libertés du 6-01-78 modifiée, vous pouvez exercer vos droits d'opposition, accès, rectification, effacement, portabilité, limitation à l'utilisation de vos données ou donner vos directives sur le sort de vos données après décès en écrivant à Reworld Media-DPD, c/o service juridique, 40 avenue Aristide Briand 92220 Bagneux, ou par mail à dpd@reworldmedia.com. Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - www.cnil.fr. Pour toute autre information, vous pouvez consulter nos CGV sur kiosquemag.com.





Ceci est un œuf

La marque Papondu s'est spécialisée dans la réalisation d'œuf... sans œuf. Ce produit ne contient que des protéines végétales – dont de l'edamame, une fève de soja consommée en Asie – et minérales (de l'eau et du sel).

Rééquilibrer les assiettes au labo

La solution viendra-t-elle des labos pour diminuer les protéines animales dans nos menus ? Fausse viande, faux fromage, faux poisson... Les start-up et les industriels rivalisent d'inventivité pour nous proposer des alternatives végétariennes. PAR HÉLOÏSE RAMBERT

Charles Fouquet est heureux d'être l'un des acteurs de la "révolution végétale". En 2020, il a cofondé Onami Foods. Au menu : faux poisson, fausses crevettes, faux crabe... La start-up propose des alternatives aux produits marins, à base d'algues, de riz et de pois chiches. *"Onami, en japonais, signifie la vague. Un nom à propos!"*, s'enthousiasme-t-il. Le marché des substituts végétaux aux produits animaux se porte bien. La progression du secteur a atteint 42 % entre 2019 et 2021 en Europe (source : Kantar). Dans un contexte de crise écologique et de prise de conscience de la souffrance animale, l'intérêt pour le végétal a de quoi réjouir. Le fait est entendu : nourrir huit milliards de bouches avec des produits animaux n'est pas viable.

The Shift Project, un laboratoire d'idées engagé dans la décarbonation de l'économie et la lutte contre le changement climatique, recommande de réduire de 75 % notre consommation de viande rouge et de 60 % les laitages. Mais difficile d'imaginer une

évolution aussi drastique en un claquement de doigts. Même si de 30 % à 40 % des Européens omnivores expriment des envies de changement et penchent pour le "flexitarisme", un néologisme qui désigne la volonté de consommer moins de viande et de poisson. Les industriels se positionnent donc pour accompagner leur transition et proposer des produits qui ressemblent le plus possible à un steak haché, à du fromage à tartiner ou à un poisson pané. Alors, évidemment, il y a un peu de travail.

"Le similibarné, ça ne pousse pas dans les champs ! Il faut le créer", constate Maximilien Nguyen, ingénieur, cofondateur et président d'Excellent, qui fournit de la "viande végétale" à la restauration collective et commerciale. *"Le secteur innove pour proposer des produits plus ressemblants, meilleurs en goût. Et moins industrialisés. Ça, c'est un vrai challenge : ne pas tomber dans la techno, dans un produit ultratransformé et mauvais pour la santé."* Car, dans la transition vers le végétal, les indéniables bénéfices en termes environnementaux s'obtiennent trop souvent au détriment de la qualité des produits, tant

ils subissent de transformations. On est alors très loin du champ paysan. *“Quelquefois, avec ces produits, on est plus proche de la chimie comestible que de l'aliment”*, estime Anthony Fardet, chercheur en alimentation préventive et durable à l'Inrae et consultant scientifique de l'application Siga, qui permet au consommateur de connaître le niveau de transformation des produits industrialisés. *“Il existe quatre catégories de marqueurs d'ultratransformation, détaille le chercheur. Les additifs cosmétiques (texturants et colorants) ; les arômes ; les nutriments ultratransformés – les sucres invertis, les graisses hydrogénées, et les isolats de protéines ou de fibres, que l'on retrouve très souvent dans les substituts aux produits animaux. Enfin, les traitements drastiques, comme la cuisson-extrusion. Ce n'est pas tant l'un ou l'autre de ces éléments qui pose problème, c'est l'ensemble. Plus de 150 études épidémiologiques ont mis en évidence les dangers des produits ultratransformés pour la santé humaine lorsqu'ils sont consommés en excès.”*

Si les industriels multiplient ces marqueurs, c'est qu'ils sont terriblement pratiques. Mais beaucoup de nouveaux fabricants font tout pour limiter les dégâts. Pour leur burger, Maximilien Nguyen et ses collaborateurs ont misé sur le soja et un “mix” fève et pois. *“Les protéines sont texturées, ce qui améliore leur digestibilité et leur donne, à la mâche, une consistance proche de celle de la viande.”* Ils se sont cependant heurtés au problème rencontré par tous les fabricants de “viande végétale” : à la cuisson, elle ne se tient pas comme une belle pièce du boucher. Il y a certes une solution imparable : la méthylcellulose, mais Excellent – comme Onami Foods – l'a bannie de sa liste d'ingrédients. Trop néfaste pour la santé. Pourtant, *“95 % de nos concurrents en ajoutent dans leur formulation, car c'est une colle. Un peu comme celle que l'on utilise sur le papier peint”*, compare Maximilien Nguyen. Et éviter la méthylcellulose demande des efforts supplémentaires. *“Nous avons trouvé un juste équilibre entre l'hydratation des protéines et l'utilisation des graisses avec l'ajout d'un petit peu de blanc d'œuf en poudre pour la version végétarienne et de farine de chia dans la version végane”*, explique l'ingénieur.



▲ Outre la viande hachée, Excellent produit également des burgers à base de soja qui reproduisent le goût et la texture du poulet.

DUPER LES SENS

Le problème de la bonne tenue de leur ersatz, Philippine Soulères Albrand, présidente et responsable R&D de la marque Papondu, et ses collaborateurs ont aussi dû le résoudre. Objectif : proposer un produit liquide similaire à un mélange de blanc et de jaune d'œuf qui permette de cuisiner des omelettes, mais aussi de réaliser toutes les recettes qui requièrent un œuf battu. *“Le plus grand défi que nous avons dû relever concernait les propriétés techniques de notre succédané, notamment son comportement à la cuisson, explique Philippine Soulères Albrand. Nous respectons un cahier des charges très exigeant pour le développement avec un nombre réduit d'ingrédients, d'origine naturelle. La recette actuelle est en cours d'amélioration : nous souhaitons améliorer la texture avant cuisson, qui est aujourd'hui un peu épaisse, mais aussi le goût, pour se rapprocher de celui d'un œuf. Nous travaillons également sur un produit*

“ Quelquefois, avec ces produits, on est plus proche de la chimie comestible que de l'aliment ”



qui imite l'œuf dans son aspect, avec un blanc et un jaune que l'on peut séparer, mais cela nécessite un travail de recherche et de développement plus important."

Dans un bon produit "simili", tous les sens doivent être dupés. Pour la couleur d'une pseudo-viande, l'adjonction de betterave à la formulation fait des miracles. Reste la question cruciale du goût. *"Nous avons d'abord eu recours à des kits d'arômes 'bœuf', soi-disant naturels, mais qui ne le sont pas du tout, explique Maximilien Nguyen d'Excellent. Finalement, on utilise des levures naturelles, qui offrent une large palette d'odeurs et de saveurs de type viande."*

PROGRÈS TECHNOLOGIQUES

Le goût est aussi la grande affaire des Nouveaux Affineurs. *"Beaucoup de substituts végétaux ne sont pas bons", lâche Nour Akbaraly, cofondateur de la marque qui fabrique des "fromages" sans la moindre goutte de lait. À la base, un mélange de soja et de noix de cajou, pour obtenir une pâte à la texture intéressante, bien équilibrée entre protéines et graisses. C'est cette pâte – au lieu du caillé du lait dans les fromages traditionnels – qui est ensuite fermentée. Là encore, tout a été fait pour réduire la liste des ingrédients et éliminer tous les additifs. "Notre R&D fait appel à des techniques scientifiques pointues, notamment pour la maîtrise des procédés et de la microbiologie, mais dans le but de fabriquer des produits les plus*

Plus de 150 études épidémiologiques ont mis en évidence les dangers des produits ultratransformés pour la santé humaine

'low tech' possibles", résume Nour Akbaraly. Car les acteurs du secteur ne renoncent pas à la technologie. L'une d'elles est en développement et suscite un vif intérêt : la fermentation de précision. L'idée consiste à ne plus partir de produits végétaux entiers, mais à faire "pousser" les protéines d'intérêt – par exemple la caséine dans le cas de produits similibfromages – dans des bioréacteurs, en les faisant fabriquer à grande échelle par des micro-organismes grâce à des outils de biotechnologie et de génie génétique. Un moyen d'obtenir des protéines sur mesure, mais qui reste encore trop cher.

Si Anthony Fardet admet que, au rayon des substituts végétaux, tous les produits ne se valent pas et que certains sont nettement moins transformés, il n'en démord pas : le salut ne viendra jamais des laboratoires, aussi bien intentionnés soient-ils. *"C'est une fausse bonne idée. Ce n'est pas de l'innovation de rupture. Les bonnes vieilles recettes industrielles, de l'ancien monde (le crac-king), restent utilisées."* Même si, selon lui, la valeur ajoutée pour la planète et le bien-être animal est indéniable. Mais le changement le plus durable pour l'environnement et la santé doit passer par la consommation de "vrais" aliments. *"C'est ce qu'on appelle la règle des '3V' dans l'assiette. Ce que l'on y met doit être le plus végétal, varié et vrai possible",* indique le chercheur. Qui, sans recommander de mettre ces produits industriels à la poubelle, rappelle un principe de précaution : nous ne devrions pas consommer plus d'un à deux produits ultratransformés par jour. Seuls 15 % maximum de notre apport calorique quotidien devraient en provenir... En attendant d'autres études. ■



La baie de Somme vue par un des satellites Pléiade qui orbitent autour de la Terre. Cette technologie spatiale optique permet de cartographier la surface de la planète avec une résolution échantillonnée à 50 cm. Des données utilisées pour l'agriculture de précision.

ANTOINE LEFEBVRE

NICOLAS BEAUGENDRE

“La donnée satellite est objective”

Antoine Lefebvre et Nicolas Beaugendre sont les cofondateurs de l'entreprise bretonne Kormap, spécialisée dans le traitement des images satellites. Ils mettent au service d'une agriculture raisonnée les données collectées par le programme spatial européen Copernicus. PAR ARMELLE CAMELIN

SVHS: Depuis 2017, vous développez un outil de cartographie chronologique à destination du monde agricole, qui s'appelle Nimbo. Il s'agit en quelque sorte d'un Google Earth français spécialisé dans l'observation des champs. À quoi servent ces images satellites et qui les utilise ?

Antoine Lefebvre: Cet outil s'adresse principalement aux acteurs du monde agricole opérant au niveau des coopératives, des collectivités ou des organismes publics plutôt qu'aux agriculteurs eux-mêmes. Nous proposons un suivi des cultures

et des informations globalisées sur les surfaces agricoles. Nous travaillons, par exemple, avec Eau de Paris [régie autonome de la ville de Paris chargée de l'approvisionnement en eau de la ville, NDLR]. Comme d'autres organismes publics, Eau de Paris propose des dispositifs d'aide aux exploitations volontaires pour mettre en place des pratiques agroécologiques. Ces pratiques peuvent être, par exemple, l'augmentation de la durée de couverture des sols, qui permet de limiter l'érosion et de favoriser la biodiversité tout en stockant du carbone. Grâce aux images satellites soumises à l'intelligence artificielle que nous développons

et à l'apprentissage machine, nous apportons à ces organismes la preuve que les agriculteurs ont respecté les bonnes pratiques. Nos données sont intéressantes, car elles permettent d'anticiper au maximum la logistique. Les coopératives veulent connaître, avant la récolte, les volumes de production auxquels elles doivent s'attendre, pour organiser leur stockage en silo ou leur transport. En exploitant les images satellites, nous créons des modèles de rendement, anticipons les volumes et faisons des recommandations sur le calendrier de récolte : commencer par cette parcelle plutôt qu'une autre.

SVHS : *En quoi cette solution est-elle différente de la simple observation de terrain ?*

Nicolas Beaugendre :

L'avantage de la donnée satellite, c'est d'abord qu'elle est objective. C'est-à-dire que le satellite, qui est dans l'espace, enregistre des images. On oppose la donnée objective qu'il collecte à la donnée déclarative de terrain, qui peut être subjective, voire corrigée à différentes fins. Aussi, la donnée est homogène : ce qu'on observe en Bretagne, on l'observera le lendemain en Allemagne et le surlendemain en Russie. Les données sont parfaitement comparables, alors que des experts russes, français ou allemands n'auront pas la même manière d'expertiser une surface. La dernière qualité du satellite est qu'il fournit une donnée continue, contrairement à l'observation de terrain, difficile et contraignante, qui n'a lieu parfois qu'une fois par an.

SVHS : *D'où viennent les données satellites que vous exploitez ?*

A. L. : Nous utilisons les données fournies par le programme européen Copernicus, et plus particulièrement les données des satellites Sentinel-1 et -2, équipés de capteurs radars et optiques. Ces données sont libres de droits pour tous les contribuables européens. Elles sont souveraines, financées par l'Union européenne. Les données récoltées par les

En exploitant les images satellites, nous créons des modèles de rendement, anticipons les volumes et faisons des recommandations sur le calendrier de récolte

capteurs sont acquises en continu. C'est-à-dire que le satellite défile autour de la Terre et nous permet d'avoir une couverture globale continue. Les satellites ont une capacité de revisite [passage au-dessus d'une même zone, NDLR] de moins d'une semaine. Cela signifie

qu'on a une acquisition, sur un même point du territoire, tous les quatre à six jours.

SVHS : *Quels sont les autres apports de cet outil pour une agriculture plus durable ?*

N.B. : Il permet, par exemple, de mieux manager les ressources, d'avoir une

Différentes utilisations des satellites dans l'agriculture



LA TÉLÉDÉTECTION DE VARIABLES BIOPHYSIQUES DES SOLS

L'observation radar de teneur en eau, du niveau de matière organique et du couvert végétal rend possible une optimisation des pratiques agricoles.



LE GUIDAGE D'ENGINS

Installés sur diverses machines comme les tracteurs, moissonneuses ou arracheuses à lin, les systèmes de guidage GPS standard (précision de 20 cm) ou à correction différentielle, appelés DGPS (précision de 1 à 3 cm), optimisent les passages et évitent les chevauchements.

meilleure gestion des intrants comme l'azote ou l'eau. L'observation des champs indique quelle dose d'azote il faut déverser sur une parcelle et à quel endroit. D'un point de vue économique, c'est intéressant. Si, durant les dernières années, on observe qu'une culture n'a pas levé, cela ne sert à rien de dépenser de l'argent en y déversant de l'azote.

SVHS: Qui sont vos concurrents ?

N.B.: Il y a beaucoup d'acteurs dans le monde du satellite en agriculture. Par exemple, on fournit au ministère de l'Agriculture des indices de production des

Le satellite Sentinel-1 fait partie du programme Copernicus lancé en 2014. Il est utilisé à de nombreuses fins, dont la cartographie des terres agricoles.



fourrages, et on sait qu'Airbus leur fournit aussi ce type d'information. Il y a donc sur le secteur à la fois des acteurs historiques du spatial, des industriels des produits phytosanitaires,

comme Bayer, et des petites sociétés comme la nôtre, qui entrent en concurrence.

