



L'AGRICULTURE DU FUTUR

7 DÉFIS POUR LE XXI^e SIÈCLE

- RICHESSE DES SOLS
- EMPREINTE ÉCOLOGIQUE
- CHANGEMENT CLIMATIQUE
- BIODIVERSITÉ
- BIEN-ÊTRE ANIMAL
- ALTERNATIVES À LA VIANDE
- SANTÉ DES CONSOMMATEURS



Que mange-t-on vraiment ?

*Cet épé
m'épate*



Florence est fière de son travail !

Le maïs est l'un des ingrédients qui rend la peinture plus facile à étaler tout en l'empêchant de couler.

AVEC LES HOMMES DU MAÏS

Découvrez une plante épataante, source d'ingrédients végétaux pour un quotidien plus agréable, pratique et naturel. Produits alimentaires, cosmétiques, médicaments, matériaux, emballages... Le maïs répond à une multitude de nos besoins de manière durable.

Rendez-vous sur www.cetepimepate.fr

Les Hommes du Maïs : toute une filière* au service de la vie quotidienne

*AGPM, FNPSMS, Gnis

Une publication du groupe

MONDADORI FRANCE

Président: Ernesto Mauri

RÉDACTION

8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX
Tél.: 01 41 33 50 00 - Fax: 01 46 48 48 67
DIRECTEUR DE LA RÉDACTION: Matthieu Villiers,
ASSISTÉ DE Christelle Borelli
RÉDACTRICE EN CHEF: Cécile Bonneau
DIRECTRICE ARTISTIQUE: Yvonne Diraison
RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT (édition): Grégoire Bouillier
PREMIÈRE SECRÉTAIRE DE RÉDACTION: Anouk Delport
SECRÉTAIRE DE RÉDACTION: Ingrid Rousseau
PREMIER MAQUETTEUR: Jean-Michel Sabaté
RESPONSABLE DU SERVICE PHOTO: Clémence Gérard
CHEF DU SERVICE INFOGRAPHIE: Boris Bellanger
CHEF DU SERVICE DOCUMENTATION: Marie-Anne Guffroy
DOCUMENTALISTE: Frédéric Vladyslav
SERVICE LECTEURS: sev.lecteurs@mondadori.fr

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO:

Lise Barnéoud, Kheira Bettayeb, Pierre-Yves Boquet,
Marine Comiou, Coralie Haricok, Román Ikonickoff,
Milo Kontente, Nathalie Picard, Alexandra Piñen,
Martin Saumet, Yves Sciamma, Philippe Testard-Vaillant

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE: Carole Fagot
DIRECTEUR DÉLÉGUÉ: Vincent Cousin

DIFFUSION

Site: www.vendeplus.com.
DIRECTEUR DIFFUSION: Jean-Charles Guérault
RESPONSABLE DIFFUSION MARCHÉ: Siham Daissa

MARKETING

CHEF DE PRODUIT: Mathilde Janier-Bonnichon
ABONNEMENTS: Nathalie Carrère

PUBLICITÉ

DIRECTRICE EXÉCUTIVE: Valérie Camy
DIRECTRICE DE GROUPE COMMERCIAL: Caroline Soret
DIRECTRICE DE PUBLICITÉ ADJOINTE: Virginie Commun
DIRECTEUR DE CLIENTÈLE: Lionel Dufour
PLANNING: Stéphanie Guillard, Angélique Consoli,
Sabrina Rossi-Djenidi
ASSISTANTE DE PUBLICITÉ: Christine Chesse
RESPONSABLE TECHNIQUE: Stéphane Durand
OPS: Jean-Jacques Bénézech, Grégoire Gounse,
Anne-Sophie Chauvière
Tél.: 01 41 33 51 16; fax: 01 33 50 34

FABRICATION

Gérard-Laurent Greck, Marie-Hélène Michon
(CHEFS DE FABRICATION)

DIRECTEUR ADMINISTRATIF ET FINANCIER
Hervé Codard

FINANCE MANAGER
Guillaume Zaneski

ÉDITEUR

Mondadori Magazines France
Siège social: 8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION: Carmine Perna
ACTIONNAIRE: Mondadori France SAS
IMPRIMEUR: Elcograf - Italie
N° ISSN: 0151-0282
N° de commission paritaire: 1015 K 79977
Dépôt légal mars 2016

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS

Par mail: relations.clients@mondadori.fr;
par téléphone: 01 46 48 48 96 (de 8 h à 20 h du lundi
au samedi); par courrier: Science & Vie Abonnements, B341,
60643 Chantilly Cedex. Par Internet: www.kiosquemag.com
Etats-Unis et Canada: Express Mag. 8155, rue Larey,
Anjou (Québec), H1J 2L5. Tél.: 1 800 363-1310
(français) et 1 877 363-1310 (anglais); fax: (514) 355-3332.
Suisse: Edigroup Suisse, 022 860 84 50
mondadori-suisse@edigroup.ch
Belgique: Edigroup Belgique, 070 233 304
mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays: nous consulter.
Commande d'anciens numéros
et de reliures: tél. 01 46 48 48 97
relations.clients@mondadori.fr



Des traditions à réinventer

Tous les ans, à la fin du mois de février, à Paris, un étrange rituel se met en place. Veaux, vaches, cochons, chèvres et poules soigneusement choisis, les plus dignes représentants de leur race, font leur entrée solennelle dans l'arène du Parc des expositions. Un grand mélange d'admirateurs se pressent alors autour d'eux. Plusieurs centaines de milliers de personnes, professionnels et simples curieux, enfants et adultes, politiciens et journalistes, viennent tâter des bêtes et découvrir des fromages régionaux. L'agriculture française vit son moment de gloire.

Ce que viennent chercher ici la plupart des visiteurs, c'est du terroir, de la tradition. Mais ce qu'ils y trouvent, ce n'est pas uniquement cela. Le premier salon, qui s'est tenu en 1964 en pleine révolution agricole, alors que les rendements explosaient, en rendait déjà compte : l'agriculture mondiale s'est réinventée tout au long du XX^e siècle en intégrant toutes les technologies disponibles. Elle continue, plus que jamais, à le faire aujourd'hui. Car les défis qu'elle doit relever sont nombreux et complexes. Parfois même contradictoires. Nourrir une population mondiale de plus en plus gourmande est une noble tâche. Mais préserver, dans le même temps, une planète de plus en plus vulnérable est une gageure. Une gageure à laquelle les scientifiques s'engagent, eux aussi, à trouver des solutions.

S & V-HS

6 Cent ans d'innovations

Petit panorama des évolutions techniques qui, depuis le début du XX^e siècle, ont transformé les pratiques agricoles.

**7 DÉFIS POUR
L'AGRICULTURE
DE DEMAIN****24** Restaurer la richesse des sols

Sous l'effet des cultures, les sols fertiles se réduisent comme une peau de chagrin. Une tendance qu'il faut absolument inverser.

34 Diminuer l'empreinte écologique

L'agriculture pollue les sols et émet des gaz à effet de serre, responsables du réchauffement climatique. Une situation qui n'est pas viable à long terme.

46 Affronter les effets du changement climatique

Les cultures et l'élevage souffrent des hausses de température. D'où l'urgence de développer des parades.

56 Retrouver la biodiversité perdue

Après des décennies d'agriculture intensive, la biodiversité a fortement reculé. Or elle est nécessaire aux cultures.



Recevez *Science & Vie*
et ses Hors-Série

Votre bulletin d'abonnement
se trouve en p. 98. Pour commander
d'anciens numéros rendez-vous
sur www.kiosquemag.com.

Vous pouvez aussi vous abonner
par téléphone au 0146 48 47 08 ou
par Internet sur www.kiosquemag.com



NOTRE ASSIETTE EN QUESTIONS

30 réponses pour tout savoir sur notre alimentation

- 100** Le menu
- 102** Le goût
- 104** Les OGM
- 106** Les produits bio
- 108** Le clonage
- 110** Le bilan carbone
- 112** Le gaspillage alimentaire
- 114** Les paysans français

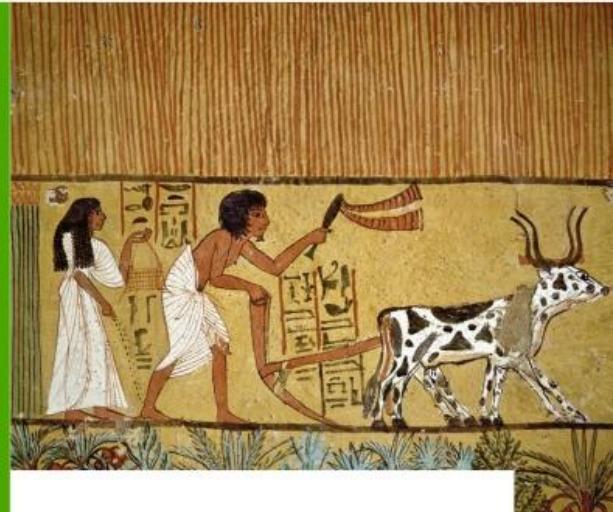
C. MAITRE/INRA - N. PALMER/CIAT - AKG



- 66** Améliorer les conditions d'élevage
La prise de conscience des consommateurs sur la souffrance des animaux d'élevage devrait amener les éleveurs à adapter leurs pratiques.

- 72** Trouver des alternatives à la viande
La production de viande est coûteuse en ressources et polluante. Alors que d'autres sources de protéines le sont beaucoup moins.

- 82** Garantir la sécurité sanitaire
À l'origine de dangers pour la santé humaine, l'agriculture doit revoir ses pratiques et mettre en place des systèmes de prévention des risques.



- 114** L'invention de l'agriculture

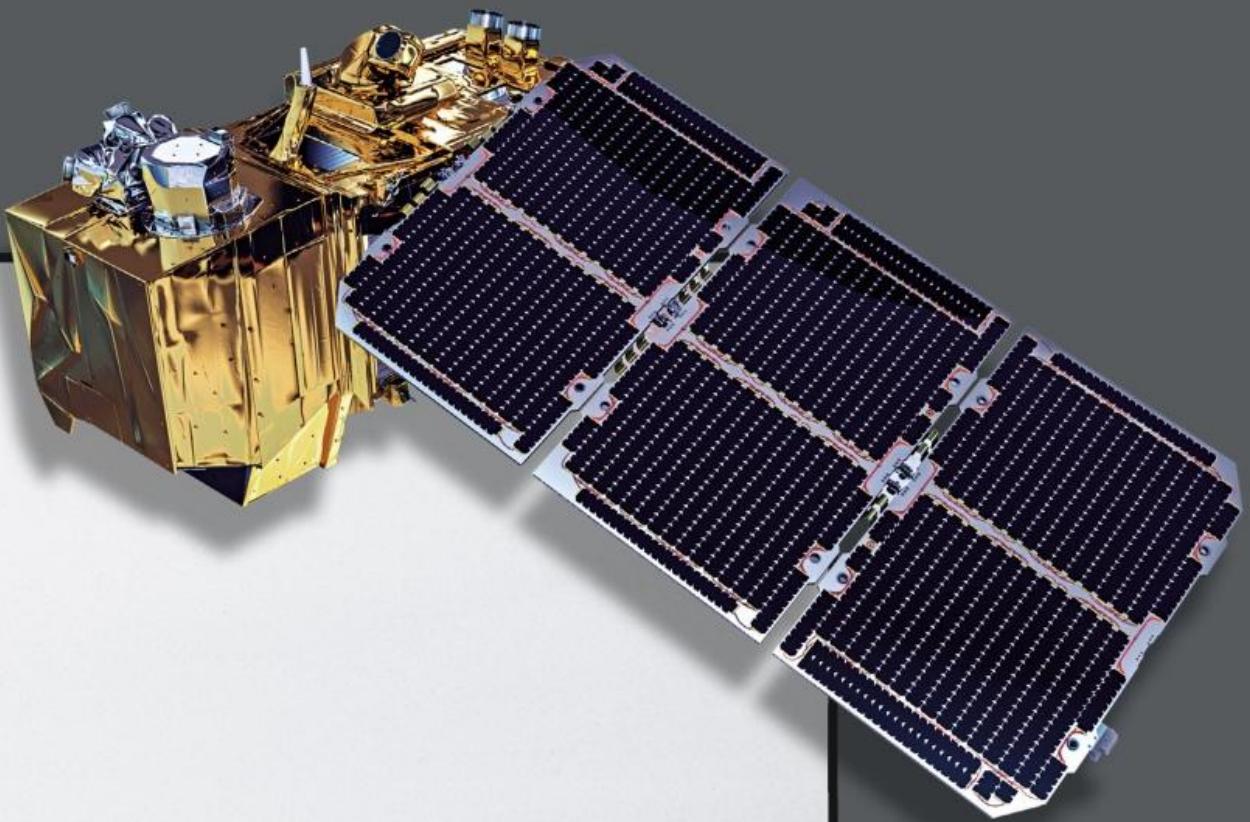
Cet événement majeur de l'histoire de l'humanité remonte à environ 11 000 ans. Mais ce fut un long processus.