SVHS: L'eau et l'irrigation des sols sont-elles des enjeux sur lesquels vous travaillez ?

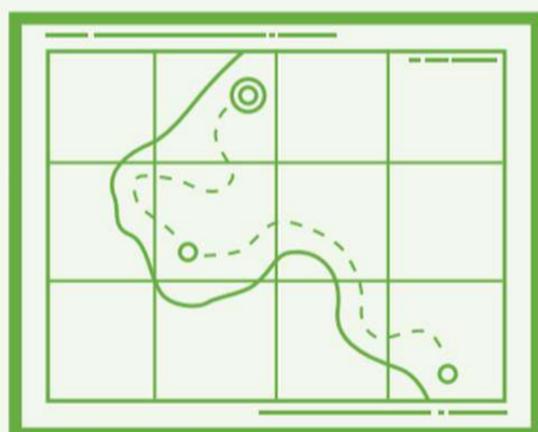
N.B.: Oui. À terme, nous souhaitons retranscrire l'humidité des sols à partir du croisement de différentes données. On travaille sur des modèles qui utiliseraient à la fois des données satellitaires, comme l'image radar ou des informations météorologiques, et des données de terrain. L'objectif est de permettre une modélisation objective des réserves utiles en eau au niveau du système racinaire.

A.L.: Il est important de préciser que nous travaillons à partir de recherches académiques. Nous souhaitons que ces recherches ne restent pas dans le monde universitaire restreint, mais qu'elles se diffusent dans la société civile. Nous voulons faire en sorte que ces travaux puissent avoir une implication, qu'ils soient utilisés et utilisables dans le monde réel. ■



LES PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES LOCALES DE PRÉCISION

Températures, vent (vitesse, rafale, direction), carte radar pour les précipitations, calcul de l'évapotranspiration potentielle (la quantité d'eau qui s'évapore de la parcelle et à quel moment), nombre de décharges de foudre, température au moment de la formation de la rosée...



LA CARTOGRAPHIE

Elle précise la caractérisation des parcelles (qu'est-ce qui est cultivé et où).



L'ASSURANCE RÉCOLTE

Depuis le 1^{er} janvier 2023, un régime universel d'indemnisation permet aux agriculteurs, assurés ou non, de recevoir des subventions publiques en cas de catastrophes naturelles. Les excès ou carences de production sont estimés à partir de la comparaison d'images satellites en temps réel à des images anciennes.

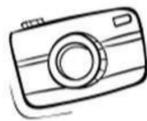
SCIENCE & VIE



Objectif
Sciences
International
30 YEARS ANOS 1992 2022



COMME UNE COLO...



mais en mieux !

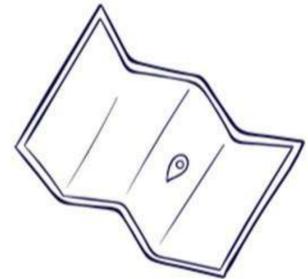


Vous recherchez des **vacances insolites pour vos enfants** ou à **partager avec eux** ? Vous trouverez votre bonheur parmi les **séjours proposés** par notre partenaire **Objectif Sciences International (OSI)**. Leur formule est très flexible ! Vous pouvez les accompagner et même participer aux activités scientifiques ! Au programme de ces fabuleux séjours : observation de la biodiversité, fabrication d'un drone ou d'un robot, grimper aux arbres... des moments inoubliables à vivre en famille !



Les séjours OSI, ce sont :

- Des aventures **hors du commun**, de vrais projets de sciences participatives pour les **passionnés de tout âge**
- Des expériences pour **comprendre, explorer, connaître et protéger**
- Des **départs toute l'année** et pendant les vacances scolaires
- Des **séjours partout en France et à l'étranger**
- Des vacances accessibles à tous (**enfants, ados, familles et entre amis**) et en **petit groupe**
- Des voyages **déductibles d'impôts** (66% en France et de 20% à 70% selon les autres pays de domicile fiscal) car le prix du séjour est assimilé à un don.



AVANTAGES LECTEURS Science&Vie

50€ DE REMISE sur votre séjour

**Appelez-nous au 01 41 33 59 83 pour bénéficier de l'offre Science&Vie et recevoir un devis personnalisé et calculé en fonction de votre taux d'imposition et des aides sociales dont vous pouvez bénéficier par ailleurs !

Découvrez les coups de cœur 2022 des autres lecteurs

SECRETS DES ABYSSES



Montant du séjour :
entre 800 € et 1920 €**

BRETAGNE

NANCY ET VITTEL

GÉNÉTIQUE ET BIOLOGIE



Montant du séjour :
entre 600 € et 1500 €**

Vacances d'été
Contribuez à un **projet scientifique** au sein d'un **laboratoire de recherche** et pratiquez différents sports !

SUR LES TRACES DE L'OURS



Montant du séjour :
entre 500 € et 1300 €**

Vacances d'été

À pied ou à cheval, explorez la somptueuse forêt où habite l'ours et apprenez à reconnaître ses traces.

PAYS BASQUE

PYRÉNÉES

SÉJOUR DRONES



Montant du séjour :
entre 500 € et 1300 €**

Vacances de printemps et d'été

Concevez un drone, fabriquez et pilotez des drones volants, roulants, flottants au service de la science et de la nature.

AU FIL DE L'ARBRE



Montant du séjour :
entre 500 € et 1300 €**

Vacances de printemps et d'été

Explorez la forêt, grimpez en haut des arbres et menez l'enquête sur les espèces invasives et leur relations avec les autres habitants de l'écosystème.

BALEINES & DAUPHINS



Montant du séjour :
entre 800 € et 1920 €**

Vacances de printemps et d'été

Aventure en catamaran pour identifier les mammifères marins vivants comprendre leur localisation en analysant le milieu par une pêche du plancton et en observant des poissons lunes !

"L'équilibre entre activités scientifiques et sportives était très bien. C'était super intéressant d'être immergé dans le quotidien de chercheurs..."
Marie-Line

"Nous avons beaucoup apprécié notre semaine et surtout la qualité des animateurs : passionnés et passionnants." Paul

"Ma fille a été ravie de rencontrer des personnes comme elle passionnées de sciences." Lorenzo

Renseignez-vous vite,
d'autres propositions de séjours existent... Les places sont limitées !

Téléchargez la documentation complète sur notre site

www.voyages-lecteurs.fr/sv

OU

Informations & réservations

01 41 33 59 83 EN PRÉCISANT SCIENCE&VIE

Du lundi au vendredi de 9h30 à 18h30

OU Demandez votre brochure sans engagement en retournant ce coupon à : Science & Vie - «Séjours scientifiques» - 59 898 LILLE CEDEX 9

SCIENCE & VIE

SOS123SV

Nom* : Prénom* :

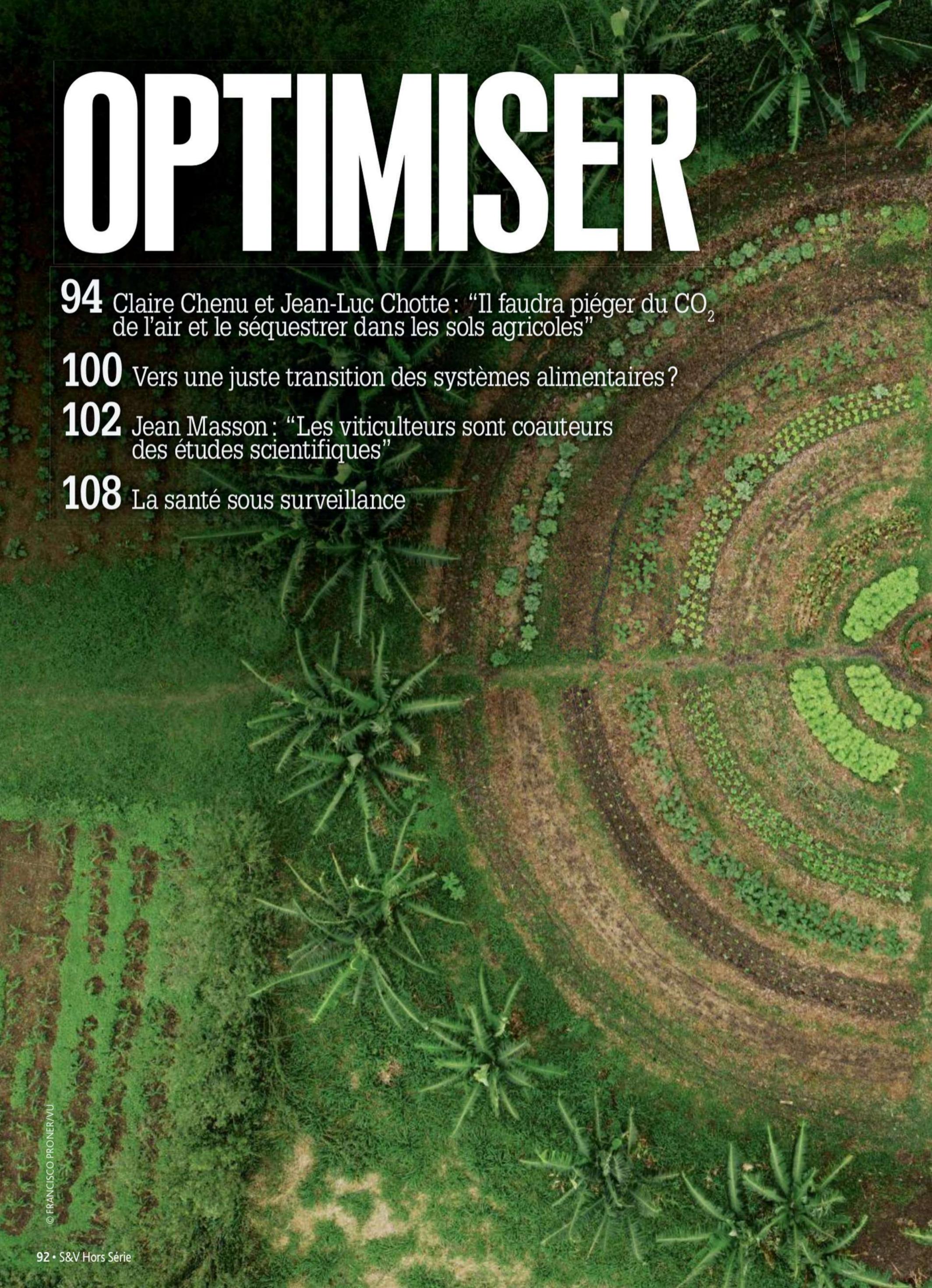
Adresse* :

CP* : Ville* : Tél. :

Pour bénéficier des offres de Science et Vie et de ses partenaires, email :

*A renseigner obligatoirement pour traiter votre demande.
Les informations recueillies à partir de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatique fondé sur votre consentement et destiné à Reworld Media France SAS en sa qualité de responsable de traitement. Les finalités poursuivies sont l'envoi de la brochure et les offres relatives aux voyages avec nos partenaires si vous y consentez. L'inscription au voyage implique l'acceptation des conditions générales et particulières de vente de Objectif Sciences International au dos du bulletin de réservation joint à la brochure. Les données personnelles sont conservées jusqu'à votre demande de suppression. Conformément à la loi Informatique et Libertés n°78-17 modifiée, vous disposez notamment des droits d'accès, rectification, effacement, limitation de vos données. Vous pouvez, pour des motifs légitimes, vous opposer au traitement de vos données. Pour en savoir plus, veuillez consulter notre Politique de confidentialité. Pour exercer vos droits, écrivez à : Reworld Media France - DPD Service juridique, 40 Avenue Aristide Briand 92220 BAGNEUX ou par mail : ddp@reworldmedia.com. Vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL - www.cnil.fr Crédits Photo : Istock, Shutterstock.

OPTIMISER



94 Claire Chenu et Jean-Luc Chotte : “Il faudra piéger du CO₂ de l’air et le séquestrer dans les sols agricoles”

100 Vers une juste transition des systèmes alimentaires ?

102 Jean Masson : “Les viticulteurs sont coauteurs des études scientifiques”

108 La santé sous surveillance



Non, ceci n'est pas un mandala, mais un cercle de cultures vivrières, associant arbres et légumes. Bienvenue à Marica, dans l'État de Rio, au cœur de la ferme de Joaquin Pinero, porte-parole du Mouvement des sans-terre (MST), né au début des années 1980 au Brésil et réunissant 1,5 million de paysans. La municipalité a donné au MST des terres en friche que les paysans cultivent en agroforesterie, afin de prendre soin à la fois des hommes, de leurs revenus et de l'environnement. **J. S.**

CLAIRE CHENU

JEAN-LUC CHOTTE

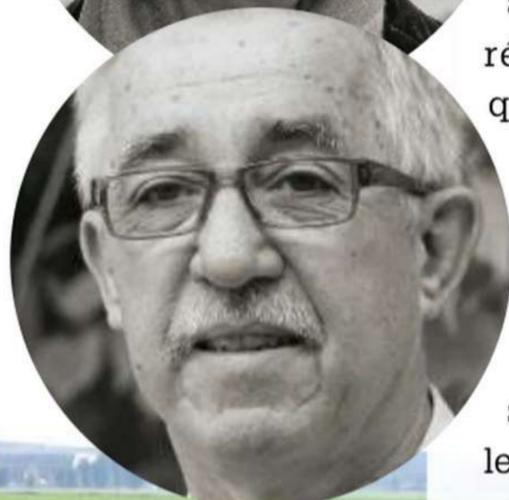
“Il faudra piéger du CO₂ de l'air et le séquestrer dans les sols agricoles”



Le 1^{er} décembre 2022, la Commission européenne a présenté un cadre de certification pour un dispositif sur lequel elle compte pour lutter massivement contre les émissions de gaz à effet de serre : le *carbon farming*, ou “culture du carbone”. Entretien croisé avec Claire Chenu, chercheuse à l’Inrae* et Jean-Luc Chotte, chercheur à l’IRD** . PAR KHEIRA BETTAYEB

* Institut national de recherche pour l’agriculture, l’alimentation et l’environnement

** Institut de recherche pour le développement



SVHS: Qu'est-ce que le carbon farming ?

Claire Chenu: Un *business model*, autrement dit un modèle économique qui vise à atténuer le changement climatique à l'échelle d'une ferme, en rétribuant les agriculteurs qui mettront en œuvre des pratiques agricoles favorisant le piégeage, dans leurs sols, du dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère, un gaz à effet de serre (GES) impliqué dans le réchauffement climatique.

SVHS: Pourquoi est-ce si important de stocker du carbone dans le sol ?

Jean-Luc Chotte: Cela sera indispensable pour atteindre la neutralité carbone envisagée pour 2050, à savoir l'annulation de l'augmentation annuelle des émissions de GES – et non la suppression de tous les GES dans l'atmosphère. En effet, pour relever ce défi, réduire fortement les émissions de CO₂ dues à diverses activités humaines (transport, déforestation...) et les émissions d'autres GES [comme le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O), NDLR], d'origine majoritairement agricole, est la priorité. Mais cela ne suffira pas... Il faudra également piéger du CO₂ de l'air et le séquestrer à grande échelle dans les sols agricoles.