A G R I C U L T U R E

100 ANS D'INNOVATIONS



Depuis le début du XX^e siècle, l'agriculture a connu plusieurs révolutions techniques. Des bouleversements qui ont libéré les agriculteurs de certaines tâches, mais les ont rendus dépendants d'autres acteurs... **PAR ROMÁN IKONICOFF**



► Un siècle de progrès technologiques dans des domaines aussi variés que les machines agricoles, l'aérospatiale ou la chimie sépare l'agriculteur d'hier, avec ses chevaux de trait, de celui d'aujourd'hui.



▲ Inventé en 1892, le tracteur automobile à essence est commercialisé dès 1900 (ci-dessus, un modèle conçu par l'Anglais Dan Albion). Il devient la norme dans les fermes occidentales dans les années 1920.



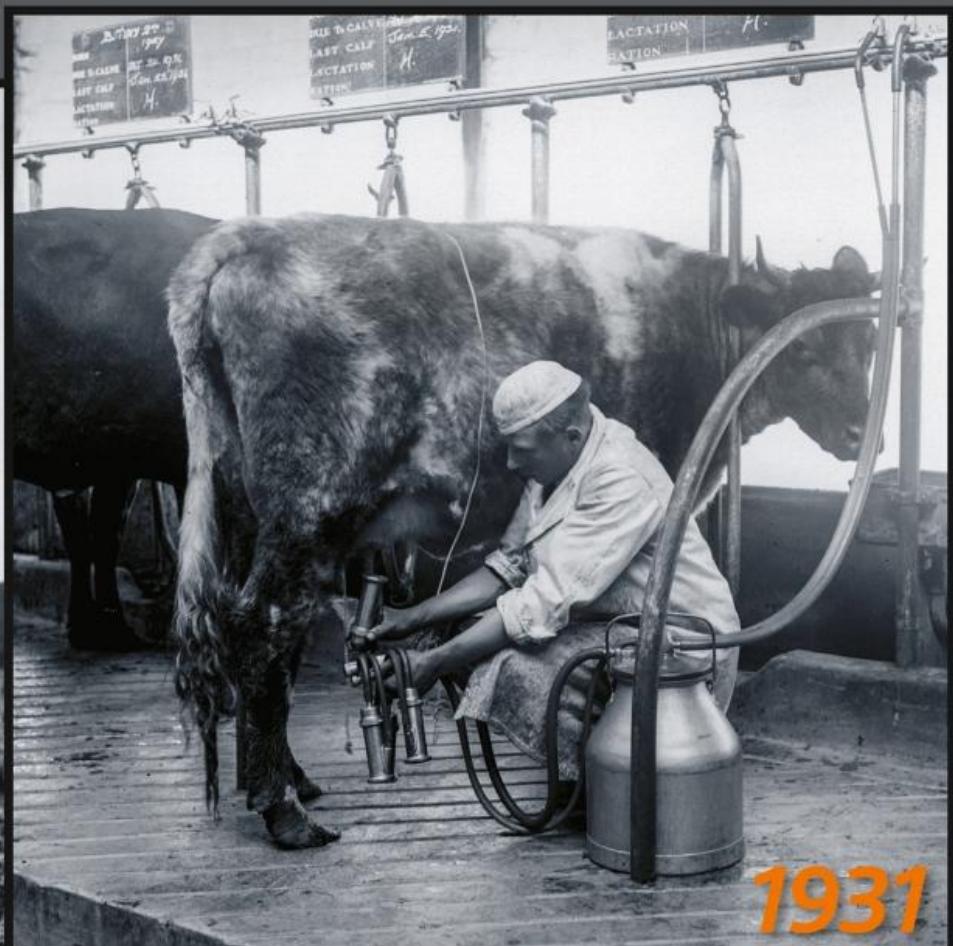
➤ La motorisation des engins agricoles se généralise alors, et la moissonneuse-batteuse automobile se répand à son tour dans les exploitations.

DEPUIS LA FIN DU XIX^e SIÈCLE

Les débuts de la mécanisation

Il y a un siècle, démarre une incroyable métamorphose qui transformera l'agriculture et la société mondiale. On ne peut certes pas en rendre compte d'une seule voix, tant l'agriculture, à l'aube du xx^e siècle, était loin d'être le système mondialisé (quoiqu'hétérogène) que l'on connaît aujourd'hui. Chaque continent, chaque pays et même chaque région connaissaient alors des pratiques spécifiques, issues d'une histoire technique et culturelle particulière. Mais, puisque c'est le modèle productiviste occidental (Europe et États-Unis) qui sert aujourd'hui de repère, il est intéressant de retracer son évolution particulière. Impulsée par les deux révolutions industrielles des xviii^e et xix^e siècles, cette métamorphose démarre par la mécanisation massive des outils agricoles. Les pays occidentaux se mettent à produire de nouvelles machines complexes,

puissantes et – grande nouveauté ! – autopropulsées, grâce à l'invention des moteurs thermiques, à vapeur d'abord (au xvii^e siècle), puis à combustion et à explosion interne (au xix^e siècle). Alors que l'agriculteur disposait depuis le Moyen Âge de quelques outils comme la charrue, la herse, le rouleau, la charrette et le chariot (pour le transport long des marchandises), au xix^e siècle, l'industrie l'inonde de machines encore non-motorisées (brabant double, moissonneuse-javeleuse avec moulinet de rabatteurs, batteuse à manège, hache-paille, concasseur...), sans oublier la moissonneuse-batteuse mécanique, ainsi que quelques gros engins actionnables par la machine à vapeur, comme la batteuse. Le poids et la taille des premiers moteurs ne permettent pas de les intégrer dans des engins mobiles, sauf pour



1931

▲ Les premiers systèmes mécaniques de traite ont été conçus dans les années 1880. Ils ne cesseront de se perfectionner et seront vite adoptés.

les transports. Et c'est ainsi que, grâce au chemin de fer et aux bateaux à vapeur principalement, l'agriculteur voit son horizon s'élargir. Il lui devient alors possible de faire venir de très loin les fertilisants minéraux et organiques, comme les nitrates ou le guano, importés respectivement du Chili et du Pérou. Quant à sa production, elle peut être écoulée rapidement au-delà des villages et villes alentour, ce qui a pour effet d'éviter les surplus qui, avant, pourrissaient sur place.

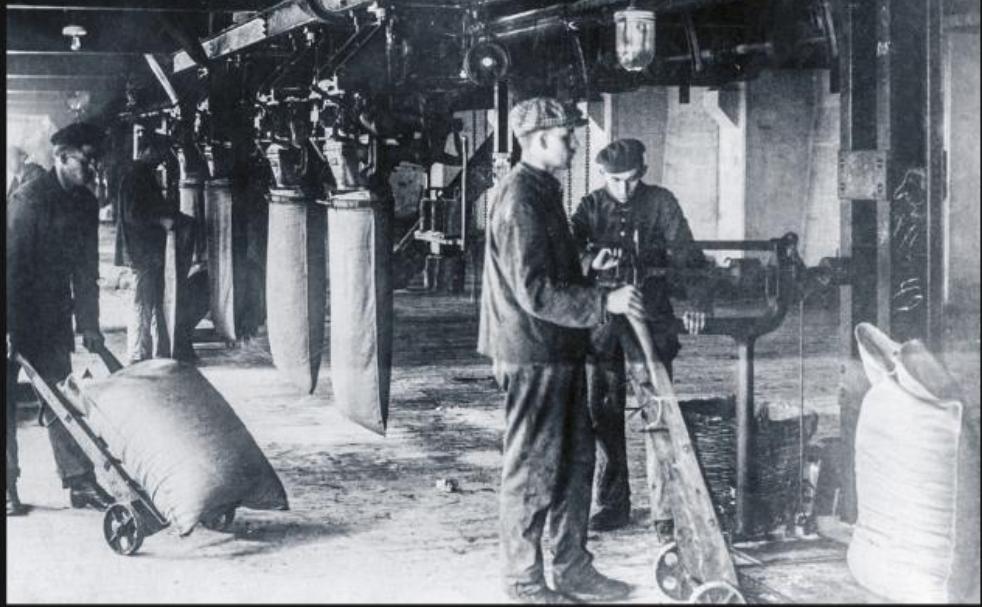
► L'avènement du tracteur à essence

Les moteurs finissent néanmoins par s'améliorer et par s'alléger. Et les premiers tracteurs automobiles font irruption dès la fin du xix^e siècle, remplaçant progressivement les animaux de trait. Le premier prototype de tracteur à vapeur (et à chenilles) est le fait d'un Russe, Fiodor Blinov, en 1881. Le premier prototype à combustion interne est conçu en 1892 par l'Américain John Froelich... Mais c'est dans la décennie 1900 que la production et la commercialisation de tracteurs

à essence décollent : entre 1901 et 1902, l'Anglais Dan Albone en aurait ainsi vendu quelque 500 unités. Bientôt, des ingénieurs de différents pays lancent leurs propres modèles, si bien que dans les années 1920 le tracteur à essence devient la norme des agriculteurs occidentaux. La moissonneuse-batteuse automobile suit le même chemin, et tous ces engins ne cesseront de s'améliorer jusqu'à aujourd'hui.

Les animaux ont été libérés du joug par la machine, mais les voilà désormais branchés à elle : la traite des vaches, un travail pénible, lent et peu efficace, se mécanise. Vers 1880 apparaissent les premières machines à dépression, comme la machine à succion de Baldwin, que le fermier actionne manuellement. Puis le processus s'automatise grâce à plusieurs innovations, comme les « pulsateurs » qui, alternativement, aspirent le lait et massent les mamelles, le tout alimenté électriquement ou par moteur thermique. Aujourd'hui, l'héritier high-tech de cette lignée machiniste ou « zootechnique » est le robot de traite piloté par ordinateur, qui contrôle tout le processus, depuis l'entrée de l'animal dans la machine jusqu'au nettoyage et à la désinfection de cette dernière, en passant par l'analyse du comportement de l'animal et de la qualité du lait ! Au cours du xx^e siècle, les cultures et les animaux de la ferme des pays développés se sont ainsi retrouvés totalement happés par la machine.

1930



Le premier fertilisant artificiel est synthétisé en 1909 selon le procédé Haber-Bosch, qui est encore aujourd'hui le principal fournisseur d'engrais azoté.

À partir des années 1940, l'utilisation de pesticides chimiques (dont le célèbre DDT) réduit considérablement les dommages causés aux cultures.

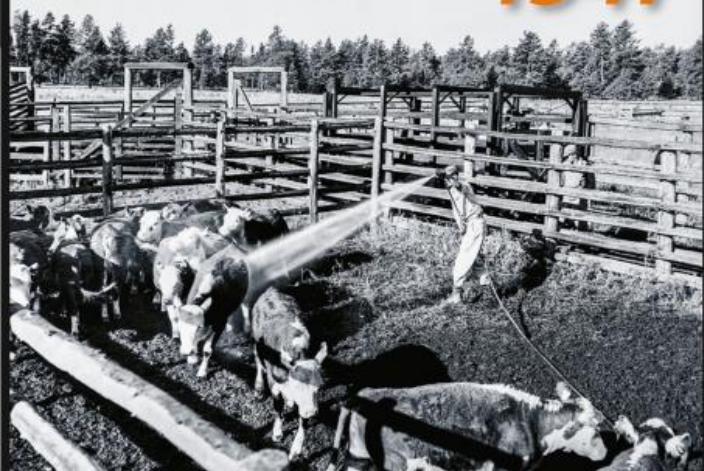
Traitements antiparasitaires, aliments enrichis, stimulateurs de croissance... l'agrochimie soigne aussi le bétail.

1947

DÉBUT DU XX^e SIÈCLE

Le recours massif à la chimie

Dans la première moitié du xx^e siècle, les agriculteurs ont reçu le secours de la chimie pour lutter contre le risque constant d'épuisement de la terre par les cultures, contre les maladies et les ravageurs, et contre la sous-alimentation de leurs bêtes. Mais l'un des premiers progrès en termes de fertilisation des sols et d'alimentation du bétail a eu lieu entre les xvii^e et xix^e siècles, avant même l'invention de l'industrie agrochimique: il s'agit du passage progressif du système de jachère, hérité du Moyen Âge, au système sans jachère. Une transformation connue comme la « première révolution agricole des temps modernes ». En décidant de remplacer les longues périodes d'inactivité du sol par la culture de prairies artificielles (semées) et de plantes fourragères, les cultivateurs font alors coup double: ces plantes ont des racines qui s'étendent en profondeur et puisent les substances nourricières de la terre (principalement l'azote, le phosphore et le potassium) loin de la surface. Elles les fixent ainsi contre le drainage par l'eau d'irrigation et de pluie. Ces cultures secondaires non-destinées à la consommation humaine sont broutées par le bétail à même les prairies ou transformées en fourrage et consommées à l'étable. Mieux alimentés, les animaux produisent en retour



davantage de fumier riche en minéraux fertilisants pour les cultures. Une combinaison gagnante de deux systèmes jusqu'alors séparés: la culture et l'élevage. S'ajoutant à la révolution des transports motorisés, qui a permis d'importer des engrains par voies ferrée et maritime, cette intégration a si bien augmenté les rendements que le spectre de la famine s'est éloigné de l'Europe. Celle-ci est devenue majoritairement autosuffisante.

Néanmoins, un nouveau pas est franchi au début du xx^e siècle, avec l'invention de l'industrie agrochimique, soit la synthèse artificielle des fertilisants et des produits phytosanitaires et zoosanitaires. Celle-ci a conduit à la surabondance agricole, qui a modifié profondément les habitudes alimentaires, mais a également été à l'origine de graves crises de surproduction. La première synthèse artificielle d'un fertilisant date de 1909. Elle est réalisée en laboratoire par les chimistes allemands Fritz Haber et Carl Bosch, selon une méthode, simple et peu coûteuse, qui produit du nitrate d'ammonium (substance



azotée) en fixant de l'azote atmosphérique (N_2) à l'aide de dihydrogène (H_2) et d'un catalyseur métallique. Une invention qui valut le prix Nobel aux deux hommes. Si aujourd'hui les techniques de fertilisation des sols comprennent également l'amélioration chimique (acidité) et biologique (microbiome) de la terre, le « procédé Haber-Bosch » reste le principal fournisseur d'engrais azoté, si bien que 80 % de l'azote contenu dans nos tissus proviendrait, via notre alimentation, de cette industrie !

► Insecticides, herbicides, fongicides...

Dans le même temps, la lutte contre les infections (champignons, parasites et virus des cultures et du bétail) et les mauvaises herbes a conduit au développement des pesticides chimiques (insecticides, herbicides, fongicides...), tel le célèbre DDT (ou dichloro-diphenyl-trichloroethane) utilisé pour les cultures et le bétail, lequel a également bénéficié, à partir des années 1950, de la vaccination systématique et de la distribution d'antibiotiques et de sérums. Si le DDT est synthétisé pour la première fois à la fin du XIX^e siècle, ce n'est qu'en 1939 que le Suisse Paul Müller découvre ses vertus

insecticides, en particulier contre les arthropodes, vecteurs de maladies, découverte qui est récompensée par le Nobel de médecine en 1948. Employé massivement à partir du milieu des années 1940, le DDT est de plus en plus décrié, accusé, entre autres, de provoquer le cancer et l'extinction d'espèces, dont les oiseaux. Progressivement banni, il sera remplacé par les insecticides organophosphorés, moins toxiques, à partir des années 1970, et par les pyréthrines (substances dérivées de fleurs de pyrèthre de Dalmatie). Parallèlement, dès la fin du XIX^e siècle, l'industrie, à l'instar des sociétés américaines Cargill et Purina, cherche la meilleure diète pour le bétail. La production d'aliments enrichis, sous forme de granulés, démarre ainsi dans les années 1920, tandis que l'administration d'hormones et de promoteurs de croissance, comme le diéthylstilbestrol (DES), se développe à partir des années 1950. Cette industrie a connu des errements qui ont conduit à plusieurs crises (dont celles du lait aux hormones et de la vache folle), et à la remise en question de ce système d'alimentation (interdiction des farines animales) et des traitements hormonaux.

> À partir des années 1950, la culture sous serre, qui permet aux agriculteurs de se libérer de la contrainte du climat, prend un essor considérable.



▼ Inventée à la fin du XIX^e siècle, la culture hors-sol se généralise elle aussi à partir des années 1950. Le contrôle des conditions de développement des plantes y est total.

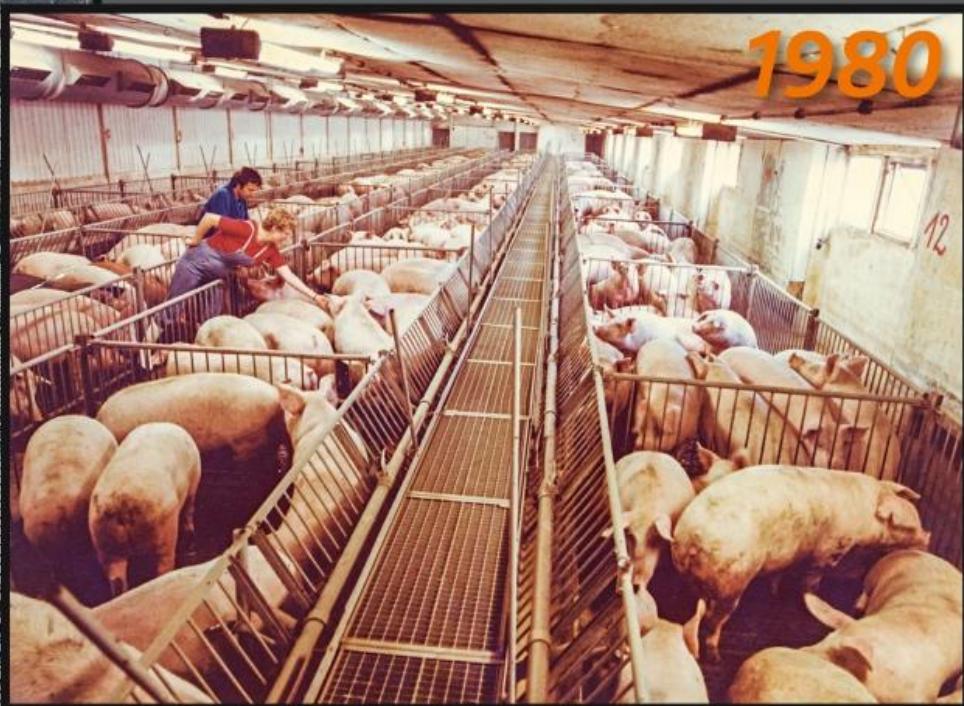


À PARTIR DES ANNÉES 1950

La métamorphose industrielle

Dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, les progrès accumulés depuis la fin du XIX^e siècle font exploser les rendements des cultures et de l'élevage, multipliés par 50 entre 1900 et 1960 ! Une lame de fond que l'on nomme la « deuxième révolution agricole », et qui débouche sur la « révolution verte » à partir des années 1960 : la mondialisation des technologies agricoles inventées dans les pays développés. Entre les années 1950 et 1970, l'Europe, les États-Unis, l'Amérique latine, l'Asie et l'Australie se retrouvent ainsi intégrés dans un système techno-agricole à haut rendement, piloté par la main invisible de l'économie et du commerce international.

À l'origine de ce bouleversement, outre la motorisation des outils et la maîtrise industrielle des fertilisants et des pesticides : la sélection artificielle (et bientôt génétique) des semences et des animaux, et la « scientification » des paramètres et des gestes de cette activité pratiquée empiriquement depuis plus de dix mille ans. L'étendue croissante des exploitations oblige, en effet, à repenser l'irrigation et le drainage, qui deviennent des techniques « raisonnées », d'autant que l'eau sert également à diffuser les intrants chimiques (fertilisants et pesticides). D'où l'apparition de la micro-irrigation (ou goutte-à-goutte), qui achemine jusqu'aux racines des plantes la quantité strictement nécessaire d'eau et d'intrants via



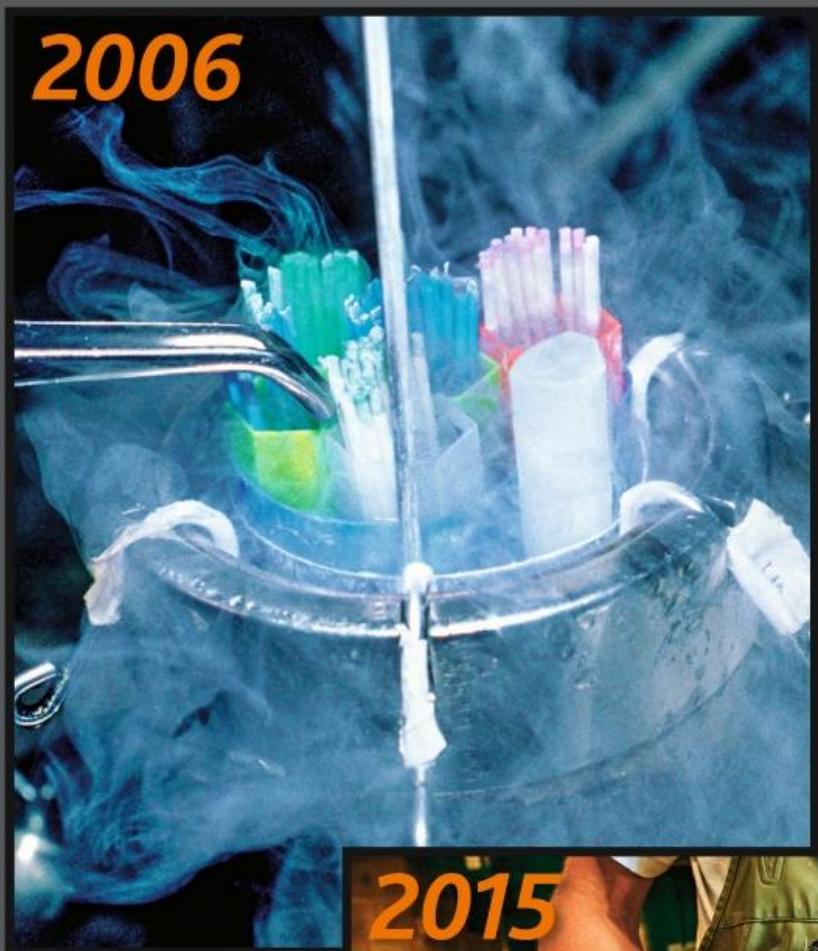
▲ L'élevage intensif se développe également après la Deuxième Guerre mondiale. Les animaux sont élevés sous lumière artificielle dans d'immenses hangars, et souvent en batteries.

des tuyaux enterrés, et de l'irrigation souterraine qui, grâce à un textile semi-perméable, évite à l'eau de s'évaporer. L'on essaie également d'agir sur des paramètres biologiques, comme l'horloge circadienne des plantes et des animaux, en modifiant artificiellement, dans les batteries et les serres, la durée du jour et de la nuit, afin d'accélérer le cycle de reproduction du bétail, d'accroître la production de lait ou de stimuler la croissance des plantes.

► **Cultures hors-sol et en serres**

Les cultures se passent parfois de terre: un substrat de sable, de roche volcanique ou de laines minérales et la bonne dose d'eau et de fertilisants suffisent. Inventée à la fin du xix^e siècle, l'hydroponie se développe d'abord aux États-Unis dans les années 1940, puis se généralise: laitues, tomates, carottes, pommes de terre, concombres... sont ainsi cultivés hors-sol dans d'immenses serres. De fait, la sériculture, qui vainc le diktat des saisons et du climat, prend tant de place dans cette nouvelle agriculture que certaines exploitations sont visibles depuis l'espace.