SVHS: Comment est née l'idée de stocker du carbone dans les sols ?

J.-L. C.: Du constat que les sols agricoles et forestiers constituent un énorme

réservoir de carbone organique. À l'échelle de la planète, ils contiennent trois fois plus de carbone que l'atmosphère [2400 milliards de tonnes (GtC) contre 860 milliards dans l'atmosphère, selon l'Inrae, NDLR].

C. C.: La communauté scientifique a commencé à étudier la possibilité de piéger le CO₂ de l'air dans les sols dès les années 1990. D'ailleurs, des collègues de l'Inrae ont estimé, dans les comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France, en 1999, qu'une augmentation de 0,4 % des stocks de carbone des sols du monde, chaque année, équivaldrait au flux annuel de carbone fossile de notre planète vers l'atmosphère.

J.-L. C.: Cette étude a été à l'origine de l'initiative 4 pour 1 000 (ce qui est égal à 0,4 %), qui vise également à promouvoir la mise en place d'actions concrètes permettant l'augmentation des teneurs en carbone organique dans les sols. Mais ce projet s'adresse aux gouvernements, aux entreprises, aux syndicats agricoles et aux organisations non gouvernementales (ONG) du monde entier ; et pas seulement aux agriculteurs européens, comme le *carbon farming*.

SVHS: Concrètement, comment le sol peut-il séquestrer le CO₂ ?

C. C.: Grâce aux végétaux qui le recouvrent. En effet, le CO₂ de l'atmosphère est capté par les parties aériennes des plantes qui le transforment en molécules organiques,





Le domaine de Restinclières expérimente plusieurs types de cultures en agroforesterie. Ici, une plantation de noyers hybrides est associée à une culture d'orge.

via le processus biologique de la photosynthèse. Les molécules organiques – et donc le carbone du CO₂ – sont ensuite incorporées dans les parties aériennes et les racines des plantes. À la mort de la plante, ou après sa récolte, les racines restent dans le sol et des parties aériennes (feuilles, résidus de culture...) tombent au sol. Cette matière organique fraîche est alors lentement décomposée par les organismes du sol (vers de terre, bactéries, champignons...) et incorporée à celui-ci.

SVHS: Quelles pratiques agricoles permettent d'augmenter le stock de carbone dans le sol ?

C. C. : Les plus efficaces sont celles qui favorisent

une couverture végétale des sols la plus longue et la plus vaste possible, de manière à augmenter la réalisation du processus de photosynthèse. C'est le cas par exemple de l'agroforesterie [*mode d'exploitation des terres agricoles associant des arbres aux cultures ou à l'élevage, NDLR*], des rotations avec des prairies

temporaires, des cultures intermédiaires entre deux récoltes, de la plantation de haies, de l'enherbement des vignes et vergers, etc. D'autres pratiques sont également susceptibles d'aider, comme celles qui permettent de protéger les stocks de carbone déjà existants : la réduction du travail du sol ou la lutte contre l'érosion



“ L'objectif prioritaire d'un agriculteur n'est pas de stocker du carbone dans son sol, mais de produire de manière durable et que son exploitation soit viable ”



▲ Les images enregistrées par le système de télédétection Lidar (*Light detection and ranging*) permettent de modéliser une parcelle conduite en agroforesterie et d'affiner la connaissance du sol.

(qui entraîne la terre, et donc le carbone). Mais toutes ces pratiques ont un coût ; d'où la nécessité d'aider financièrement les agriculteurs qui se lancent dans cette voie, ainsi que le prévoit le *carbon farming*.

SVHS: Existe-t-il des limites au stockage de carbone dans le sol ?

J.-L. C. : Oui, car un sol a une capacité limitée de stockage de carbone au-delà de laquelle il est saturé, et ne peut donc plus compenser les émissions de GES si elles n'ont pas été diminuées entre-temps. Voilà pourquoi cette approche ne peut s'envisager qu'en supplément d'une réduction des émissions de GES.

C. C. : De plus, le carbone capté depuis l'atmosphère... finit par retourner dans celle-ci ! En effet, le carbone de la matière organique du sol est rejeté peu à peu dans l'air par les micro-organismes du sol, à l'issue du processus de respiration cellulaire qui voit les molécules organiques se dégrader en présence d'oxygène. Ce qui entraîne une libération d'énergie utile pour les micro-organismes, mais aussi une "fuite" de CO₂. Certes, comme la

▲ À l'aide de capteurs et de centrales d'acquisition de données, l'équipe Syme (Systèmes de culture, métrologie et expérimentation) réalise des mesures climatiques sur le couvert d'orge d'un site expérimental.

dégradation de la matière organique est très lente, un atome de carbone reste dans le sol plusieurs dizaines d'années en moyenne. Mais ce stockage n'est pas éternel. Ensuite, cette solution ne concerne que le CO₂, et pas tous les types de GES dans l'atmosphère (N₂O, CH₄...).

SVHS: Cette approche présente-t-elle des risques ?

J.-L. C. : Oui, si elle est mal réalisée, elle peut être contre-productive et favoriser l'émission de GES, notamment si les pratiques qui ont mené à une augmentation du carbone stocké dans un sol ne sont pas maintenues sur le long terme. En cas de retour aux pratiques antérieures qui dégradent les sols, il y aura une libération de grands stocks de carbone dans l'air.

“ Si elle est mal réalisée, cette approche peut être contre-productive et favoriser l'émission de gaz à effet de serre ”

C. C. : Ensuite, vouloir stocker beaucoup de carbone dans le sol pourrait amener à adopter des pratiques agricoles qui favorisent le développement des végétaux (et donc la photosynthèse), mais aussi l'émission d'autres GES, comme l'utilisation importante d'engrais – qui entraîne la production de N₂O – ou l'irrigation massive – qui met en danger les ressources en eau.

SVHS : Le carbon farming peut-il nuire à la vocation première de l'agriculture, c'est-à-dire produire des denrées alimentaires ?

C. C. : Si l'on n'y prend pas garde, oui... En fait, l'augmentation de la teneur en carbone des sols peut aider à préserver, augmenter et maintenir stables les rendements, puisque des sols plus riches en matière organique sont plus fertiles et plus aptes

à l'infiltration et la rétention de l'eau. En revanche, le carbon farming peut nuire à l'agriculture car il ne vise qu'un seul objectif. En effet, il se focalise sur l'atténuation du changement climatique. Cela peut mener à planter des forêts, pour leur grande capacité de stockage, et mettre ainsi en danger la sécurité alimentaire. D'où la nécessité de veiller à ce que soient mises en œuvre toutes les incitations à retenir du carbone dans le sol, en tenant compte, certes, du défi climatique, mais aussi de celui touchant à la sécurité alimentaire.

J.-L. C. : Dans les pays en voie de développement, cela peut mener au *land grabbing* (ou “accaparement des terres”), à savoir la prise de contrôle du secteur agricole

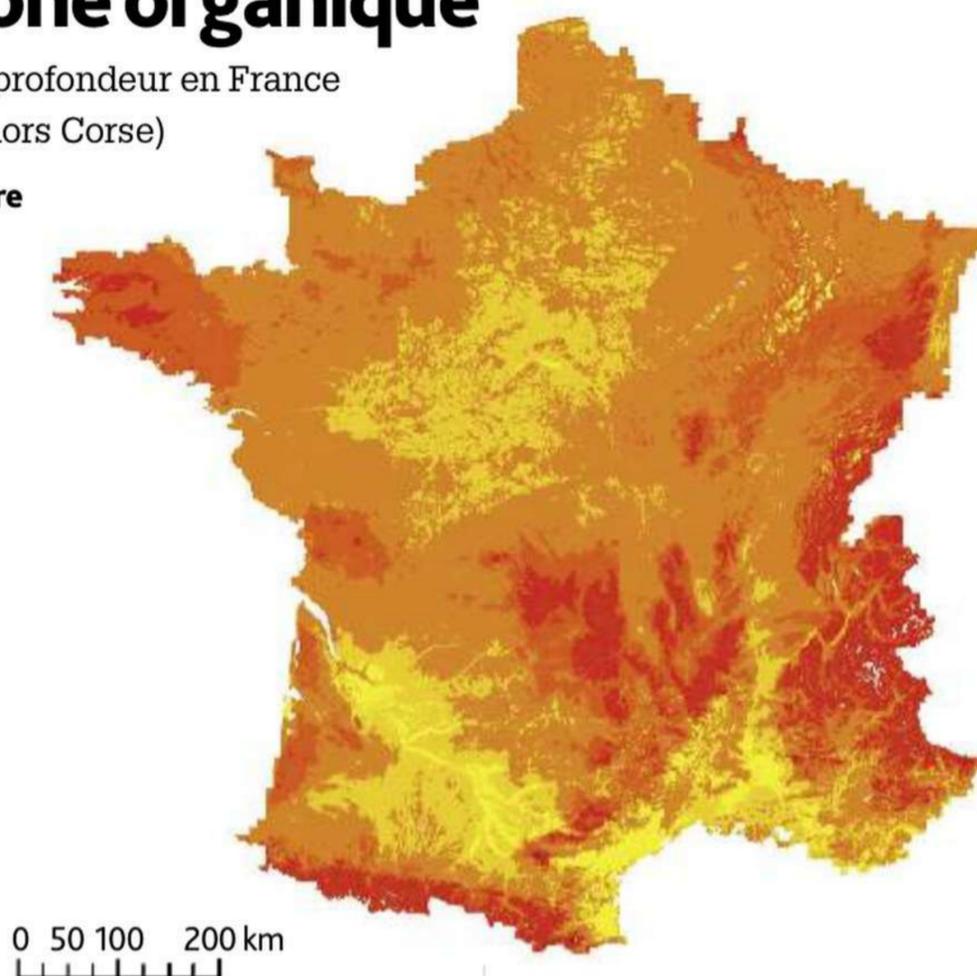
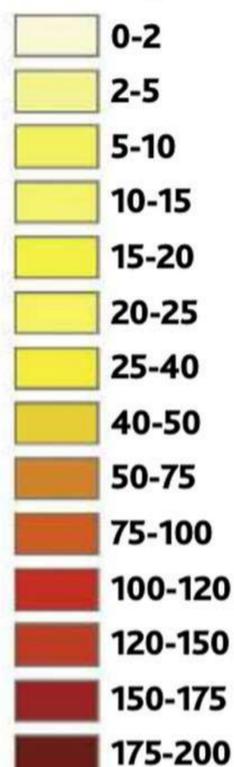
L'Observatoire de recherche en environnement (ORE), mis en place en 2010 à Estrées-Mons (Somme), possède des parcelles expérimentales équipées pour suivre la biodiversité ainsi que la dynamique du carbone et de l'azote dans les sols, l'eau et l'air.



Estimation des stocks de carbone organique

(de 0 à 30 cm de profondeur en France métropolitaine, hors Corse)

En tonne par hectare



de ces pays par des investisseurs d'autres nations, pour y planter des arbres visant uniquement à atténuer le réchauffement climatique. Voilà pourquoi lors de la préparation de l'initiative 4 pour 1 000 – qui poursuit, elle, plusieurs objectifs –, les ONG ont demandé de faire attention à ce que tous les systèmes incitant à augmenter les stocks de carbone dans le sol ne nuisent pas à la propriété et à l'usage des sols par les communautés locales.

SVHS : Où en est-on sur le terrain ? Le stockage du carbone dans le sol convainc-t-il largement ?

C. C. : Non, mais il attire l'attention. Si l'on en parle depuis trente ans et que l'on a identifié quelles sont les pratiques agricoles stockantes, cette stratégie reste pour l'instant une approche

de niche. En France, les premières opérations de *carbon farming* sous l'égide du Label bas-carbone ont été lancées. Ce label a été mis en place par le gouvernement en 2019 et permet de certifier des projets de réduction d'émissions de gaz à effet de serre et de séquestration de carbone dans tous les secteurs (forêt, agriculture, transport, bâtiment, déchets, etc.) et de les valoriser économiquement. Mais on est encore loin de la mise en œuvre à grande échelle. Rappelons que l'objectif prioritaire d'un agriculteur n'est pas de stocker du carbone dans son sol, mais de produire de manière durable et que son exploitation soit viable. De manière générale, la capacité de chaque pays à mettre en œuvre des mesures de séquestration du carbone dans le sol reste très incertaine. Lors d'une étude commanditée par le

programme européen EJP Soil, que je coordonne, et publiée dans la revue *Global Change Biology* fin 2021, il est apparu que seuls quatorze pays européens sur les 24 pays étudiés avaient déjà réalisé la première étape pour aller vers un stockage du carbone à large échelle ! Il s'agissait d'estimer, au niveau national, le potentiel de stockage de carbone dans leurs sols agricoles.

SVHS : Quels sont les défis à relever par la recherche pour favoriser le stockage du carbone dans le sol ?

J.-L. C. : Il nous faut trouver des stratégies efficaces pour inciter les agriculteurs à adopter cette démarche, mais aussi mieux comprendre les mécanismes de séquestration du carbone dans les sols, identifier des plantes qui peuvent augmenter ce stockage, développer des techniques pour le mesurer rapidement et à moindre coût, déterminer si le stockage peut être affecté par le réchauffement climatique, etc.

C. C. : Depuis février 2020 et le lancement du programme européen EJP Soil, nous avons financé une dizaine de projets de recherche portant sur ces aspects. Malgré les incertitudes qui subsistent autour du stockage de carbone dans le sol, cette approche apparaît plus que jamais comme un levier indispensable pour s'adapter au changement climatique, contribuer à atténuer le réchauffement et assurer la sécurité alimentaire. ■

VERS UNE JUSTE TRANSITION DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES?

Sur la base des objectifs de décarbonation du secteur agricole d'ici à 2050, les experts du Basic et de l'Iddri ont publié une étude en 2021 sur les conditions dans lesquelles la transition agroalimentaire pourrait être vertueuse socio-économiquement. Deux scénarios s'offrent aux élus et aux citoyens pour modifier le système alimentaire français. PAR ARMELLE CAMELIN

Pendant trois ans, les experts de l'Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri) et du Bureau d'analyse sociétale d'intérêt collectif (Basic) se sont demandé comment une transition juste du système alimentaire français pouvait avoir lieu sur la base des objectifs de décarbonation de l'accord de Paris. *"L'objectif de notre étude était de définir les conditions politiques d'une transition du secteur agroalimentaire qui soit à la fois vertueuse sur le plan environnemental (réduction des émissions de gaz à effet de serre, reconquête de la biodiversité et de la qualité des eaux) et juste sur le plan socio-économique"*, explique Baptiste Gardin, membre de l'Iddri, signataire de l'étude.

▲ Faciles à cultiver, nutritives et avec un impact positif sur l'environnement, les algues rentrent dans le cadre du scénario "Recompositions socio-territoriales" qui vise l'évolution du secteur agricole.

Pour mener ses investigations, l'Iddri s'est appuyé sur un nouveau cadre d'analyse baptisé MoFOT (pour Model of Food system Transition). *"Nous avons fait le constat que les modèles économiques que nous utilisons d'habitude ne nous permettaient pas de prendre en compte des changements*



biophysiques importants, raconte l'analyste. Or, d'ici 2030, la structure des exploitations agricoles comme du secteur agroalimentaire aura changé. Cette nouvelle méthodologie d'analyse prend en compte les évolutions du secteur et les tensions entre enjeux de long terme et contraintes de court terme."