En vingt-cinq ans, le paysage agricole mondial s'est radicalement transformé. Libérée des contraintes traditionnelles (climat, qualité des sols, transport) et surtout, de l'obligation de produire du fourrage et des aliments variés pour la population locale (polyculture et polyélevage), l'agriculture se réorganise selon le principe de l'avantage comparatif. Théorisé en 1817 par l'économiste David Ricardo, ce principe affirme que, en se spécialisant dans la production qui lui assure la meilleure compétitivité, chaque région ou pays accroît au mieux sa richesse. Il conduit ainsi à la spécialisation et à la production à très haute valeur ajoutée (dont les produits à appellation d'origine contrôlée), et au développement de grandes monocultures. Le nord-ouest de l'Europe, au climat doux, devient un grand producteur de lait, les régions viticoles françaises abandonnent tout autre production, les montagnes se spécialisent dans le fromage, tandis qu'en Amérique latine (Brésil et Argentine) des champs de soja s'étendent à perte de vue. La planète est devenue une ferme globale! Si elle est plus efficace que jamais, cette agriculture engendre des « pathologies » qui conduiront à sa remise en question à partir des années 1990. Outre la pollution et les risques sanitaires et écosystémiques qu'elle entraîne, elle laisse sur le chemin la grande majorité des agriculteurs des pays pauvres, qui continuent à pratiquer une agriculture traditionnelle, avec des rendements jusqu'à 500 fois inférieurs! Les agriculteurs des pays développés se retrouvent, eux, aux mains de grandes sociétés industrielles comme Cargill ou Monsanto, qui agissent en amont et en aval de la production et imposent des contraintes techniques et économiques sévères. Sauf à se constituer en grandes coopératives, les agriculteurs perdent ainsi la maîtrise, et parfois le sens, de leur travail...



◀ Pour aboutir aux animaux les plus productifs, la semence des meilleurs reproducteurs est dans certains cas collectée, conservée au froid sous forme de paillettes, et inseminée artificiellement.

► Le premier légume transgénique est commercialisé aux États-Unis en 1994. Mais ces tomates à maturation ralentie après cueillette sont moins bonnes que les classiques et n'auront guère de succès.

▼ En novembre dernier, le premier animal génétiquement modifié (un saumon à croissance rapide) a été autorisé pour la consommation humaine, mais aux États-Unis seulement.



À PARTIR DES ANNÉES 1980

Les apports de la génétique

À partir des années 1980, une rupture technologique déterminante vient bouleverser l'agriculture. Et elle ne le fait pas dans la discréption: aujourd'hui, tout le monde connaît le sigle OGM (pour organisme génétiquement modifié), synonyme pour certains de progrès et de promesses alimentaires pour une planète en expansion démographique, ou de démon de la technoscience et des risques sanitaire, écosystémique et économique pour d'autres. Le débat est en cours...

Cette innovation s'inscrit en fait dans la continuité du processus de sélection et de transformation radicale du bétail et des plantes, entamé avec la révolution agricole moderne. De fait, la sélection volontaire des plantes et des animaux, qui a débuté au XVIII^e siècle, est devenue

massive avec les révolutions agricoles du XX^e siècle, aidée en cela par la découverte des lois de l'hérédité et de la transmission génétique à la fin du XX^e siècle. Avec la motorisation et l'utilisation des fertilisants et pesticides chimiques, il a fallu en effet « adapter » les plantes et les animaux. Pour optimiser le travail des moissonneuses-batteuses motorisées, on a sélectionné des plantes arrivant à maturité à l'unisson et faciles à battre et à égrener. Elles devaient également être capables de résister à des doses massives de pesticides et de fertilisants chimiques (les lignées du début du XX^e siècle auraient péri par surdose!). Les animaux aussi ont subi une sélection afin d'absorber l'augmentation du volume et de la qualité nutritive des aliments issus

1994



notamment de ces cultures. De 15 kg de foin consommé par jour par une vache laitière au début du xx^e siècle (pour 2000 l de lait produits par an), on est passé aujourd'hui à 15 kg d'aliments enrichis et à 5 kg de foin par jour pour 10 000 l de lait par an... Mais, à partir des années 1980, la sélection a changé de nature. Jusqu'alors basée sur les caractéristiques physiques et le comportement des organismes (phénotype), la sélection s'est portée directement sur les gènes, à la suite de la découverte et de la caractérisation physico-chimique de l'ADN dans les décennies 1950-1960, et de la mise au point dans les années 1970 des techniques de manipulation génétique et de clonage à grande échelle.

► **Un tabac résistant aux herbicides**

Ainsi, en 1983, des chercheurs de la compagnie Monsanto créent, à des fins de recherche, la première plante transgénique, un tabac résistant aux antibiotiques. La technique permet de créer un tabac résistant aux herbicides, lequel est testé en 1986 dans des champs en France et aux États-Unis. Le premier OGM pour la consommation humaine est commercialisé en 1994 aux États-Unis.

Il s'agit de tomates transgéniques à maturation ralenties après cueillette, baptisées Flavr Savr. Mais, comme elles sont moins savoureuses et plus chères que les tomates classiques, leur production s'arrête en 1996. Cette même année, l'Europe approuve pour la première fois la commercialisation d'un végétal transgénique, un tabac conçu par la Seita résistant à l'herbicide Bromoxynil. En 1995, la première pomme de terre sécrétant une protéine insecticide fait son apparition aux États-Unis, bientôt suivie d'un maïs du même genre. Puis viendront d'autres OGM tolérants aux herbicides, et enfin des OGM possédant les deux caractéristiques, insecticides et tolérants aux herbicides. Aujourd'hui, plus de 11 espèces végétales transgéniques (soja, coton, maïs, etc.) sont cultivées dans 25 pays, sur 1750 000 km² de cultures, soit plus de 10 % des champs de la planète. Jusqu'en novembre dernier, la production de viande ou de lait par des animaux transgéniques était, elle, cantonnée aux laboratoires. Mais un saumon arrivant à maturité deux fois plus vite que ses congénères naturels vient d'être approuvé pour la consommation par les autorités américaines. Reste à savoir si les consommateurs accepteront ces produits...



À PARTIR DES ANNÉES 1980

Une précision venue du high-tech

L'alliance a commencé à se nouer dès les années 1980 aux États-Unis. Une rencontre entre deux mondes que tout semble opposer: celle des high-tech et de l'agriculture. Pensée par des agronomes, des agriculteurs, des ingénieurs et des chercheurs universitaires, elle repose sur un idéal: celui de l'information exhaustive. Son principe: si, à un moment donné, un agriculteur possède toutes les informations sur la composition et la structure de ses sols, l'état de développement de ses plantes, les événements météo à venir (à court terme), l'histoire sur plusieurs années des rendements de sa parcelle (en fonction des traitements et des événements passés), ainsi que les données d'autres agriculteurs exploitant le même type de culture, alors il peut prendre à ce moment précis la meilleure décision pour optimiser sa récolte, tout en minimisant l'usage d'intrants, d'eau, d'énergie. Cette agriculture dite « de précision » garde donc l'objectif d'améliorer les rendements, mais selon une logique inverse de celle qui prévalait depuis la révolu-

tion des années 1950-1970: au lieu de traiter massivement et « statistiquement » d'énormes étendues de monocultures à grands coups de produits chimiques, elle vise à individualiser les besoins des plantes pour leur fournir la juste dose de substances, au gramme près! L'agriculteur est donc aidé au quotidien par un ensemble de logiciels traitant en temps réel une masse énorme d'informations, pouvant provenir de bases de données nationales ou régionales sur les rendements agricoles, d'images satellite, de mesures effectués par capteurs (au sol et embarqués), d'informations météorologiques, de résultats d'expériences scientifiques... Des logiciels qui délivrent des préconisations établies selon des modèles agricoles issus de la recherche agronomique et des pratiques. Par exemple, les modèles dits phytogéomorphologiques reposent sur l'hypothèse, observée empiriquement, que la croissance des plantes et la stabilité de la culture sur plusieurs années dépendent des propriétés topologiques et hydrologiques

2012



► Les images en infrarouge des satellites renseignent les agriculteurs sur le développement des plantes d'une même parcelle.

▲ Équipés de caméra, les drones permettent eux aussi d'établir des cartes précises (à quelques centimètres près) des surfaces cultivées.

► Grâce au GPS, la dose de semences ou d'intrants peut être modulée sur une parcelle en fonction des données satellitaires.



des sols, informations qui peuvent être trouvées dans des bases de données spécialisées. D'autres modèles peuvent provenir d'expérimentations scientifiques et d'études physicochimiques réalisées sur des cultures, dans des champs expérimentaux, pour déterminer la combinaison optimale en fertilisants, le meilleur pH des sols, etc.

► Des capteurs dans l'estomac des vaches

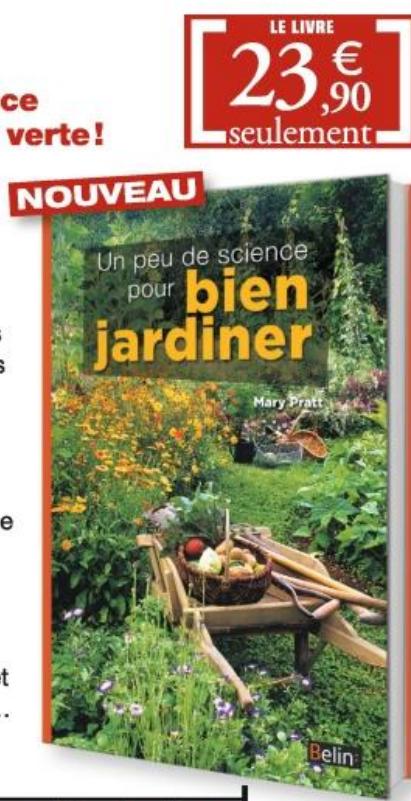
Dans cette agriculture de précision, les données des satellites d'observation de la Terre (tels les satellites Spot, du Cnes) sont essentielles: les clichés de « reflectance » (taux de lumière réfléchie par un objet) ou en lumière infrarouge d'une parcelle révèlent les stades de croissance des plantes (teneur en chlorophylle, développement des feuilles) et son degré d'homogénéité. Ces données sont traduites directement en besoins de fertilisants par des logiciels spécialisés. Les systèmes d'épandage d'intrants, pilotés par l'agriculteur à l'aide du GPS, peuvent être gérés par ces mêmes algorithmes, qui moduleront ainsi la dose de fertilisants délivrée en fonction des données, le tout en temps réel.

L'élevage n'échappe pas non plus à ce mouvement. Les éleveurs de vaches laitières, par exemple, peuvent désormais piloter leurs cheptels au plus près des besoins de chaque animal. Grâce à des capteurs extérieurs ou présents dans le système digestif des bêtes, ils disposent d'une foule de données (activité, température, période de chaleurs, état de santé...) qui leur permet d'optimiser leur production. Initiée aux États-Unis, l'agriculture de précision est arrivée en France à la fin des années 1990. Elle permet d'ores et déjà aux agriculteurs d'obtenir des informations très fines sur leurs champs et de planifier les traitements (*via* des « cartes de rendement »). Mais cette pratique agricole si précise est limitée par le coût élevé des machines et des systèmes capables de moduler leur action dans une même parcelle en fonction des besoins différents des plantes. Ainsi, en France, moins de 10 % des agriculteurs sont pour l'heure équipés de ces outils high-tech.

À lire : *Histoire des agricultures du monde*, de Marcel Mazoyer et Laurence Roudart (Éditions du Seuil).

Appliquez la science pour avoir la main verte !

Comprendre comment vivent et fonctionnent les plantes, comment obtenir d'elles une meilleure croissance, une floraison plus importante ou de plus beaux fruits... Ce livre vous donnera des informations sur ce qui fait la qualité d'un sol, le processus de germination ou encore les mécanismes de défense face aux ravageurs et maladies diverses. Un ouvrage parfait pour apporter aux plantes les soins les plus appropriés et créer de superbes jardins... grâce à la science !



Un peu de science pour bien jardiner

DIM. 24 x 16 CM. 176 PAGES. AUTEUR : MARY PRATT. ÉDITIONS BELIN.