Une étude d'impact a été réalisée sur deux secteurs spécifiques de l'agriculture : les bovins qui produisent du lait et les grandes cultures. Deux scénarios atteignant les objectifs de décarbonation en sont ressortis. Le premier, intitulé "France duale", est centré uniquement sur les enjeux liés au climat sans remise en cause des logiques de production. *"D'après nos projections, il conduirait à l'accélération de la disparition des exploitations et à une perte d'emploi dans l'agroalimentaire (-12 % par rapport à 2015) sans amélioration de la qualité de l'alimentation ou de la biodiversité",* rapporte Baptiste Gardin. Le second scénario, "Recompositions

socio-territoriales", est, quant à lui, multifonctionnel : il prend en considération les enjeux liés au climat, mais aussi ceux relatifs à la biodiversité, la santé et l'emploi. *"Ce scénario pourrait au contraire générer de multiples bénéfices avec par exemple l'accroissement de l'emploi agroalimentaire (+8 % par rapport à 2015), la contribution à la restauration de l'agrobiodiversité et le développement d'une offre alimentaire plus adaptée aux recommandations nutritionnelles",* détaille Baptiste Gardin. Cette seconde projection repose sur des mesures politiques importantes, notamment du point de vue de l'accompagnement des consommateurs. *"Il faudra, par exemple, instaurer des normes nutritionnelles et sanitaires rigoureuses pour favoriser la consommation de produits faiblement transformés et promouvoir la réduction de la consommation de protéines animales grâce à des campagnes d'information massives",* précise le chercheur. Autres leviers politiques indispensables : un changement de la Politique agricole commune (Pac) avec une convergence des visions entre États membres pour fixer aux agriculteurs des objectifs et des conditions de production comparables. Enfin, si les pouvoirs publics devaient s'emparer de ce scénario, une approche ambitieuse en matière de commerce international pour favoriser et accompagner l'adoption de nouvelles normes de production plus vertueuses est indispensable. ■

Il faudra promouvoir la réduction de la consommation de protéines animales grâce à des campagnes d'information massives





JEAN MASSON

JEAN-FRANÇOIS LALLEMAND

FRÉDÉRIC SCHERMESSE

“Les viticulteurs sont coauteurs des études scientifiques”

Cultiver différemment après des décennies d'habitudes ? Le grand défi du monde agricole est peut-être de changer ses façons de faire. La recherche-action participative consiste à inclure les agriculteurs dans des recherches en biologie, en agronomie, mais aussi en sciences humaines. Visite chez des viticulteurs alsaciens qui ont relevé le pari. PAR ARMELLE CAMELIN



Jean Masson, directeur de recherche à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Colmar, conduit depuis dix ans une recherche-action participative avec quelques dizaines de viticulteurs et d'autres acteurs du vin aux environs de Westhalten, près de Rouffach (Alsace). Le principe de cette recherche consiste à y associer les viticulteurs. Autour d'une table, pendant les réunions, dans les vignes, lors d'entretiens individuels ou autour d'un verre, ils exposent leurs problèmes et leurs désaccords jusqu'à ce qu'une question consensuelle se dégage de ces échanges. La première, celle qui a ouvert cette recherche, portait sur les produits phytosanitaires : comment limiter leur utilisation dans les vignes ? Dix ans plus tard, les viticulteurs participants ont mis en place de nouvelles pratiques, comme le recours au désherbage mécanique. Certains vont même jusqu'à convertir une partie de leurs parcelles en bio ou en biodynamie. Depuis, de nombreuses autres questions ont été soulevées, documentées et résolues. Mais comment ont-ils fait pour changer leurs pratiques alors qu'ils n'en avaient pas l'intention ? Jean Masson, accompagné de Jean-François Lallemand, viticulteur à Westhalten depuis vingt ans,

et Frédéric Schermesser, viticulteur, céréalier et président de l'association Viti repère, qui regroupe les participants au projet, nous racontent le fonctionnement et les bienfaits de ce type de recherche qui s'exportera, dans les prochains mois, à l'échelle de tous les vignobles de France.

SVHS : *Jean Masson, vous êtes chercheur et vous avez décidé de sortir de votre laboratoire. Pourquoi vous voit-on en anorak dans les vignes de Westhalten plutôt qu'en blouse blanche dans les locaux de l'Inrae Colmar ?*

Jean Masson : Alors non, je n'ai pas décidé de sortir, ils m'ont fait sortir ! Après une longue carrière, aux États-Unis, en Suisse, sur des espèces modèles dans les labos, je me suis mis à travailler la vigne dans un laboratoire de l'Inrae. Des choses ont alors commencé à se passer dans ma tête. Et ce sont finalement les deux garçons qui sont autour de moi aujourd'hui

qui m'ont amené à voir la recherche autrement, à poser d'autres questions. Je suis retourné à l'université pour étudier l'épistémologie et la philosophie des sciences et j'ai eu envie de faire de la recherche participative.

SVHS : *Jean-François Lallemand, vous êtes viticulteur. Pourquoi vous êtes-vous engagé dans cette recherche ?*

Jean-François Lallemand : J'étais très volontaire. Je crois que j'avais envie de réfléchir à ce que je faisais. J'avais de la motivation pour changer la vigne. Dans le fond, je crois qu'il y avait l'idée de travailler un peu plus proprement.



Viticulteurs et chercheurs mènent de concert des travaux de recherche sur les sols des vignes.

Frédéric Schermesser, en rose, et Jean Masson, agenouillé entre deux rangs de vigne, évaluent la qualité des sols (texture, odeur, présence de lombrics...) dans une parcelle.

SVHS: Jean Masson, qu'est-ce que la recherche-action participative, qui combine recherche de terrain et de laboratoire ?

J. M. : La première chose à comprendre, c'est que nous restons attachés à une démarche scientifique. Tout ce que nous faisons doit être vérifiable, reproductible, descriptible et discutable. Nous souhaitons échapper à la subjectivité et aux remarques du genre : "Ce que vous faites est moins scientifique que de la biologie." Les projets comme celui-ci amènent à poser des questions en sciences agronomiques, biologiques et humaines. Depuis quinze ans, les sciences participatives se développent. Il s'agit, au sens large, de faire appel aux compétences du public pour faire des découvertes scientifiques : nous allons par exemple chercher les savoirs chez un passionné d'insectes. On trie les informations récoltées à l'aide de méthodes scientifiques et on publie des résultats. La plupart du temps, le

passionné des insectes n'est pas impliqué dans la publication, et c'est dommage, car je suis sûr que ça l'intéresserait.

SVHS: Dans votre recherche, les viticulteurs cosignent les études, c'est cela ?

J. M. : Oui, ils sont coauteurs, soit en tant que groupe, soit à titre individuel, soit les deux. Dans ma pratique de la recherche-action participative, nous sommes partis d'une situation problématique, l'emploi important de produits phytosanitaires dans les vignes. On a mis autour de la table des gens qui avaient des solutions à cette problématique, mais elles étaient différentes d'une personne à l'autre. Ces différences génèrent du

désaccord, voire plus. Une fois que les différends ont été exprimés, on a demandé aux participants d'abandonner les positions sur lesquelles ils campaient pour décrire les raisonnements qui les avaient amenés à penser cela. À cet état du raisonnement, on redevient des humains et on réussit à croiser les avis. À la fin de cette étape, on met en évidence des questions auxquelles personne n'avait jamais pensé, ni du côté de la recherche, ni du côté de ceux qui pensent A, ni de celui de ceux qui pensent B.

SVHS: Et vous tentez d'y répondre...

J. M. : Oui. On tombe d'accord pour se dire que si l'on traite cette question,

“ Les projets comme celui-ci amènent à poser des questions en sciences agronomiques, biologiques et humaines ”



les informations obtenues pourraient nous faire avancer. On met alors en œuvre des expérimentations dans le laboratoire et dans les vignes. C'est un interapprentissage. L'étape suivante, c'est de traiter l'ensemble des données collectées. Il y a des données de sciences humaines comme : "Comment je vois ma vigne ? Comment je vois mes pratiques ? Comment je vais évoluer ?" Il y a des données de sociologie qui reflètent les influences des acteurs extérieurs ou au sein des familles. Et il y a des données de biologie. On élabore des conclusions scientifiques qui font consensus et on rédige un article. Les viticulteurs relisent. On publie. L'étape d'après, c'est ce que j'appelle la compression. À ce moment-là, d'un seul coup, les participants qui n'étaient pas d'accord au départ sont presque gênés d'être d'accord à la fin. C'est comme si on les enfermait dans un consensus obligé. Ils réagissent et cela fait émerger d'autres cycles de

“ Ça permet à des non-chercheurs de participer à un projet de recherche ”

questions. Souvent, dans les cycles de questions suivants, on constate que nous n'avons pas assez de compétence au labo pour y répondre : charge à nous d'aller chercher des gens pour instruire ces nouvelles questions.

SVHS: Ça marche bien ?

J. M. : Ça marche très bien ! Il y a toujours de nouvelles questions et on observe des changements sur le terrain. Maxime, que j'encadre pour sa thèse en épistémologie sur la recherche-action participative, a constaté que les viticulteurs avec qui nous travaillons se sont mis à employer des mots différents. L'hypothèse que nous faisons, c'est que les changements qu'ils accomplissent dans le vignoble sont parallèles – je dis bien “parallèles”, car je ne peux pas y mettre de causalité scientifique pure – à des changements qui s'accomplissent dans leur tête. Ils raisonnent différemment et construisent une indépendance, une liberté de penser.

SVHS: Entant que viticulteur, qu'est-ce que la recherche participative ?

Frédéric Schermesser : Alors, moi, je n'ai clairement pas la même formation que Jean et je ne suis pas aussi virtuose au niveau des mots.

Ce que je vois, c'est que ça permet à des non-chercheurs de participer à un projet de recherche. En fait, ça nivelle les savoirs. Chaque savoir a une valeur qui peut devenir intéressante si elle est bien traitée. Concrètement, pour moi, la recherche-action participative menée avec Jean, c'est beaucoup d'entretiens qui sont parfois longs. On observe dans les groupes de travail qu'il y a des gens moins à l'aise en réunion plénière et qui ne sortiront des choses que lors d'entretiens individuels chez eux, dans leur vigne. Travailler en groupe permet d'être un peu plus soudés et d'essayer des choses novatrices, sachant que les vigneron du groupe ne travaillent pas tous de la même manière : il en y a qui sont en conventionnel, d'autres en bio ou en biodynamie [un système de production agricole issu du courant ésotérique de l'anthroposophie, notamment à base de préparations appelées “bouses de corne”, destinées à réguler le développement des sols et des cultures et liées au rythme lunaire, NDLR]. Ce sont des vigneron aux objectifs de production différents, mais on trouve des éléments de discussion parce que, de toute façon, en face d'une parcelle, on est à égalité. Démarrer n'a pas été si

compliqué, parce qu'il y a de la nouveauté. Ce qui est difficile, c'est l'assiduité, c'est de continuer dans le temps.

J.-F. L. : La notion de temps est importante. Il faut une certaine durée pour qu'on s'approprie le sujet, pour le faire évoluer. Nos cultures sont pérennes et on ne travaille pas seul, mais souvent avec des associés ou de la famille. La recherche ne pourrait pas se dérouler sur un temps trop court. La vérité, c'est que le viticulteur ne veut pas changer : il est bien dans son petit système, il a ses méthodes. Donc, si on le sort de ses habitudes, il a besoin de temps pour retrouver l'équilibre.

SVHS : Le temps du scientifique est-il le même que celui du viticulteur ?

J. M. : Oui et non. Il faut leur laisser du temps, mais il faut aussi aller très vite. Tout autour, les gens nous regardent et disent : "Ils vont se rater." Donc il faut vite des indices de nos avancées. À cet égard, l'Inrae a mis au point l'étude Asirpa, qui évalue l'impact social, économique et environnemental des recherches. Ils ont étudié l'impact de 60 études sur les vingt dernières années. L'objectif est de savoir combien de temps après le début d'un projet de recherche les impacts ont lieu. Le temps moyen est de 15 ans. Pour notre recherche, c'est 18 mois. Il y a de quoi être fier.

SVHS : L'objectif premier de cette recherche, c'était de suivre le plan



Les chercheurs du laboratoire de Jean Masson, directeur de recherche à l'Inrae de Colmar, observent un blob lors d'une sortie dans une zone Natura 2000.

gouvernemental Écophyto de réduction des usages de produits phytosanitaires. Vous êtes allés plus loin que prévu, non ?

J.-F. L. : Oui, on est allés plus loin, mais c'est grâce à cette première question que sont nés les projets suivants.

F. S. : L'idée de base des vigneron, c'était de se préparer collectivement aux objectifs de baisse de l'usage des produits annoncés par le gouvernement. Des objectifs qui ont finalement été modifiés, mais nous, entre-temps,

on avait acquis des... comment dire...

J. M. :... des compétences ?

F. S. : Oui, on a appris à abandonner le désherbage chimique sous le cavillon – c'est la bande qui est un peu difficile à travailler sous le rang, là où il y a les pieds de vigne. Plus tard, on a essayé de comprendre ce qui se passait dans les mécanismes de défense des vignes. On prélevait des feuilles sur différentes parcelles, selon un protocole précis, pour mesurer un

Jean-Baptiste Lallemand et Jean Masson, avec la casquette, font des observations de terrain dans les vignes.



De gauche à droite: Kevin, ouvrier viticole; Jean-François Lallemand; Carine, technicienne Inrae, et Henri, le père de Jean-François, pèsent les bois de taille de la vigne.



certain nombre de points pertinents que l'équipe de Jean nous avait suggérés. Et on a pu constater que les mécanismes de défense naturelle s'expriment différemment selon que la vigne est en bio, en conventionnel ou en biodynamie. Ces découvertes ont fait l'objet d'un article dans lequel... Jean, allez-y, racontez-nous la suite.

J. M. : Non, pourquoi ? Continuez, vous en parlez très bien !

F. S. : En fait, on a vu que la réponse des gènes de défense naturelle des vignes en biodynamie était beaucoup plus importante qu'en bio ou en conventionnel. Moi, je ne suis pas viticulteur en biodynamie. Et, à vrai

dire, j'ai... ou plutôt j'avais des a priori. Ce sont des concepts assez farfelus avec des préparations à base de corne et suivant l'influence de la Lune... Mais bon, on a été stupéfaits par ce résultat. On s'est vite demandé pourquoi. Certains disent que, comme les vignes sont faibles en biodynamie, elles se défendent plus vite car elles ne sont pas vigoureuses. D'autres avancent qu'il y a tellement de produits phyto sur les vignes en conventionnel qu'elles sont anesthésiées et ne ressentent pas les attaques des champignons. Après ça, Jean s'est arraché le peu de cheveux qu'il lui reste et a trouvé une nouvelle question !

Il s'agit, au sens large, de faire appel aux compétences du public pour faire des découvertes scientifiques

SVHS: Laquelle ?

F. S. : Quand le changement se met-il en place dans les vignes ? Cette année, je bascule 8 % de mon exploitation en biodynamie. Je fais un pas vers une forme de viticulture qui n'est pas la mienne.

J.-F. L. : Moi, au début de ma recherche, toute ma culture était en conventionnel. J'ai converti 6 ha sur mes 18 à la culture bio. J'ai créé une nouvelle structure juridique pour limiter le risque. Et je viens de lancer un essai en biodynamie sur 40 ou 50 ares.

SVHS: Frédéric Schermesser, vous êtes également céréalier. Participerez-vous à une recherche-action participative sur les céréales ?

F. S. : Ce qui me passionne, c'est plutôt la vigne. À l'heure actuelle, je suis sur un système beaucoup plus simple en céréales, et ça me convient bien, donc je dirais non.

J. M. : C'est une bonne question, parce qu'en fait, c'est bizarre : une partie de votre cerveau qui s'occupe de la viticulture a changé et l'autre, qui s'occupe des céréales, n'a pas encore changé...

F. S. : C'est vrai.

J. M. : Il y a un très beau projet de recherche participative sur le blé dur qui a été conduit par Dominique Desclaux pour l'Inrae. Elle a réussi à impliquer toute la filière, jusqu'à la production de pâtisserie ou de pain. Frédéric, vous n'êtes pas schizophrène, mais je rêve qu'un jour, on puisse faire du pain et du vin ! ■

LA SANTÉ SOUS SURVEILLANCE

L'approche *One Health*, c'est-à-dire "une seule santé", reconnaît les liens étroits entre la santé humaine, celle des animaux et celle de l'environnement. PAR HÉLOÏSE RAMBERT

Plus que jamais, les espèces humaines et animales dans la nature partagent un destin commun en termes de santé. Les scientifiques l'ont bien compris et ont lancé au début des années 2000 l'initiative *One Health*. Ses principes sont simples : notre santé est intrinsèquement liée à celle des animaux et de l'environnement. Une des voies à emprunter pour nous protéger passe donc inmanquablement par le soin que nous portons aux deux autres. *"Le concept One Health, au départ, concernait surtout les maladies infectieuses qui touchent les animaux et peuvent être transmissibles à l'homme (zoonoses), que ce soit par contact direct, par la consommation de viande ou indirectement, par des vecteurs arthropodes par exemple"*, souligne Muriel Vayssier-Taussat, cheffe du département Santé animale au centre Inrae Val de Loire. *"À l'origine de ces réflexions, on trouve des zoonoses, comme la maladie de la vache folle ou des épidémies de grippe humaine d'origine animale, qui sévissaient en Europe et ailleurs dans le monde."*

La conscience du lien entre santé animale et humaine n'a rien de nouveau : les cas de rage ont ainsi disparu en France grâce à la vaccination de renards sauvages. Mais la spécialisation des métiers et l'organisation de la



La crise de la grippe aviaire sévit en France depuis octobre 2021. D'août à décembre 2022, 234 foyers avaient encore été confirmés et le nombre de volailles abattues depuis le début de l'épidémie dépassait les 19 millions.

société ont fini par éloigner médecins et vétérinaires. Tant dans leur formation que dans leur structuration : les premiers dépendent du ministère de la Santé, les seconds de celui de l'Agriculture.

CONTENIR L'ANTIBIORÉSISTANCE

Pourtant, les défis communs à relever sont immenses. Le XXI^e siècle devra ainsi faire face à l'antibiorésistance. *"S'il est une problématique qui doit être étudiée selon ce principe One Health, c'est vraiment celle-ci, assure Muriel Vayssier-Taussat. Si pour contenir l'antibiorésistance, on ne fait que limiter l'utilisation des antibiotiques chez l'homme, alors qu'ils sont aussi administrés aux animaux et relargués dans la nature, nous ne réglerons jamais le problème. Il faut agir de manière globale."* Depuis 2006, l'administration



d'antibiotiques comme facteur de croissance est strictement interdite dans toute l'Europe. Les chercheurs en santé animale travaillent pour trouver des solutions pour diminuer leur utilisation chez les animaux. Par exemple, en développant une médecine vétérinaire "personnalisée" qui permettrait, dans un troupeau, de ne médicamenter que les sujets malades (alors que la pratique répandue actuellement consiste à "viser large" en traitant tout le troupeau ou une grande partie de celui-ci). Dans un futur proche, "certaines fermes expérimentales pourront faire appel à l'intelligence artificielle grâce à des puces placées sous la peau des animaux pour repérer une élévation de température, et donc un début d'infection dans ses tout premiers stades", rapporte la chercheuse. Les maladies des animaux, qu'ils soient d'élevage ou sauvages,

constituent continuellement une menace pour notre santé. "La grippe aviaire est solidement installée en Europe, et en France en particulier, constate Muriel Vayssier-Taussat. Une nouvelle épidémie grippale humaine pourrait provenir de virus de grippe aviaire qui pourraient se 'réassortir' et s'adapter à l'homme. En tout cas, c'est la nouvelle épidémie que nous attendons et à laquelle nous nous préparons." Pour voir venir le danger et agir dans les plus brefs délais en cas de menace pour la santé humaine, une seule solution existe : des recherches et une surveillance interdisciplinaires, englobant les pouvoirs publics. Sur le volet environnemental, la question complexe de l'impact de l'usage des pesticides sur la santé des consommateurs commence à peine à être abordée. Il reste bien du pain sur la planche. ■

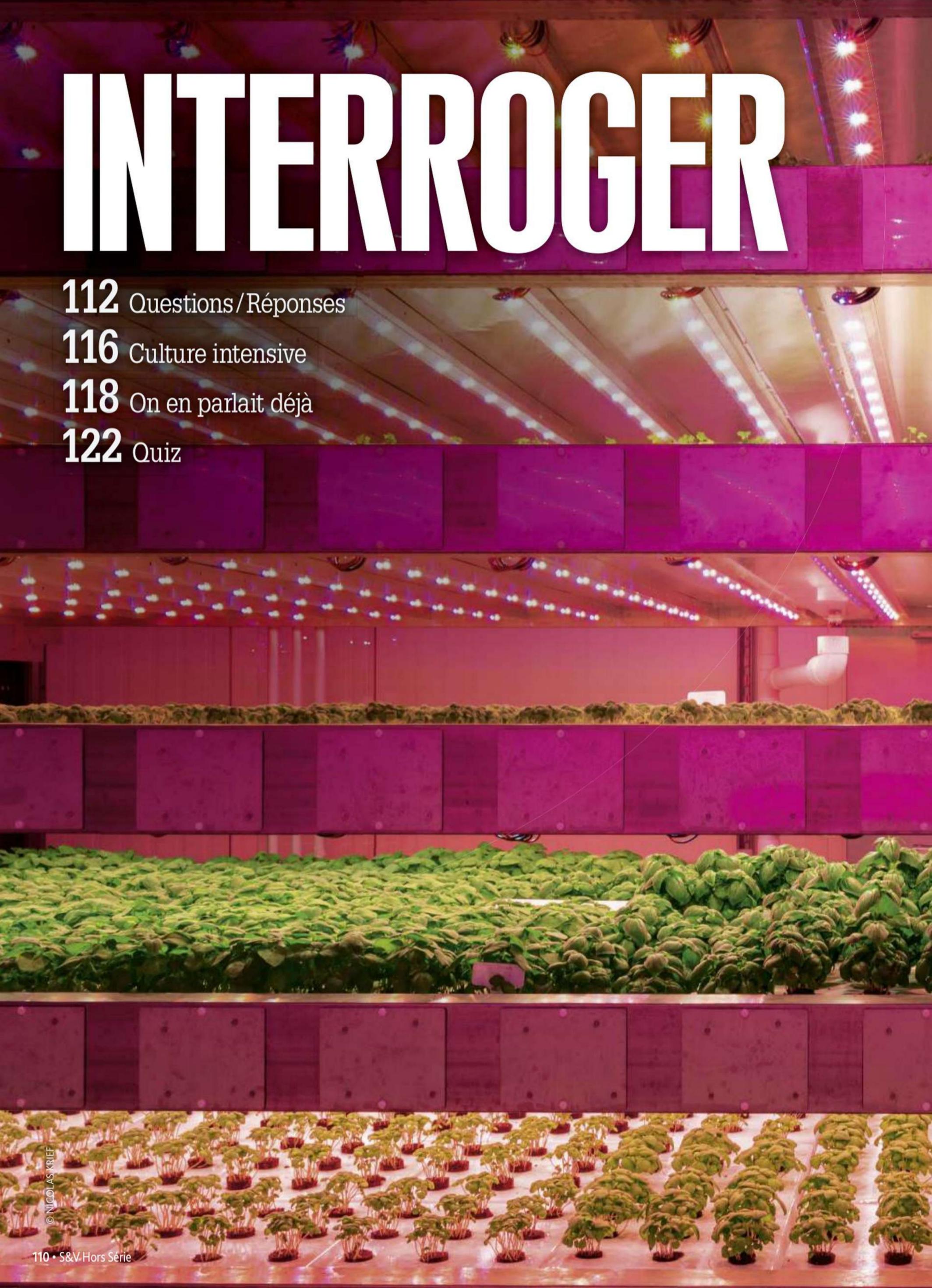
INTERROGER

112 Questions/Réponses

116 Culture intensive

118 On en parlait déjà

122 Quiz



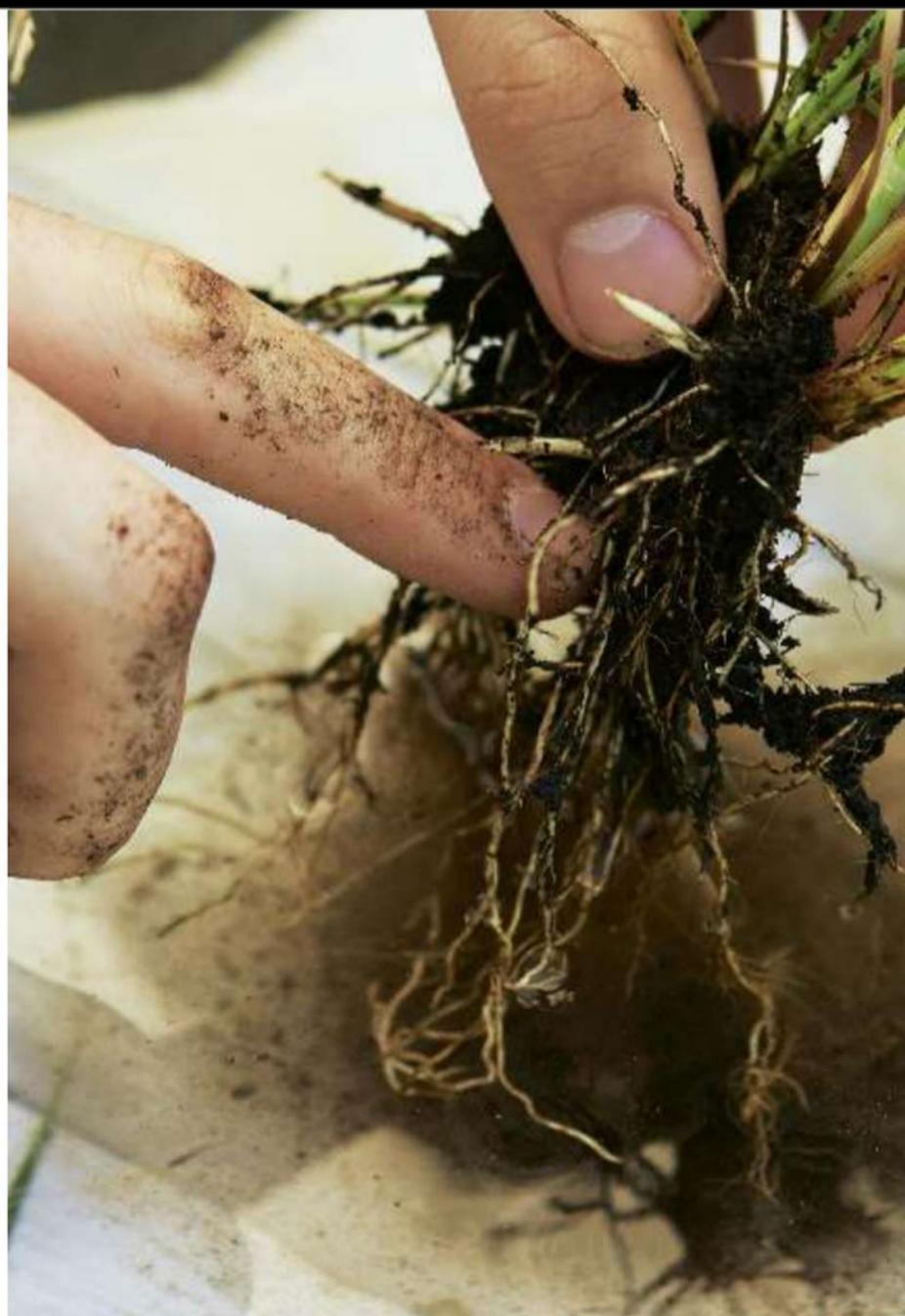


Welcome to the Jungle ! Les fans de Guns'N'Roses en seront pour leurs frais, il ne s'agit pas ici de rock, mais de culture hors-sol. Située à Château-Thierry (Aisne), Jungle est la plus grande ferme verticale de France : 4 000 m² d'entrepôt de 12 m sous plafond. Ici poussent hors-sol, sans produit chimique et dans du substrat, des herbes aromatiques (basilic, persil, menthe, etc.) et des micropousses (wasabi, moutarde, etc.). Le tout piloté par intelligence artificielle pour contrôler l'irrigation et simuler, par led, la lumière du jour. Une agriculture économe en ressources, mais pas en énergie : la consommation annuelle de Jungle est estimée à 2 160 000 kWh, soit "15 kWh par kg de biomasse produit", précise son cofondateur Gilles Dreyfus. **J. S.**

Questions Réponses

Les plantes ont-elles un microbiote?

Tout comme les animaux ou les êtres humains, les plantes possèdent elles aussi leur microbiote. Celui-ci est composé de multiples micro-organismes comme des archées, des bactéries, des champignons ou des protistes. Tout ce petit monde s'organise en communautés qui mènent entre elles des relations de compétition, de prédation ou de symbiose. Les racines abritent en particulier une grande partie de ce microbiote, celui-ci ayant un impact direct – bénéfique ou pathogène – sur la plante. *“La surface des racines représente une interface cruciale entre le sol, ses microbes et la plante. Les racines doivent donc maîtriser de multiples échanges en s’associant avec certains micro-organismes symbiotiques et en se défendant contre d’autres”*, précise Christophe Maurel, directeur de recherche au CNRS et directeur de l’Institut des sciences des plantes de Montpellier. M.C.





En quoi les racines peuvent-elles rendre les plantes plus résilientes ?

Représentant environ un tiers de la biomasse totale de la plante, les racines jouent un rôle-clé dans son existence. Leurs deux fonctions essentielles sont d'assurer l'ancrage du végétal dans le sol et sa nutrition. Elles peuvent aussi rendre les plantes plus résistantes à différents types de contraintes de l'environnement, comme l'explique Christophe Maurel, directeur de recherche au CNRS et directeur de l'Institut des sciences des plantes de Montpellier. *"Si on prend l'exemple de la sécheresse, les racines sont en première ligne pour absorber l'eau du sol et percevoir sa disponibilité. Ainsi, elles peuvent envoyer des*

signaux physiologiques d'alerte aux parties aériennes pour qu'elles soient plus économes en eau et régulent leur transpiration et leur croissance. Des mécanismes de signalisation analogues se mettent en place si elles sentent que les nutriments vont manquer." Grâce à leur capacité d'exploration et d'intégration spatiales, les racines sont également capables d'optimiser l'acquisition des ressources du sol, surtout lorsqu'elles se font rares. Enfin, les racines peuvent rendre la plante plus résiliente en établissant des interactions bénéfiques avec les micro-organismes du sol, conclut le chercheur. M.C.