Visuels non contractuels

> À VOIR ABSOLUMENT

Des images tournées en HD à couper le souffle !

Les secrets de la planète expliqués par de grands scientifiques !



De grandes forces naturelles ont façonné nos continents actuels : éruptions volcaniques, tremblements de terre, raz de marée... Parcourez la planète et appréciez sa puissance et le choc de ses continents avec cette série documentaire de la BBC.

Coffret 6 DVD « La collection Terre » - 29,99 €

DURÉE : ENV. 12 HEURES. 3 SÉRIES DOCUMENTAIRES. KOBAL FILMS. COULEUR.

LE LIVRE
23,90
seulement

Regardez partout vos DVD et la télévision en HD !

Avec son écran rotatif et sa télécommande, très simple d'utilisation et multi-fonctions, il capte toutes les chaînes TNT, lit vos DVD et vos fichiers multimédias grâce à son entrée USB et son port de cartes SD / MMC.

Lecteur DVD TNT HD 9" rotatif

INNOVATION. ÉCRAN ROTATIF À 180° 9" (23 CM) 16:9. ANTENNE TNT. BATTERIE RECHARGEABLE INTÉGRÉE : 2 H D'AUTONOMIE.

RÉSOLUTION : 640 (RGB) x 234.

ENTRÉE USB. FORMATS COMPATIBLES :

DVD / CD / JPEG / MP3 / XVID.

LECTEUR DE CARTES SD / MMC.

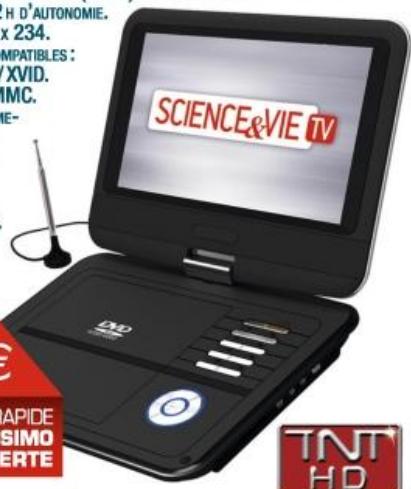
SACOCHÉ. CHARGEUR ALLUMÉ-CIGARES. CONNECTIQUE ET

TÉLÉCOMMANDÉ FOURNIES.

GARANTIE 1 AN

(HORS BATTERIE).

ÉCO-PARTICIPE INCLUSE.



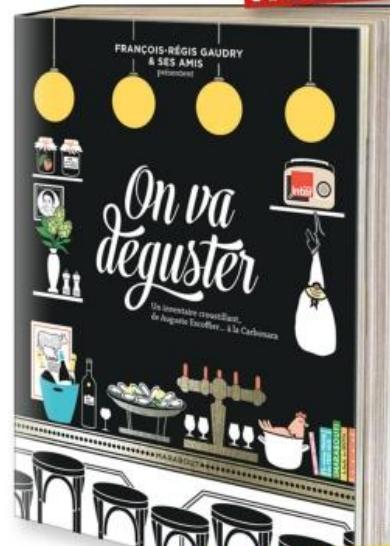
129€

LIVRAISON RAPIDE
COLISSIMO OFFERTE

PAIEMENT
3X SANS FRAIS

TNT HD

NOUVEAU



Faut-il saler l'eau du pot-au-feu ?
Comment Auguste Escoffier a-t-il inventé la pêche Melba ?
Quels sont les cinq meilleurs burgers de New York ?
Que collectionne un cassanuxiphile ?

Plusieurs centaines de recettes !

Retrouvez le rendez-vous du dimanche matin sur France Inter avec les recettes cultes de l'émission dans cette bible culinaire ! Délicieusement illustré et agrémenté de faux pas, anecdotes, portraits et tours du monde, vous reconnaîtrez la verve du journaliste animateur François-Régis Gaudry...

On va déguster - 35€

DIM. 25,5 x 4 x 33,5 CM. 336 PAGES. AUTEUR : FRANÇOIS-RÉGIS GAUDRY. ÉDITIONS MARABOUT.



7 DÉFIS POUR L'AGRICUL- TURE DE DEMAIN



TURE



- 
- 24** Restaurer la richesse des sols
 - 34** Diminuer l'empreinte écologique
 - 46** Affronter les effets du changement climatique
 - 56** Retrouver la biodiversité perdue
 - 66** Améliorer les conditions d'élevage
 - 72** Trouver des alternatives à la viande
 - 82** Garantir la sécurité sanitaire



Le grand défi posé à l'agriculture mondiale consistera à « nourrir 9 milliards d'individus en 2050 ». Pourquoi 2050 ? Parce qu'en plus d'être le tournant du siècle, cette date est censée correspondre à une stabilisation de la croissance démographique. Et pourquoi 9 milliards ? En fait, ce chiffre émis en 2004, qui a marqué les esprits et est systématiquement repris depuis, est caduc. Selon les dernières estimations de l'ONU, la population mondiale comptera en réalité 9,7 milliards de personnes en 2050, contre 7,3 en juillet 2015. L'Inde se situera au premier rang d'entre tous les pays, avec 1,7 milliard d'habitants. Les Chinois seront 1,35 milliard, soit un tout petit peu moins

Et que la population des plus de 60 ans continue d'augmenter, de façon inédite. À noter que, si un peu moins de la moitié de la population actuelle habite encore à la campagne, en 2050, nous serons 70 % à nous agglutiner en ville, ce qui ne facilite pas toujours l'accès à la nourriture.

Alors comment encaisser cette augmentation de un tiers de la population mondiale ? Le défi peut sembler finalement trivial : en 1960, la Terre ne comptait que 3 milliards d'individus. La population a donc fait plus que doubler en un demi-siècle, et l'agriculture a suivi. On peut même se réjouir de voir la faim dans le monde décliner constamment, même si 795 millions de personnes (soit

Le défi posé à l'agriculture mondiale n'est pas une question de quantités : c'est tout un système qu'il faut interroger

qu'aujourd'hui (1,38 milliard). Et les Nigérians, dont la croissance démographique est l'une des plus spectaculaires, occuperont le troisième pays le plus peuplé du monde avec 399 millions d'individus (plus du double de la population actuelle !), juste avant les États-Unis (qui devraient recenser 389 millions d'Américains).

Pourquoi cette révision à la hausse ? Principalement parce que la mortalité en Afrique, et notamment la mortalité infantile, a baissé plus que prévu.

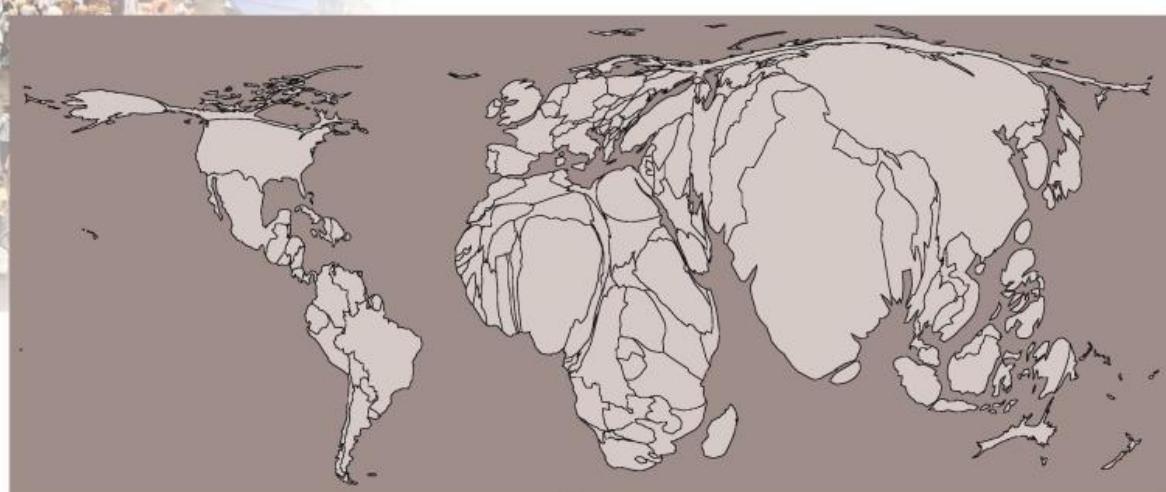
environ une personne sur neuf) sont encore sous-alimentées (contre 991 millions en 1990), d'après les évaluations de la FAO, l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. La sécurité alimentaire reste une préoccupation majeure en Afrique subsaharienne, où près d'une personne sur quatre souffre de la faim. Mais on peut espérer que cette région connaisse le même sort que l'Afrique de l'Ouest, qui a vu la sous-alimentation baisser de 24,5 % depuis 1990.



7 défis pour l'agriculture de demain

9,7 milliards d'habitants en 2050

La FAO surveille de près l'évolution de la démographie mondiale (ci-dessous, une carte où la surface de chaque pays est proportionnelle à sa population en 2050). Selon ses prévisions, nous serons presque 10 milliards d'humains en 2050. Avec 1,6 milliard d'habitants, l'Inde deviendra le pays le plus peuplé, devant la Chine (1,3 milliard) et le Nigeria (399 millions d'habitants). Grâce au recul de la mortalité infantile et à l'augmentation de l'espérance de vie, l'Afrique connaîtra une forte croissance démographique.



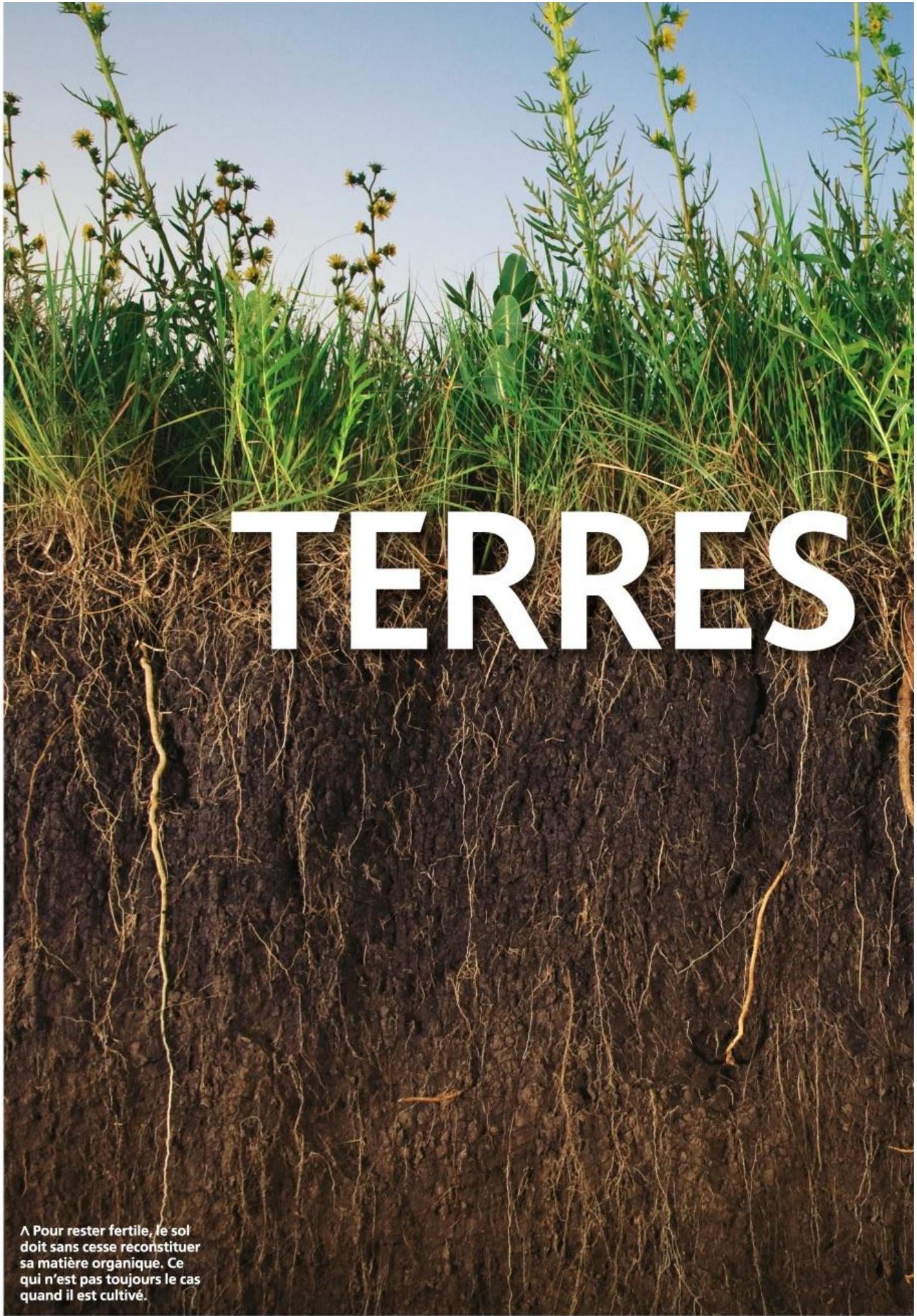
Pour assurer la satisfaction de la demande alimentaire croissante, due à la fois à l'augmentation démographique et à la croissance économique, il faudra, par exemple, produire quelque 3 milliards de tonnes de céréales en 2050, contre 2,1 aujourd'hui. Et la demande de produits animaux et laitiers devrait augmenter dans des proportions encore bien supérieures ! D'après les projections de la FAO, la production alimentaire globale devrait avoir progressé de 70 % entre 2005 et 2050. Sans compter que l'essor des biocarburants pourrait venir perturber ces perspectives en accentuant encore davantage l'augmentation de la demande.