Les truffes sont-elles condamnées ?

Des étés plus chauds et secs déciment le diamant noir. Des chercheurs allemands de l'université de Constance ont observé qu'une hausse de la température de 3°C stoppait la fructification du champignon. Des zones moins exposées à la sécheresse, comme la France, le Pays de Galles ou l'Europe centrale, pourraient donc développer cette culture. Concernant spécifiquement la truffe noire du Périgord, une étude publiée dans *Science of the Total Environment* en 2019 montrait que la production pourrait décliner de 78 % à 100 % entre 2071 et 2100. Hervé Le Bouler, chercheur et ancien directeur du Conservatoire national de la biodiversité forestière, apporte néanmoins une note d'espoir : *"J'ai travaillé sur le chêne truffier en mettant au point une technique qui permet de bouturer de vieux arbres, car la truffe étant associée à la racine, on n'en aura pas si on fait une greffe sur un autre arbre. Le changement climatique créera, au nord, des conditions climatiques qui vont rendre possible l'installation, sur les plateaux calcaires de Lorraine, d'ici à la fin du siècle – et sans doute à Chantilly –, des chênes truffiers comme le chêne pubescent ou le chêne vert, qui accepte le calcaire, ce qui permettra d'avoir de la truffe dans le Nord, comme on a déjà du vin. Mais il faudrait regarder jusqu'où on trouve de la truffe dans les climats chauds, au sud."* M.C.

QUE SONT LES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS ?

Indispensables au développement de nombreuses plantes, les champignons mycorhiziens vivent en symbiose avec les racines de ces dernières. L'association profite aux deux parties, la plante recevant de l'eau et des minéraux du champignon, tandis que celui-ci s'enrichit en sucres et en composés carbonés. Ainsi, les champignons mycorhiziens stimulent le développement racinaire des végétaux, dont la surface peut être multipliée par 100 grâce à cette symbiose. Pour tirer parti de ce duo, la start-up Mycophyto cultive ces champignons en laboratoire, puis les réintègre dans le sol. Le but : répondre à des conditions défavorables comme la sécheresse, favoriser l'adaptation à un agresseur ou améliorer la productivité. M.C.

Quels sont les débouchés pour les élevages d'insectes ?

On se demande parfois si les insectes seront la nourriture du futur. Ils le sont en tout cas déjà pour... les animaux. Dans le Jura, l'entreprise Ynsect élève des ténébrions meuniers, ou vers de farine, qu'elle transforme en protéines et en huile pour l'alimentation des animaux de compagnie, des porcs, des volailles et des poissons. Le site néerlandais de la société produit, lui, des ingrédients pour la nourriture humaine, principalement pour des compléments alimentaires. Cette activité devrait se développer puisque Ynsect doit ouvrir la plus grande ferme verticale du monde dans le Nord. Enfin, l'élevage d'insectes fournit aussi des engrais pour les plantes grâce à leurs déjections. M.C.



NOURRIR LA PLANÈTE EN BIO, C'EST POSSIBLE ?

Pour Gilles Billen, directeur de recherche au CNRS, le recours à une agriculture plus intensive n'est pas nécessaire pour répondre à la demande alimentaire mondiale en 2050. *"On peut nourrir la France, l'Europe et même le monde entier grâce à l'agriculture biologique. Il faudrait pour cela sortir du système actuel et activer trois leviers."* Le premier est de revenir à un régime alimentaire bien moins riche en produits animaux, les céréales et les légumineuses contenant assez de protéines pour constituer au moins 70 % des apports nécessaires. Le deuxième levier consiste

à généraliser des rotations de cultures longues et diversifiées pour pouvoir se passer d'engrais azotés de synthèse. *"À la place, il faudrait utiliser des plantes légumineuses, comme la luzerne ou le trèfle, capables de fixer l'azote de l'air."* Le dernier levier repose sur le rapprochement et la reconnexion de l'élevage avec la grande culture, afin de nourrir le bétail uniquement avec les ressources locales de fourrage – ce qui permettrait notamment de ne plus importer d'aliments pour nourrir les troupeaux, mais également d'optimiser le recyclage de leurs déjections. M.C.



LES BIOPESTICIDES SONT-ILS TOTALEMENT INOFFENSIFS ?

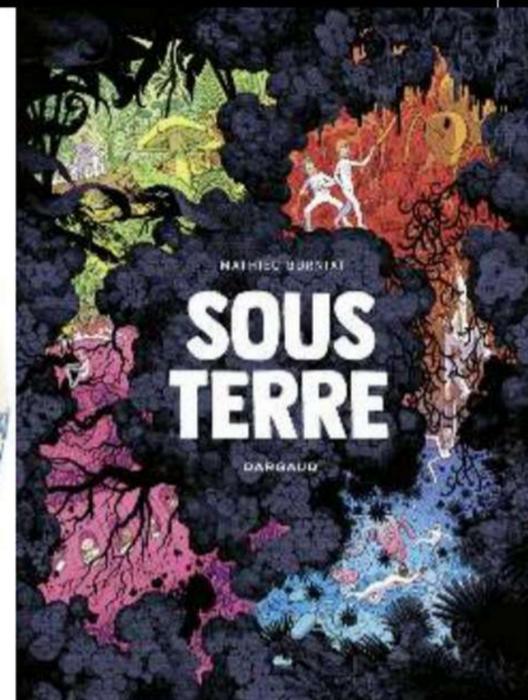
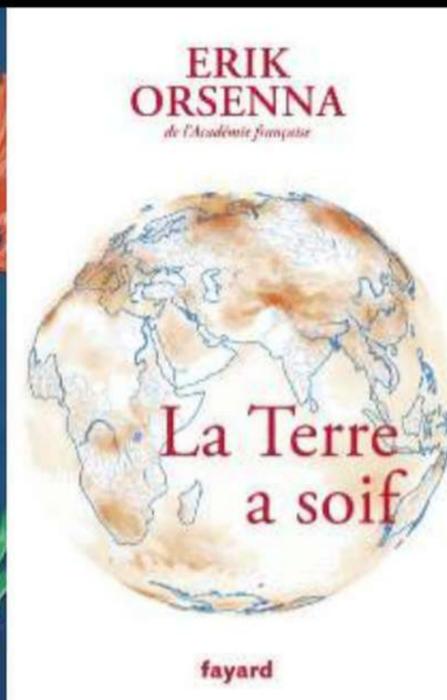
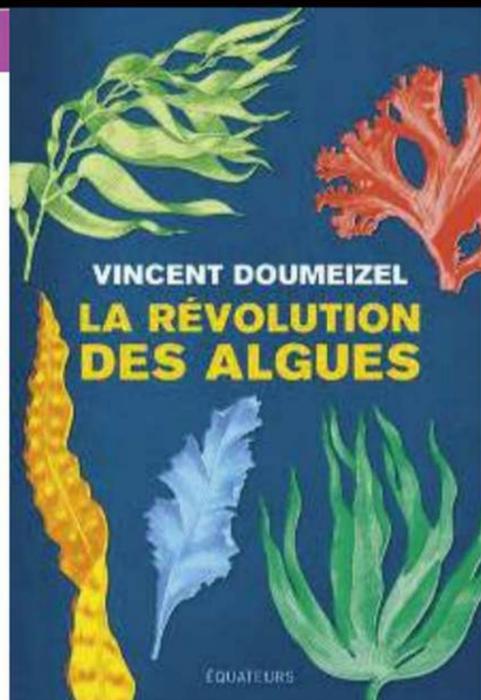
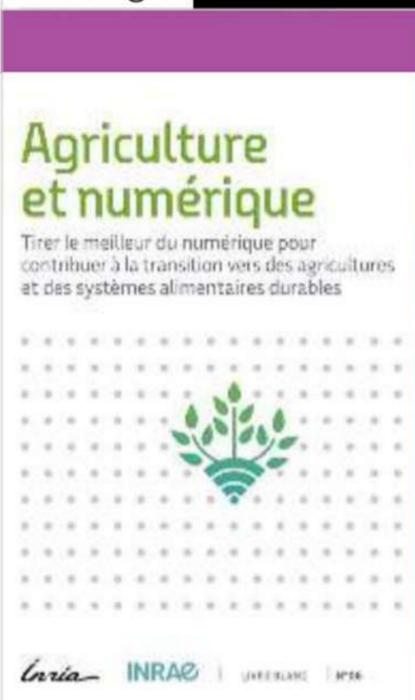
La réponse est... non! "À partir du moment où ils ont un effet biocide, il faut s'attendre à des effets délétères, y compris sur les espèces non ciblées", répond Armel Gallet, biologiste au CNRS. Ceux-ci peuvent être directs ou indirects. Par exemple, une étude avait montré en 2010 que l'utilisation en Camargue du Bt, un insecticide à base de *Bacillus thuringiensis*, avait pour effet de diminuer la taille des nichées d'hirondelles, qui ne trouvaient plus assez de moustiques pour les nourrir. Et même chez l'homme, des effets peuvent être observés. "L'utilisation du Bt est responsable chaque année en France d'une vingtaine d'intoxications alimentaires collectives, indique Armel Gallet. Il n'y a pas de décès ni d'effets graves (cancers, effets neurotoxiques), comme cela peut être le cas avec certains pesticides de synthèse, mais un seuil réglementaire pourrait être mis en place pour éviter la survenue de ces intoxications." C.H.



COMMENT FERA-T-ON POUSSER DES PLANTES SUR LA LUNE ?

En 2025, une mission composée de scientifiques australiens devrait partir sur la Lune pour... faire y pousser des plantes, comme l'ont expliqué les chercheurs dans un communiqué repris par l'AFP: "Ce projet est une première étape vers une culture des plantes pour l'alimentation, la médecine et la production d'oxygène, qui sont toutes cruciales pour l'établissement d'une vie humaine sur la Lune." Le but de la mission est également de servir de laboratoire afin de trouver des solutions aux problèmes de sécurité alimentaire induits par le changement

climatique. Les graines, sélectionnées en fonction de leur résistance à des conditions météorologiques extrêmes et à leur vitesse de germination, seront mises en terre après l'alunissage, puis arrosées dans une chambre scellée, où les scientifiques pourront les surveiller. Il y a quelques mois, la Nasa avait annoncé avoir réussi à faire pousser une plante dans des échantillons de sol lunaire rapporté lors des missions Apollo. Cette dernière avait cependant poussé plus lentement que ses congénères et présentait des racines rabougries. M.C.



CULTURE INTENSIVE

Écrivains, chercheurs et auteurs de BD ont couché sur papier leurs connaissances et réflexions sur ce qui fait notre richesse agricole et son devenir. Des ouvrages qui ouvrent le champ des possibles.

VIVRE AVEC LA TERRE – MANUEL DES JARDINIERS-MARAÎCHERS

De Perrine et Charles Hervé-Gruyer, éd. Actes Sud, 2019, 1048 p., 89 €.

Un guide pratique inspiré par la nature qui accompagne amateurs et professionnels pour créer leurs propres jardins naturels et micro-fermes écologiques. Cultures de fruits et légumes, forêts-jardins, petits élevages, céréales jardonnées : tous les conseils sont bons à prendre.

L'ORIGINE DU MONDE – UNE HISTOIRE NATURELLE DU SOL À L'INTENTION DE CEUX QUI LE PIÉTINENT

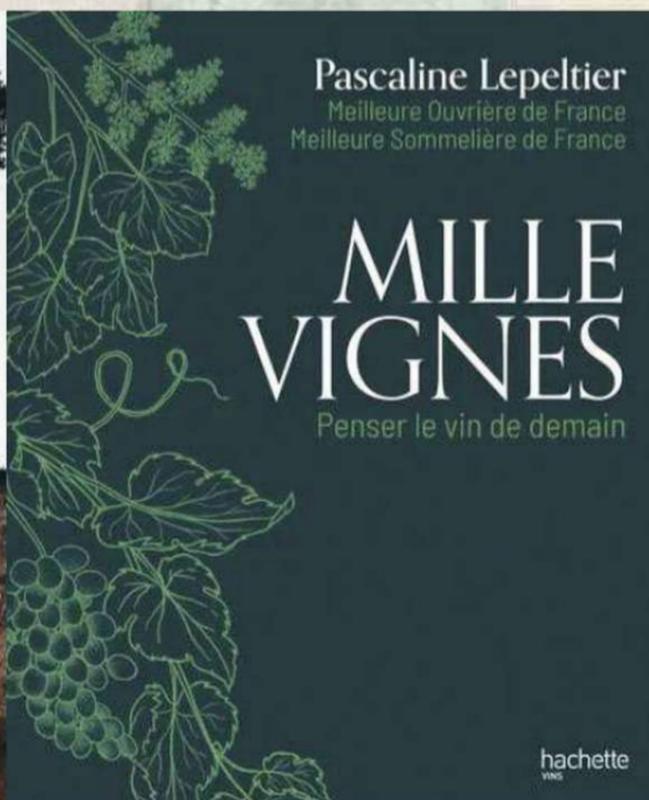
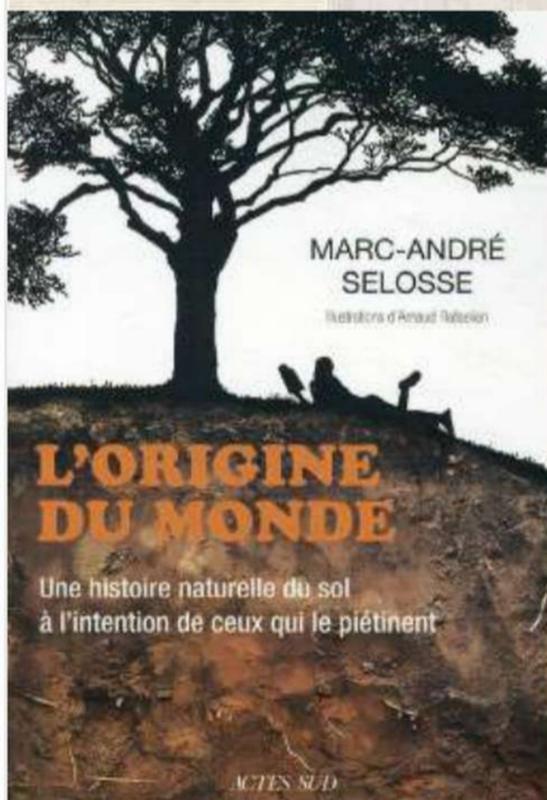
De Marc-André Selosse, éd. Actes Sud, 2021, 480 p., 25 €.

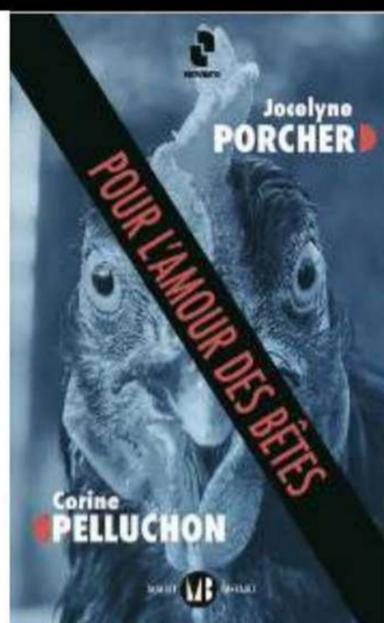
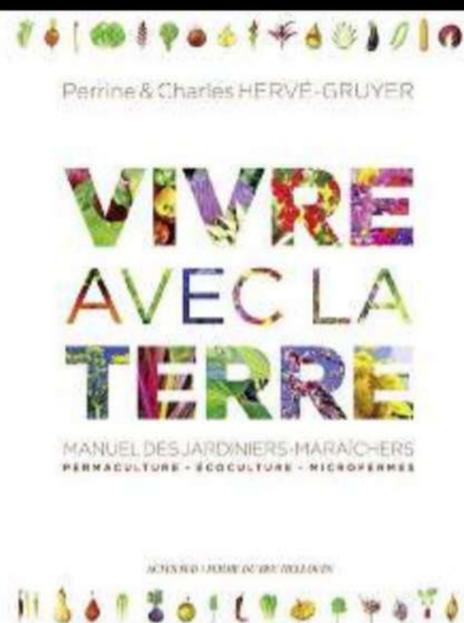
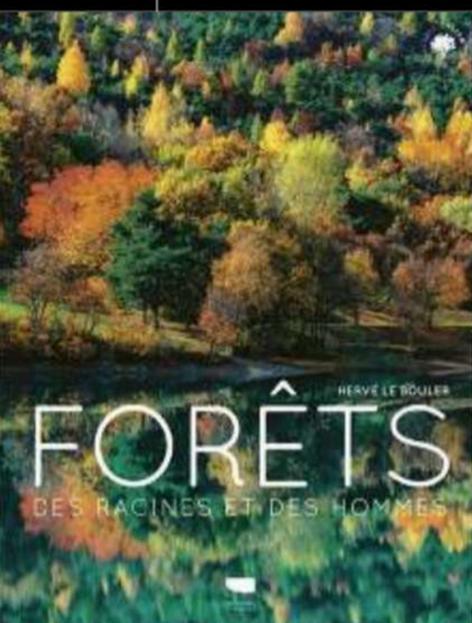
En mettant en lumière la complexe constitution du sol, ses rôles inestimables pour la Terre et notre alimentation, et les affronts qu'il subit à cause de l'agriculture intensive, le biologiste Marc-André Selosse réussit à nous amener à regarder cet écosystème d'un autre œil. Bienveillant et attentionné.

MILLE VIGNES

De Pascaline Lepeltier, éd. Hachette, 2022, 360 p., 45 €.

Pascaline Lepeltier, sacrée en 2018 Meilleure Sommelière et Meilleure Ouvrière de France





en sommellerie, propose dans cet ouvrage une réflexion sur la culture du vin de demain. En s'appuyant sur des études scientifiques, cette défenseuse des vins naturels bouscule les idées reçues sur la viticulture et propose de dépoussiérer les bouteilles : arrêtons de scléroser les vins dans des catégories, non à la standardisation des goûts, repensons les systèmes de production.

AGRICULTURE ET NUMÉRIQUE

De l'Inrae et l'Inria, gratuit.

Quel rôle la recherche peut-elle jouer dans la construction d'une agriculture numérique et responsable ? Dans ce livre, les chercheurs de l'Inrae et de l'Inria présentent les opportunités que peut apporter le numérique à la transition agroécologique, tout en prenant en compte les enjeux et risques de cette technologie. Ce livre blanc est une formidable boîte à idées pour l'agriculture de demain. Téléchargeable gratuitement sur le site de l'Inrae.

POUR L'AMOUR DES BÊTES

De Jocelyne Porcher et Corine Pelluchon, éd. Miallet-Barrault, 2022, 160 p., 12 €.

C'est un échange épistolaire entre Corine Pelluchon, philosophe spécialisée dans l'éthique appliquée

à la médecine, à l'environnement et aux animaux, et Jocelyne Porcher, une ancienne élève devenue sociologue et directrice de recherche à l'Inrae. De l'automne 2021 au printemps 2022, elles ont échangé des lettres sur la cause animale et essaient de répondre à cette question : avons-nous le droit de tuer des animaux ?

FORÊTS-DES RACINES ET DES HOMMES

De Hervé Le Bouler, éd. Delachaux et Niestlé, 2022, 240 p., 34, 90 €.

La Terre se réchauffe, le climat de la France change et les événements extrêmes deviennent plus fréquents et intenses. L'été dernier, la forêt a été mise à rude épreuve : sécheresse, incendies... alors qu'elle se bat déjà contre des insectes ravageurs exotiques et des maladies. À travers ce beau livre, richement illustré, l'auteur nous explique les nouveaux défis du parc forestier français et le visage qu'auront nos forêts dans le futur.

LA TERRE A SOIF

D'Érik Orsenna, éd. Fayard, 2022, 432 p., 23 €.

L'académicien aborde la complexité de la problématique de l'eau en posant son regard sur différents fleuves du monde. Un

récit qui part de France et nous emportera le long de fleuves aussi emblématiques que le Mississippi, dont le nom signifie "le père des eaux" ; le Gange, dont le lit résulte des cheveux d'une déesse... jusqu'au Trieux, dans les Côtes-d'Armor, un petit fleuve de 72 km où se concentre un trésor de biodiversité. Au cours de ce voyage, l'écrivain soulève plusieurs questions, dont l'assèchement des cours d'eau, les barrages qui les contraignent ou l'avenir des zones humides.

LA RÉVOLUTION DES ALGUES

De Vincent Doumeizel, éditions des Équateurs, 2022, 315 p., 20 €.

Nourrir l'humanité, inverser le changement climatique, soigner les maladies, instaurer la justice sociale... Utopie ? Vincent Doumeizel plaide pour un retour aux sources, à l'océan, là où tout a commencé. Depuis le développement de notre cerveau jusqu'aux traitements contre Alzheimer en passant par l'arrivée d'*Homo sapiens* en Amérique, les algues ont eu et ont un rôle essentiel qu'il est temps de (re)découvrir, pour les placer au cœur de nos sociétés et offrir un nouvel espoir pour demain.

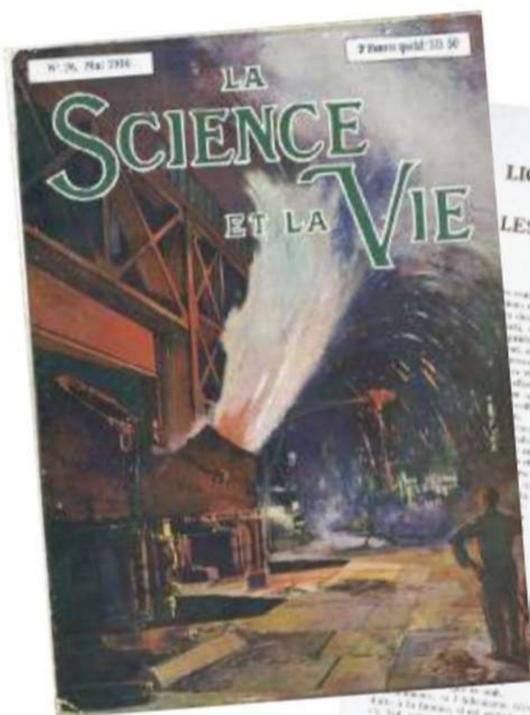
SOUS TERRE

De Mathieu Burniat, en collaboration avec Marc-André Selosse, éd. Dargaud, 2021, 176 p., 20,50 €.

Le scénariste et dessinateur Mathieu Burniat s'est appuyé sur les conseils scientifiques du biologiste Marc-André Selosse pour réaliser cette docu-BD scientifique qui traite de l'urgence à préserver les sols pour assurer notre survie. Un ouvrage très didactique... et passionnant ! ■

On en parlait déjà

Des prémices de l'impact du réchauffement climatique aux risques bien présents de perte de biodiversité et manque d'eau, l'agriculture a toujours dû s'adapter. *Science & Vie* en a suivi l'évolution.



1916

Bon aliment

Pendant la Première Guerre mondiale, en 1915, les Alliés imposent un blocus aux Allemands, dont les difficultés d'approvisionnement se doublent d'une mauvaise récolte, ce qui les conduit au rationnement. Le mot d'ordre est de *"ne rien laisser perdre de ce qui pourrait avoir [...] une valeur alimentaire quelconque"*. C'est pourquoi certains se tournent vers... les lichens, organismes dont *"la culture [ne] coûte rien, puisqu'ils se propagent spontanément"*.

1950

Théorie du réchauffement

En 1950, l'élévation de la température moyenne de la planète est estimée à *"0,35 °C entre 1910 et 1940"*, provoquant une modification du nombre de récoltes: *"Au Danemark, on note, en certains cas, deux récoltes dans l'année contre une seule dans les siècles passés."* Mais aussi une migration d'espèces qui *"inquiète les pêcheurs. Morue, églefin, haddock, lingue et hareng remontent vers le nord"*. À l'époque, on ne parle pas encore de l'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère causée par les activités humaines.



1974

Tant de bêtes de petite taille

Cet article dresse la liste des espèces menacées par l'*"urbanisation, [les] aménagements agricoles, [la] civilisation des loisirs"*. Aux côtés des faucons pèlerins, tortues marines et autres vertébrés se trouvent les insectes. Il pointe comment *"sont anéantis des abris propices à des insectes entomophages [...] et à des insectes pollinisateurs"*. Et de rappeler que *"sans insecte, il n'y aurait qu'un nombre réduit d'espèces d'oiseaux, moins de poissons, peu de fleurs, très peu de graines, très peu de fruits"*.



ACTUALITÉ ENVIRONNEMENT

par Didier Dubrana

Agriculture : menaces sur la biodiversité
Le nombre de plantes cultivées se réduit dangereusement au profit de variétés transgéniques plus prolifiques.

Depuis 1992, les États-Unis ont vu doubler le nombre de plantes de 20 000 espèces de plantes de son territoire. Il y a lieu de s'inquiéter de l'impact...

Le nombre de plantes cultivées se réduit dangereusement au profit de variétés transgéniques plus prolifiques.

Le nombre de plantes cultivées se réduit dangereusement au profit de variétés transgéniques plus prolifiques.

DRAME FAMILIAL À MONACO

Deux organes - une espèce vivante - ont été recréés au monde embryonnaire de Monaco. Deux femelles, qui ont donné naissance à des bébés dont le poids dépassait ceux d'un millier de fois. On les a baptisés à l'honneur d'un scientifique français, l'embryologiste Jacques Izuel. Mais les organes ont pu se développer dans de mauvaises conditions de vie. Ils ont souffert. De leur état de santé, on ne sait rien. Ils ont été congelés. On ne sait pas s'ils ont survécu.



L'OZONE LAVE PLUS BLANC

L'ozone (O₃) est, comme on le sait, un gaz qui agit en tant qu'antiseptique. Il agit sur les bactéries, les virus, les champignons, les parasites, etc. La société Aqua Pur propose un produit qui agit sur les vêtements. Il agit sur les bactéries, les virus, les champignons, les parasites, etc. La société Aqua Pur propose un produit qui agit sur les vêtements. Il agit sur les bactéries, les virus, les champignons, les parasites, etc.

POLLUTION MARINE LES SENTINELLES DE LA MER

Chez les huîtres et les moules, la fréquence des batardeaux des valves est un bon indicateur de la "souffrance" de ces mollusques. Ils sont donc utilisés comme sentinelles de la pollution marine. Ils sont donc utilisés comme sentinelles de la pollution marine.

1996

Pollution génétique

L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture tirait la sonnette d'alarme : à force de sélectionner et de modifier génétiquement des variétés de plantes cultivables plus résistantes aux maladies et plus productives, on a écarté des variétés traditionnelles. Conséquence : on en a perdu définitivement plus d'une centaine. "La sélection menace la biodiversité en favorisant une uniformisation génétique", il y a un risque de transmission de maladies à d'autres plantes sauvages, ou que ces plantes "améliorées" succombent à un nouveau virus.

SCIENCE VIE special ENVIRONNEMENT

NUMÉRO HORS SÉRIE

Le monde est en train de changer. Les scientifiques s'inquiètent de l'impact de la pollution sur la biodiversité. Les scientifiques s'inquiètent de l'impact de la pollution sur la biodiversité.

Le monde est en train de changer. Les scientifiques s'inquiètent de l'impact de la pollution sur la biodiversité. Les scientifiques s'inquiètent de l'impact de la pollution sur la biodiversité.

actualités planète Terre

80 % de la population mondiale dépend de cours d'eau menacés

65% de la population mondiale dépend de cours d'eau menacés. 22% de la population mondiale dépend de cours d'eau menacés. 0,16% de la population mondiale dépend de cours d'eau menacés.

2010

Sécurité en eau douce

En compilant 23 facteurs de stress d'origine anthropique, dont les pesticides, la pêche et les barrages, les chercheurs américains Charles Vörösmarty et Peter McIntyre ont mis en évidence "les zones menacées par le déclin de la biodiversité, par l'accès à l'eau, ou les deux". L'Europe et l'Amérique du Nord ne sont pas les plus touchées grâce à leurs investissements "en technologies et infrastructures". Des moyens qui "réparent les dommages au lieu de les détecter et limiter", déplorent les chercheurs.



2011

Invasions massives

Les espèces invasives bouleversent les écosystèmes locaux. Ainsi, "près de 80 % des espèces d'invertébrés aquatiques, 75 % des espèces de poissons, 65 % des espèces d'insectes, ou encore 60 % des espèces de champignons [...] installées en Europe au cours des 500 dernières années sont arrivés après 1950". Les causes d'introduction d'espèces exotiques sont multiples: "volontairement relâchées dans la nature (lutte biologique)", "échappées", "portées par un animal ou une plante importée", "cachées en passagers clandestins" ou "arrivées via des infrastructures humaines".