DES MANIÈRES PLUS DURABLES DE CULTIVER

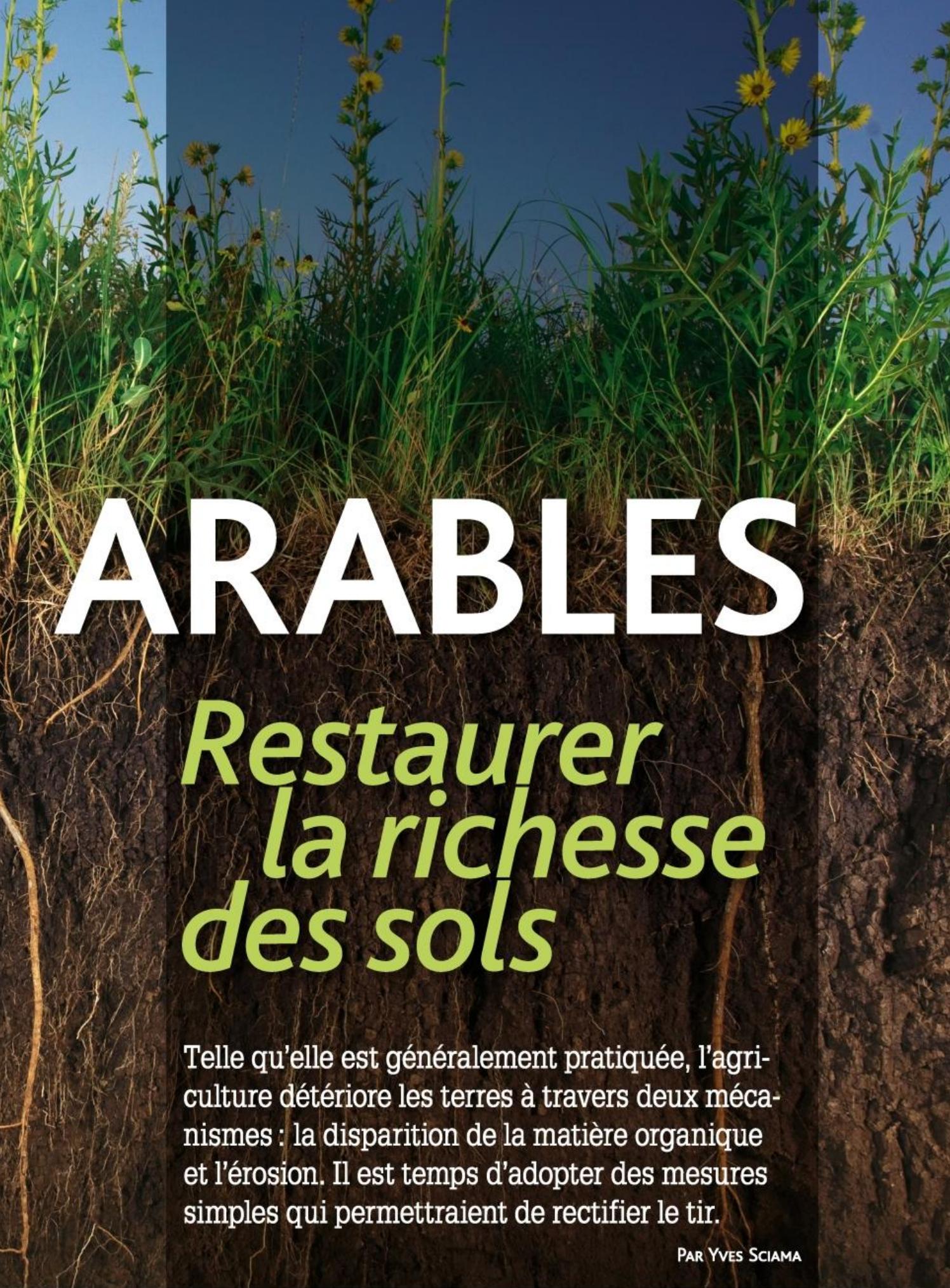
Alors comment s'y prendre ? Principalement en comptant encore sur l'augmentation des rendements, surtout dans les pays en développement (même si cela ne pourra se faire qu'à un rythme plus faible que par les décennies passées), et sur l'accroissement de la surface des terres arables, notamment avec le développement de l'irrigation, toujours dans ces régions.

Sauf que le défi posé à l'agriculture mondiale ne se limite pas à des questions de quantités : c'est tout un système qu'il faut interroger en même temps qu'on le pousse vers ses limites. Car l'augmentation passée des rendements a épuisé les sols, dont il s'agit désormais de renouveler la fertilité. Car l'agriculture pollue beaucoup, devenant la propre victime de ses excès, et doit absolument trouver des manières plus durables de cultiver et d'élever. Car le climat change, et il devient nécessaire de s'y adapter. Car la biodiversité s'est effondrée, et il est capital de la restaurer. Car l'élevage devra se préoccuper plus des conditions de vie des bêtes, sous l'effet de législations probablement de plus en plus contraignantes. Car il est urgent d'inventer de nouveaux aliments pour remplacer ceux qui sont trop gourmands en énergie. Et, enfin, car il va falloir pratiquer une agriculture plus respectueuse de la santé de ceux qui la font, comme de ceux qui s'en nourrissent. Ce n'est donc pas un unique défi qui se pose aujourd'hui à l'agriculture. ●

CÉCILE BONNEAU



▲ Pour rester fertile, le sol doit sans cesse reconstituer sa matière organique. Ce qui n'est pas toujours le cas quand il est cultivé.



ARABLES

Restaurer la richesse des sols

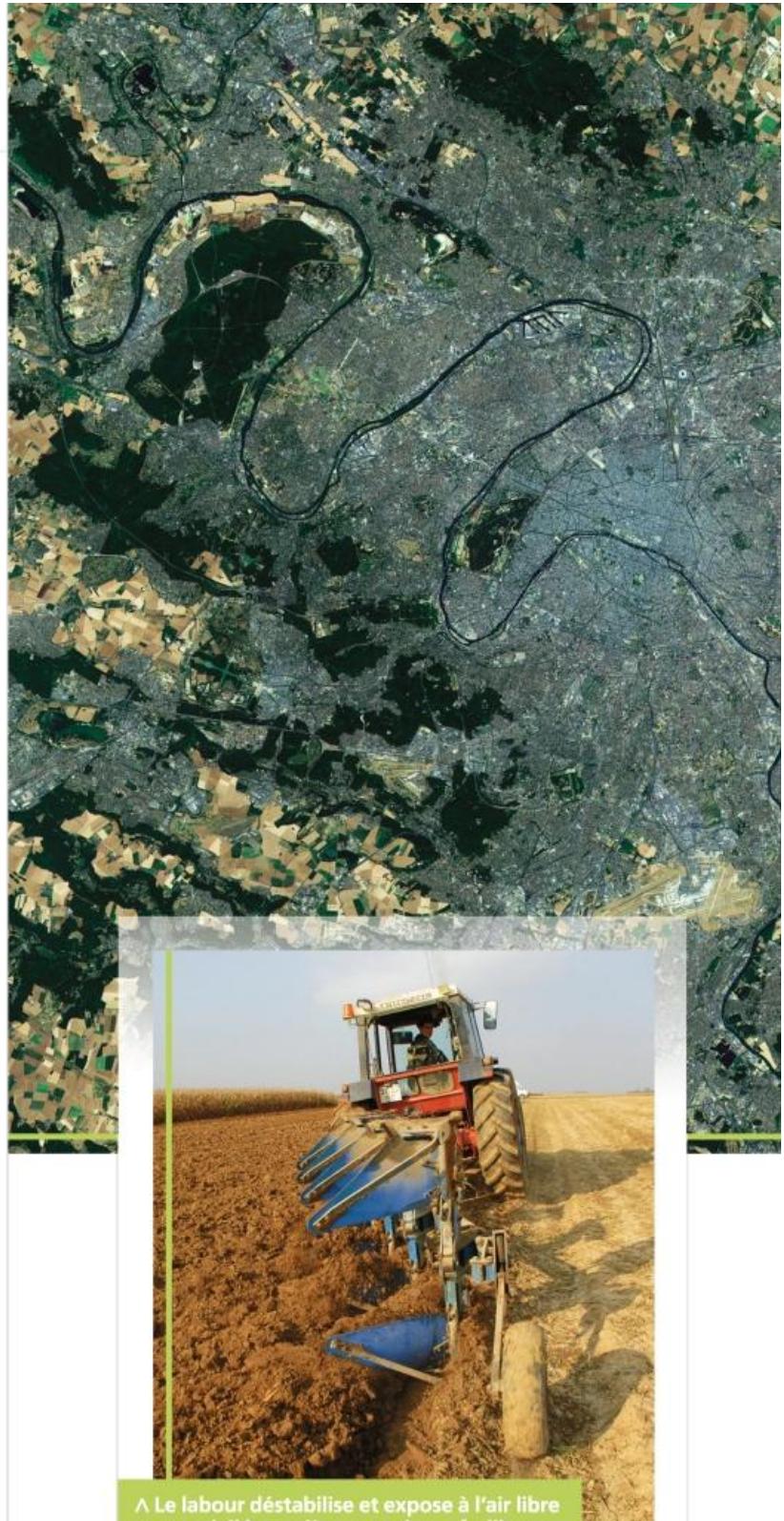
Telle qu'elle est généralement pratiquée, l'agriculture détériore les terres à travers deux mécanismes : la disparition de la matière organique et l'érosion. Il est temps d'adopter des mesures simples qui permettraient de rectifier le tir.

PAR YVES SCIAMA

On l'appelle pudiquement le « plateau de fertilité », mais c'est en fait une vraie panne de l'agriculture mondiale, qui fait souffler un vent de panique à travers l'agronomie. Terme confidentiel il y a dix ans, le « plateau de fertilité » se retrouve désormais dans toute la littérature scientifique. En quoi consiste-t-il ? Au début de la conversion mondiale de l'agriculture à la mécanisation et à la chimie, dans l'après-guerre, les rendements de la plupart des cultures de base ont connu un essor fulgurant. Année après année, sous l'effet des engrais, de l'irrigation et de la sélection variétale, la production à l'hectare a battu des records, jusqu'à doubler ou tripler parfois. Et soudain, autour des années 2000, un plafond invisible a surgi. Après être passés de 2 à 7 tonnes par hectare de 1945 à 1990 en France, les rendements du blé ont, par exemple, commencé à baisser. La plupart des grandes cultures sont dans une situation comparable, même aux États-Unis (à l'exception notable du maïs... mais pour combien de temps ?). En pleine hausse de la population mondiale, en pleine prise de conscience des méfaits de la déforestation, cette stagnation instille le doute sur la capacité de l'agriculture mondiale à nourrir un monde qui va se peupler de 2 à 3 milliards d'habitants supplémentaires d'ici 2050. Surtout que l'expansion effrénée des villes ne cesse de dévorer les meilleures terres.

UNE COUCHE QUI PART EN LAMBEAUX

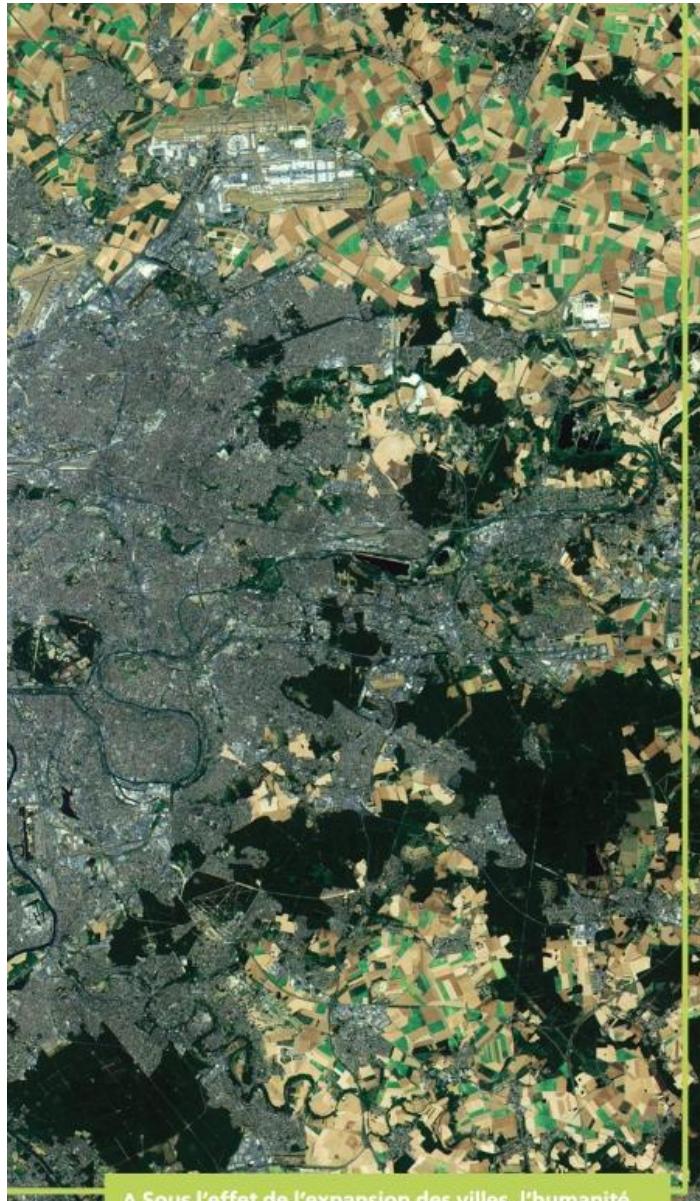
Or, observe Dominique Arrouays, l'un des principaux spécialistes des sols à l'Inra, l'Institut national de recherche agronomique, « les causes de ce plateau sont clairement liées à la détérioration des sols ». Car le sol n'est qu'une couche de terre d'une finesse infinitésimale à l'échelle du globe. Un épiderme planétaire de 60 centimètres en moyenne (de zéro à quelques dizaines de mètres), alors que le diamètre de la Terre dépasse 12 000 kilomètres ! Mais c'est sur cette pellicule précieuse, véritable usine du vivant, que repose toute la biosphère émergée. C'est le sol, et non la roche qu'il recouvre, qui fournit aux plantes les nutriments dont elles ont besoin pour vivre et ensuite nourrir l'infini cycle de la vie. Or, cette strate nourricière, depuis quelques décennies, devient stérile et part en lambeaux. En dépit des mises en garde des scientifiques, qui ont



▲ Le labour déstabilise et expose à l'air libre et au soleil la matière organique, facilitant sa consommation par les bactéries.

même convaincu l'ONU de déclarer 2015 première « année internationale des sols ».

L'agriculture est une des clés de cet inquiétant déclin sur notre planète plus peuplée que jamais. Parce que, telle que nous la pratiquons, elle dégrade rapidement les sols, et ce, par deux mécanismes principaux, étroitement liés : la disparition de la matière organique et l'érosion. Sur 5 milliards d'hectares de terres agricoles dans le monde, 3 millions connaissent une dégradation sévère chaque



À Sous l'effet de l'expansion des villes, l'humanité perd chaque année 20 millions d'hectares de terres agricoles, soit plus que toutes les terres arables de la France. Chez nous, l'imperméabilisation progresse au rythme de 27 m² par seconde, soit l'équivalent d'un département en sept ans ! Or les villes sont traditionnellement fondées sur les meilleurs emplacements agricoles...

année, et 2 à 5 millions sont perdus par érosion. Et 80 % des terres cultivées sont déjà considérées comme partiellement érodées ! « Ces deux phénomènes sont planétaires, et leurs mécanismes biologiques et physiques sont à l'œuvre sous toutes les latitudes et tous les régimes économiques », souligne Jane Rickson, de l'université britannique de Cranfield, auteure en 2015 de l'une des synthèses sur les sols qui fait référence.

Pour comprendre de quoi il s'agit, il faut se représenter le sol comme un édifice poreux sophistiqué, fait de particules minérales de tailles et de nature variables, cimentées entre elles par une sorte de colle hétérogène, la matière organique (le terme désigne tout simplement de la matière vivante, fondée sur le carbone, à tous les stades de décomposition). Dans cet entrelacs de grottes

Terres arables

et de tunnels invisibles à nos yeux circulent des gaz, des liquides, une extraordinaire profusion de microbes, et des myriades d'invertébrés et de racines de toutes tailles.

UN STOCK PASSÉ DE 4 À 1,4 %

« Hélas de nombreuses pratiques agricoles viennent détériorer le sol, explique Dominique Arrouays. Le tout premier problème étant le labour, qui le déstabilise et expose à l'air libre et au rayonnement solaire la matière organique, ce qui facilite sa consommation par les bactéries. Le second problème, c'est l'apport toujours plus faible de matières organiques. On remplace les engrains naturels comme le fumier par des engrains chimiques qui, eux, fournissent des nutriments (azote, potassium, phosphore, etc.), mais pas de matière organique. Et puis, lorsque l'on récolte, on enlève de plus en plus de matière végétale : par exemple, on prend tout le pied de maïs pour le hacher et le donner aux vaches (c'est la technique de l'ensilage), au lieu de ne prendre que le fruit et de laisser le reste. Ou bien, en Afrique, on fait paître les troupeaux sur les résidus de récolte. Au final, le stock de matière organique du sol n'est plus renouvelé et s'épuise. » En France, selon Claude Bourguignon,



Les causes du plateau de fertilité sont liées à la détérioration des sols, dont la matière organique s'épuise

Dominique Arrouays

AGRONOME ET SPÉIALISTE DES SOLS À L'INRA

Terres arables

agronome qui s'est imposé comme l'un des principaux défenseurs des sols, ce taux est passé de 4 à 1,4 % en cinquante ans.

Cette perte de matière organique est doublement périlleuse. *Primo*, elle abaisse la quantité d'eau et de nutriments que le sol peut stocker. Ce sont, en effet, les molécules complexes de la matière organique, produites par le vivant (plutôt que les molécules simples de la matière minérale), qui se lient aux nutriments et à l'eau, un peu à la manière d'éponges, et les maintiennent à disposition des racines. En l'absence de matière organique, l'eau ou les engrains chimiques traversent le sol et sont emportés.

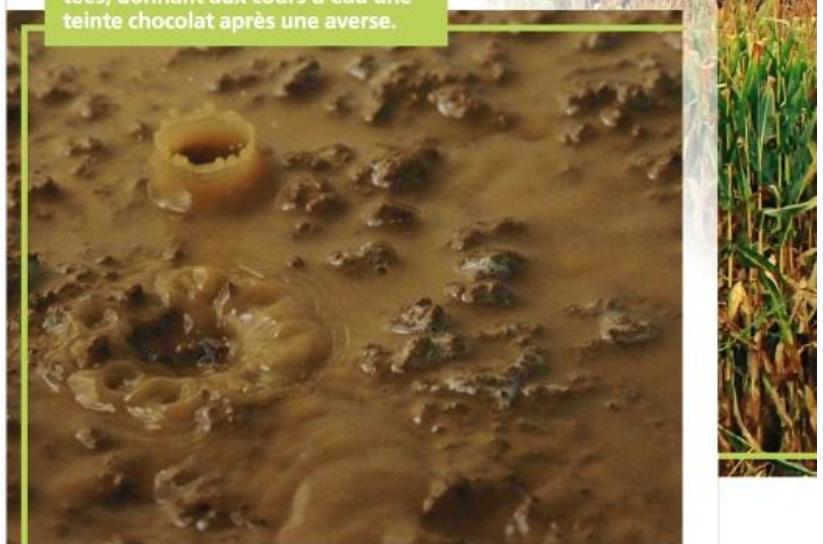
DES SOLUTIONS POURTANT CONNUES

Deuxièmement, la perte de matière organique, qui joue le rôle de ciment, favorise par ailleurs la désagrégation du sol. Sous l'effet de la pluie, du vent et du piétinement, les particules minérales se délitent et sont emportées, donnant après chaque pluie une teinte chocolat au moindre cours d'eau. Et, avec l'érosion, la couche fertile, dont on a vu la minceur, s'amoindrit encore de un à plusieurs centimètres par an. Certains pâturages, transformés en champs dans les années 1970, sont aujourd'hui 1 mètre plus bas que les prairies alentour. Ce qui laisse toujours moins de ressources aux plantes ou aux cultures pour s'épanouir.

Pourtant l'on sait déployer des agricultures capables de préserver et même de restaurer les sols (du moins lorsqu'ils n'ont pas été totalement emportés). Mieux, dans les pays comme le nôtre où l'agriculture a achevé son industrialisation depuis longtemps et d'où l'agriculture de subsistance (c'est-à-dire d'autoconsommation) a à peu près disparu, beaucoup pensent que l'inversion de la tendance est à portée de main, au prix de quelques réglages organisationnels. Comment ? « *Trois mesures simples, souvent regroupées sous le terme*

> Lors des récoltes, la totalité de la matière végétale est prélevée, notamment dans la culture du maïs pour nourrir les vaches. Ce qui prive la terre de matière organique.

V Or, cette matière joue le rôle de ciment: sous l'effet de la pluie, les particules minérales sont emportées, donnant aux cours d'eau une teinte chocolat après une averse.



notamment de ne jamais laisser le sol nu, grâce à des plantes dites de couverture, et d'augmenter les apports organiques. »

L'application de ces mesures élève la quantité de matière organique du sol de quelques dixièmes de pour cent par an. C'est lent, mais cela fonctionne. Et cela ne suppose pas de changements radicaux dans l'organisation ou l'économie de l'agriculture, même si une technicité accrue est nécessaire pour gérer la succession des cultures. L'agriculture de conservation (ainsi baptisée parce qu'elle conserve les sols) a néanmoins un inconvénient : elle recourt aux herbicides et aux pesticides. Parfois plus que son

Pour remonter le taux de matière organique et réduire l'érosion, il faut labourer le moins possible et réalimenter le sol

d'agriculture de conservation, permettent de remonter le taux de matière organique, ce qui à la fois restaure la fertilité et réduit l'érosion, détaille Dominique Arrouays. D'abord, labourer le moins souvent et le moins profondément possible. Ensuite, réalimenter le sol en matière organique par différents moyens, notamment en utilisant les engrains organiques et les résidus de culture. Et, enfin, multiplier les rotations de cultures, qui permettent

homologue traditionnelle. Car l'un des principaux rôles du labour est l'élimination des mauvaises herbes. Alors que laisser une couche de matière végétale en décomposition sur la terre favorise les ravageurs, qu'il faut ensuite contrôler. Aux États-Unis, un tiers environ des terres céréalières ne sont plus labourées, mais c'est au prix d'une consommation d'herbicides vertigineuse, source préoccupante d'apparition de résistances.



L'agriculture biologique, dont l'hostilité à la chimie est un principe fondateur, a du coup tendance à rejeter l'agriculture de conservation et à considérer le labour comme un moindre mal. Elle retourne donc davantage la terre – mais elle compense cela par un apport accru d'engrais, de composts et d'autres matières organiques. « *Au final, juge Claire Chenu, professeure de biophysico-chimie des sols à AgroParisTech, si vous regardez un sol issu du bio et un autre issu de l'agriculture de conservation, on se rend compte que par deux méthodes différentes on arrive à un résultat très proche : ce sont de beaux*

sols structurés et riches en matière organique. » Le bio réclame davantage de main-d'œuvre pour s'occuper des champs, et est donc plus cher, mais il évite le recours à la chimie, dont la toxicité semble de plus en plus établie par la recherche.

Dans les pays développés, la lutte pour la préservation des sols a donc le choix entre deux voies : agriculture de conservation ou agriculture biologique. Et les deux progressent, quoique trop lentement – la résistance au changement reste vigoureuse. Un projet de directive européenne pour la protection des sols a été retiré en 2014 sous la pression des fractions les plus conservatrices du

LA SOLUTION « HORS-SOL » ?

Si les sols deviennent impropre à l'agriculture, ne pourrait-on pas simplement s'en passer ? Environ 10 % de la production alimentaire mondiale est déjà cultivée en hors-sol, mais cela concerne principalement des fruits et légumes destinés aux marchés des pays riches. Le surcoût de production est tel

(construction et entretien des bâtiments, solutions nutritives, fertilisants et pesticides, chauffage) qu'il ne pourrait être supporté pour des aliments bon marché de base, tels que les céréales et les pommes de terre, ni par des acheteurs pauvres.

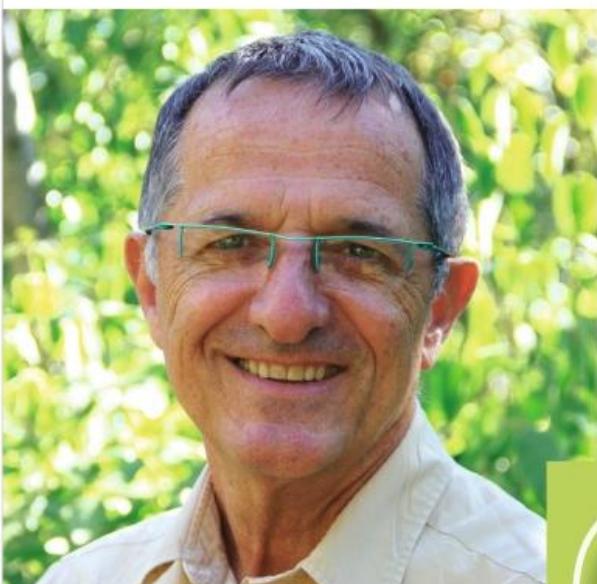
> En France, la culture hors-sol concerne 80 % des exploitations de tomates.



> Alors qu'il a fortement régressé dans toute l'Europe, le bocage – des champs entourés par des haies – présente de nombreux avantages pour les sols. La présence d'arbres et d'arbustes enrichissant le sol et contribuant à sa stabilité.



▲ Pour restaurer la richesse des sols, on intercale aux périodes propices d'autres plantes qui viennent enrichir la terre, comme ici de l'orge dans les vignes après les vendanges. Un engrais écologique.



Il existe des techniques pour reconstituer les sols dégradés, certaines ancestrales, d'autres développées récemment

HERVÉ SAINT MACARY

CHERCHEUR EN AGRONOMIE AU CIRAD



monde agricole ! Mais le problème est identifié par les décideurs, investi par les chercheurs, et finira probablement par être résolu.

UN SOL ABANDONNÉ APRÈS SON ÉROSION

Plus inquiétante est la situation dans les pays du Sud. L'agriculture de subsistance y domine, et les grandes exploitations restent rares. « *Or, les problèmes y sont plus nombreux et complexes* », note Hervé Saint Macary, du Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement). « *D'abord, tout simplement parce que la météorologie est plus intense et agressive : le rayonnement lumineux et la chaleur sont plus importants, ce qui détruit plus vite la matière organique des sols exposés. Et les pluies s'abattent généralement sous forme diluvienne, ce qui peut provoquer une érosion ravageuse.* »

De plus, le régime de propriété des sols est souvent instable dans ces pays. Dans beaucoup de régions de l'Ouest africain, par exemple, le possesseur d'une parcelle est déterminé par un droit coutumier non-écrit, et rien ne garantit à l'exploitant d'un terrain que celui-ci lui appartienne définitivement. Une situation qui ne favorise pas l'investissement dans



▲ Le semis direct (ici, du sorgho) sans labour est une des pratiques de l'agriculture de conservation qui vise à préserver la richesse des sols.

Sahel et le Sertão brésilien, par exemple) sont particulièrement vulnérables, car exploitées de façon trop intensive. « *La compétition pour une matière végétale rare est intense dans ces régions où la population augmente* », rappelle Claire Chenu. Mais, on l'a vu, pour conserver au sol son taux de matière organique, il faut laisser se décomposer des résidus végétaux à sa surface, qui seront peu à peu incorporés par l'action de la faune du sol. « *Or, toute plante, tout arbuste et tout reste de récolte sont considérés comme un fourrage potentiel pour le bétail*, relève la chercheuse. Même les déjections des ruminants, le fertilisant le plus traditionnel, sont parfois utilisées comme combustible ! » Dans ces conditions, la matière organique du sol – rapidement consommée par les récoltes successives – ne se renouvelle plus ; et très rapidement l'érosion emporte la maigre terre qui restait, laissant la roche – stérile – à nu.

« *Il existe cependant des techniques pour reconstruire ces sols dégradés, certaines ancestrales, d'autres développées récemment* », souligne Hervé Saint Macary. Toutes reposent sur l'augmentation

le sol et dans sa protection, voire incite à le considérer comme une ressource à consommer. « *Cette logique se retrouve dans des pays très différents*, précise l'agronome, comme le Brésil ou l'Indonésie, qui ont passé des lois attribuant des titres de propriété à ceux qui défrichent la forêt. Créant une incitation à abandonner le sol lorsqu'il est épuisé et érodé pour s'occuper d'une nouvelle parcelle. »

Et puis il y a les limites naturelles de la productivité biologique, que l'on ne transgresse pas sans appauvrir le sol. En zone tropicale, les vastes bandes semi-arides qui bordent la région équatoriale (comme le

SOLS ET CLIMAT: L'INITIATIVE « 4 POUR 1000 »

Une initiative issue de plusieurs organismes de recherche français (Inra, Cirad, IRD) et internationaux (consortium CGIAR) a été proposée à la COP21 par le ministre de l'Agriculture français, Stéphane Le Foll. Son but ? Restaurer les sols en augmentant

la matière organique qu'ils contiennent... dans une perspective climatique. La matière organique est en effet issue de plantes, donc principalement constituée de carbone qui provient de l'atmosphère. Cette initiative a été baptisée « 4 pour 1000 »,

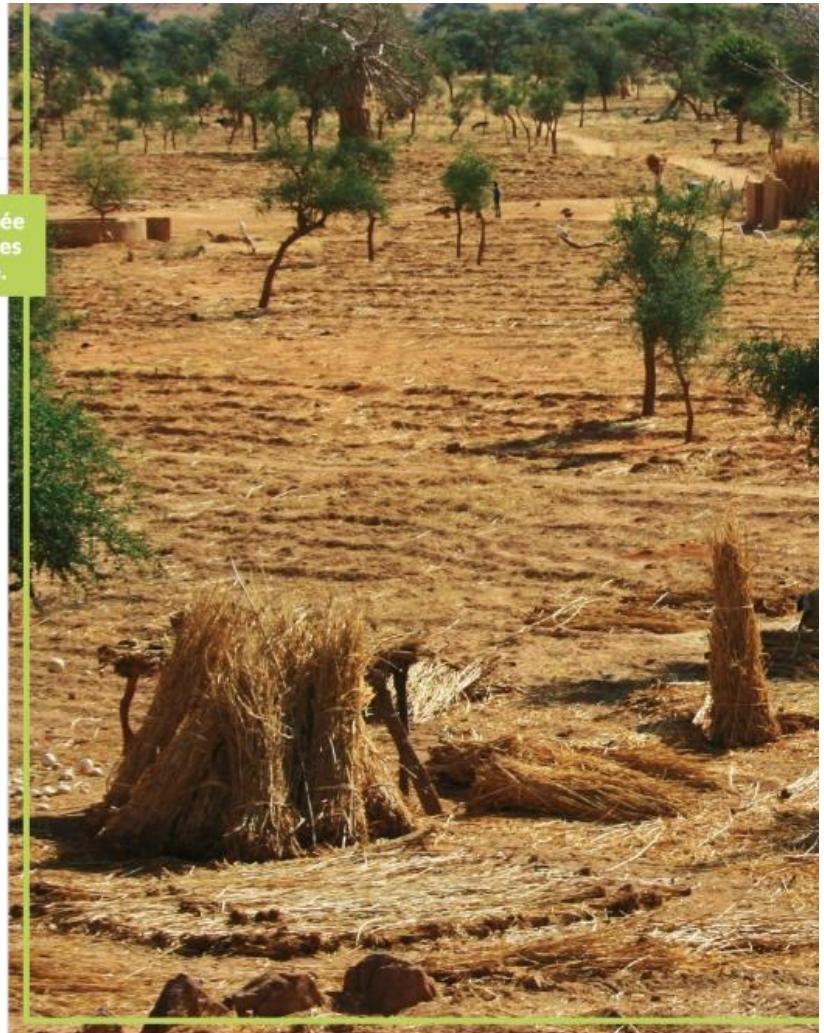
car les calculs montrent que l'ensemble des émissions annuelles de CO₂ de l'humanité ne représente que 0,4 % du carbone stocké dans les sols chaque année. Augmenter de quelques pour cent la quantité de matière organique

présente dans les sols agricoles, ce que l'on sait faire, réduirait donc significativement la quantité de CO₂ que nous rejetons dans l'atmosphère ! Une manière de réduire les émissions qui contribuerait, en outre, à la fertilité globale.

> Sous les tropiques, la moindre ressource est utilisée par les agriculteurs, notamment pour le pâturage des animaux, ce qui prive la terre de matière organique.

des résidus végétaux et organiques que l'on laisse se décomposer, et supposent souvent d'exclure les animaux des parcelles – ce qui a un coût, en clôtures ou en surveillance (les déjections des animaux que l'on fait paître sur les parcelles apportent certes de la matière organique, mais en quantité insuffisante). L'on peut, en outre, entourer (ou même peupler) les champs avec des arbres, vieille stratégie nommée agroforesterie. Les feuilles et résidus de branches de ces arbres viennent alors enrichir le sol. Enfin, et surtout, il faut trouver et appliquer de l'engrais, chimique si nécessaire, pour augmenter la quantité de végétation produite par chaque parcelle. Ce qui permettra de laisser une partie de cette végétation sur place, et ainsi de réenclencher un processus vertueux de reconstitution. Mais toutes ces mesures nécessitent des investissements (outils, engrais, formation...), de l'encadrement technique, des services de support comme des prévisions météo, etc. Bref, un défi complexe.

En parallèle à cette dégradation générale des terres sous l'effet d'une agriculture de subsistance sous tension, des exploitations géantes, pilotées de l'étranger et relevant de la logique de plantation, se développent dans les pays du Sud. Un mouvement que les autorités favorisent souvent. Ancien, le phénomène semble s'accélérer, notamment sous l'impulsion de capitaux asiatiques – depuis l'an 2000, une vingtaine de millions



d'hectares auraient changé de main, principalement en Afrique. Une évolution dont les effets sur les sols sont controversés.

« J'ai souvent entendu que ces sociétés avaient une démarche de type "minier" », raconte Jane Rickson, autrement dit qu'elles exploitaient un site le plus intensément possible avant de passer à un autre. « Mais, personnellement, j'ai observé

PRÉSERVER LES SOLS TROPICAUX MALGRÉ LE RÉCHAUFFEMENT

Les sols tropicaux sont exposés à un climat bien plus agressif que ceux des régions tempérées, et le réchauffement global aggrave les choses. Mais de nombreuses initiatives aident les agriculteurs à s'adapter. Au Sénégal, par exemple, le programme de recherche CCAFS (Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire) s'efforce entre autres d'offrir aux paysans un accès à des prévisions