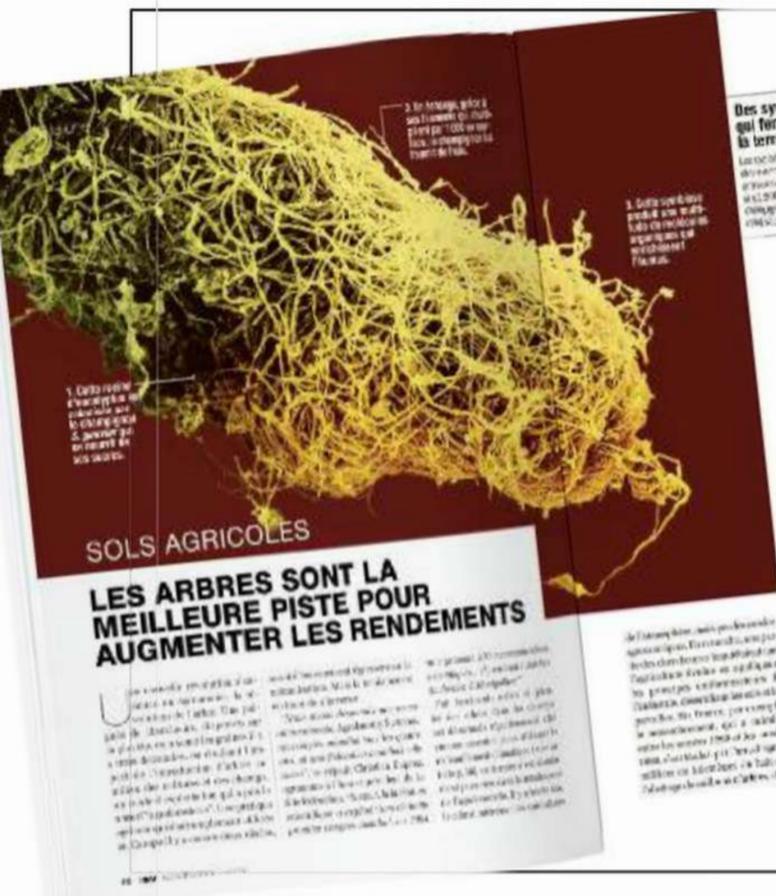


2013

Steak artificiel

Six ans de recherche et trois mois de culture in vitro ont permis d'arriver à "trois steaks de 140 grammes" entièrement réalisés en laboratoire à base de "cellules souches issues de muscles de vache". S'ils ont passé le test de goût, ils n'ont pas passé celui du produit le plus accessible: pour déguster ce genre de viande, il faut compter 290 000 euros au kilo! Manger moins de viande reste le plus économique et écologique. C.Q.F.D.





2018

La solution aux problèmes agricoles

L'agroforesterie gagne du terrain: "Une étude satellitaire récente a montré, au cours de la dernière décennie 2000-2010, un accroissement planétaire de 3,7% du nombre d'arbres en zone agricole". Mais il reste une bonne marge de manœuvre puisqu'on "peut couramment atteindre 20 à 30% en agroforesterie" et bénéficier de ses bienfaits: nourrir la terre, ralentir l'érosion, protéger les sols, piéger les nutriments, améliorer le cycle de l'eau, favoriser la biodiversité... et augmenter les rendements.

2020

Éboueurs de carbone

La première étude globale sur les lombrics, qui implique "150 chercheurs répartis sur 5 continents", a permis de dresser une carte mondiale de la densité des vers de terre, qui comptent "7000 espèces distinctes environ, dont seulement 4 500 décrites". Ils ingèrent par jour 30 fois leur poids de terre, augmentant sa fertilité. Surprise, ils sont plus nombreux en zone tempérée, "avec six espèces en moyenne par mètre carré", qu'en zone tropicale, avec seulement "une espèce", preuve de leur sensibilité aux variables climatiques.



2022

Sécheresses plus précoces

Selon le Giec, la sécheresse pourrait toucher 20% des terres agricoles métropolitaines d'ici à 2050. Le secteur doit se réinventer. Parmi les pistes de changement: "optimiser l'agriculture de précision" ou irriguer avec le strict nécessaire; "encourager l'agriculture de conservation des sols" pour les enrichir; "favoriser le choix des cultures résistantes à la sécheresse", comme le sorgho ou le tournesol; et "affiner la sélection variétale", même s'il n'existe pas de "gène miracle" contre la sécheresse.

ET ÇA, L'AVEZ-VOUS LU ?

Voici quelques questions pour vous donner envie de feuilleter ce numéro une nouvelle fois, de la première à la dernière page.

A/ "LES AGRICULTURES VONT DEVOIR CHANGER DE FAÇON ASSEZ DRASTIQUE"

Combien de fermes pilotes constituent le réseau Déphy qui teste des solutions pour réduire les pesticides ?

- 1/ 3 000
- 2/ 300
- 3/ 30

B/ LA LUTTE S'ORGANISE CONTRE LES RAVAGEURS

En biocontrôle, comment détourne-t-on la faculté d'olfaction des insectes ravageurs ?

- 1/ Avec des phéromones et des arômes de plantes
- 2/ Avec des phéromones seules
- 3/ Avec des phéromones et des kairomones

C/ NOS HUÎTRES FACE AU RÉCHAUFFEMENT

Quel est le pH moyen de l'océan ?

- 1/ 8,1
- 2/ 7,8
- 3/ 7

D/ "LE SOL EST UN TRÉSOR QUI NOURRIT LE MONDE"

L'artificialisation serait plus nocive pour les sols que l'agriculture intensive ?

- 1/ Vrai
- 2/ Faux

E/ LES VERS DE TERRE, SAUVEURS DES SOLS

Les trois groupes de vers de terre qui décomposent la matière organique sont les épigés, les endogés et...

- 1/ Les diploures
- 2/ Les anéciques
- 3/ Les tardigrades

F/ LA RÉVOLUTION DE L'ALGOCULTURE

Quel est le premier pays européen producteur d'algues ?

- 1/ La France
- 2/ Le Danemark
- 3/ La Norvège

G/ RÉÉQUILIBRER LES ASSIETTES AU LABO

Quel additif est très utilisé dans la fabrication de la fausse viande, pour la faire tenir à la cuisson ?

- 1/ La méthylcellulose
- 2/ La lécithine
- 3/ L'alginat de sodium

H/ "LA DONNÉE SATELLITE EST OBJECTIVE"

Au bout de combien de jours un satellite peut-il actualiser les données d'un même point de territoire ?

- 1/ Tous les 8 à 10 jours
- 2/ Tous les 4 à 6 jours
- 3/ Tous les 3 jours, grâce à un turbo activé manuellement depuis la Terre.

I/ "IL FAUDRA PIÉGER DU CO₂ DE L'AIR ET LE SÉQUESTERER DANS LES SOLS AGRICOLES"

Quel pourcentage d'augmentation du stock de carbone dans les sols permettrait de retirer l'équivalent du flux annuel de carbone fossile de la planète vers l'atmosphère ?

- 1/ 40 %
- 2/ 4 %
- 3/ 0,4 %

J/ VERS UNE JUSTE TRANSITION DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES

Quel est le nom des deux scénarios qui permettent d'atteindre les objectifs de décarbonation du système alimentaire ?

- 1/ France duale et Recompositions socio-territoriales
- 2/ France duale et Recompositions socio-économiques
- 3/ France louable et Recompositions socio-alimentaires

K/ "LES VITICULTEURS SONT COAUTEURS DES ÉTUDES SCIENTIFIQUES"

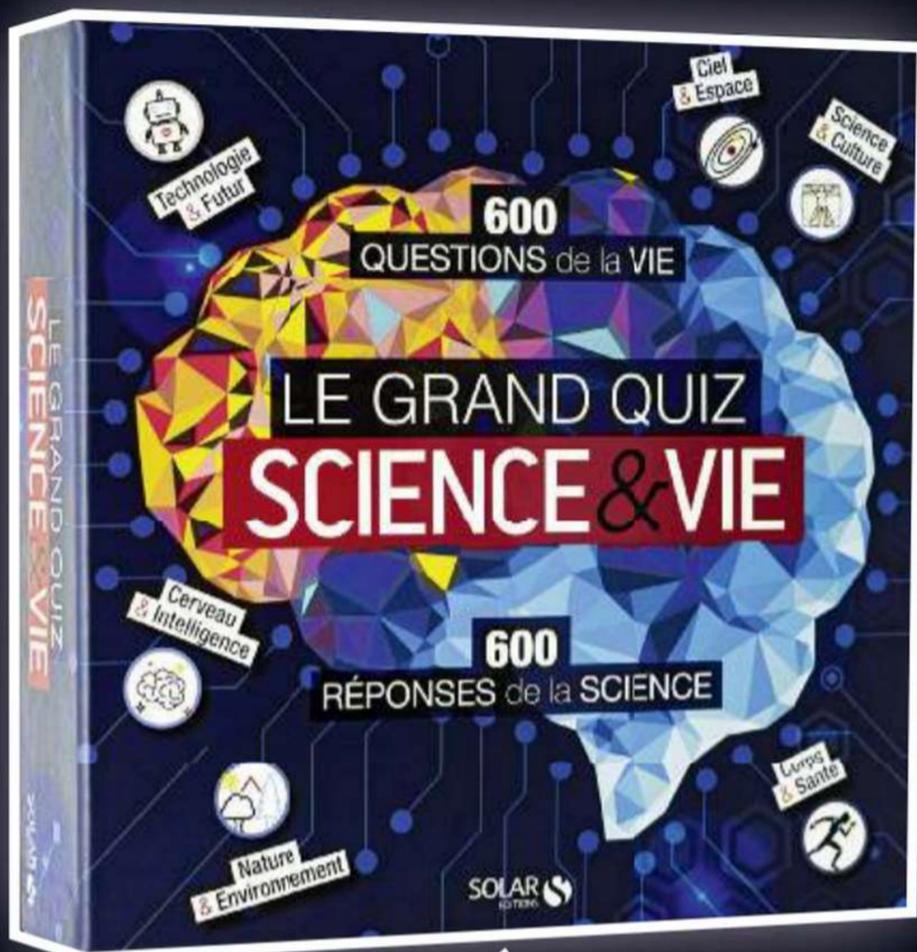
Selon une étude, dans quel système d'exploitation les gènes de défense naturelle s'expriment le mieux ?

- 1/ En bio
- 2/ En biodynamie
- 3/ En agriculture de conservation

L/ LA SANTÉ SOUS SURVEILLANCE

Selon les chercheurs, d'où viendra la prochaine épidémie grippale transmise à l'homme ?

- 1/ De la grippe porcine
- 2/ De la rage de la chauve-souris
- 3/ De la grippe aviaire



Révisiez vos fondamentaux et laissez-vous surprendre avec ce grand quiz Science & Vie. **Les 600 questions qui composent ce jeu sont les vôtres**, ou plutôt celles que les lecteurs ont adressé au magazine Science & Vie.

Les 600 réponses, nous les devons à la science qui tente inlassablement de révéler les mystères du monde, de ses plus petites manifestations à ses plus grands spectacles. Ce grand jeu comporte 100 fiches et 6 rubriques, portant sur les différentes thématiques du magazine. Amusez-vous !

LE JEU
GRAND QUIZ
SCIENCE & VIE
19€⁹⁰
seulement

AMUSEZ-VOUS,
INSTRUISEZ-VOUS
ET METTEZ VOS
CONNAISSANCES
À L'ÉPREUVE

1
BOÎTE DE JEU

600
QUESTIONS
de la VIE

600
RÉPONSES
de la SCIENCE

*Jeu de société à partir
de 2 joueurs pour les
7 ans et plus.*

Contenu de la boîte :

- 1 plateau de jeu
- 300 cartes de questions / réponses
- 1 boîtier à cartes
- 1 Dé
- 6 camemberts
- 36 triangles de couleur
- 1 règle du jeu

*Dimensions : 26,7 x
26,7 x 6,3 cm. Poids
1,1 kg.*

6
CARTES-
RUBRIQUES



Ciel
& Espace



Science
& Culture



Corps
& Santé



Nature
& Environnement



Cerveau
& Intelligence



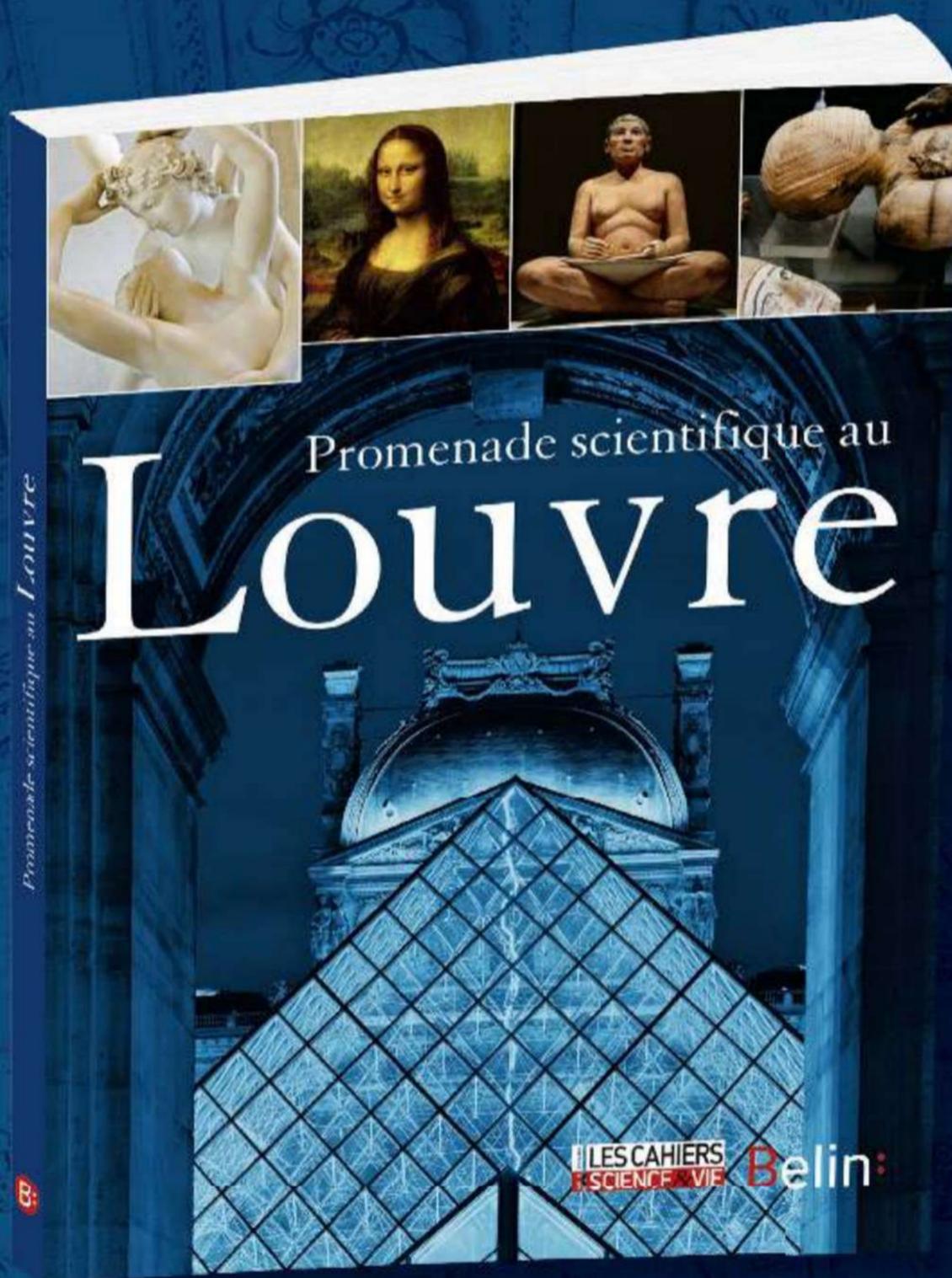
Technologie
& Futur

En vente en librairie ou sur notre site
www.kiosquemag.com/boutique

Vous pouvez aussi commander par téléphone au **01 46 48 48 03**
(du lundi au vendredi de 8h à 20h - Paiement par CB uniquement)



Un parcours inédit au musée du Louvre!



Disponible en librairie

belin-editeur.com



LES CAHIERS
SCIENCE & VIE

Belin: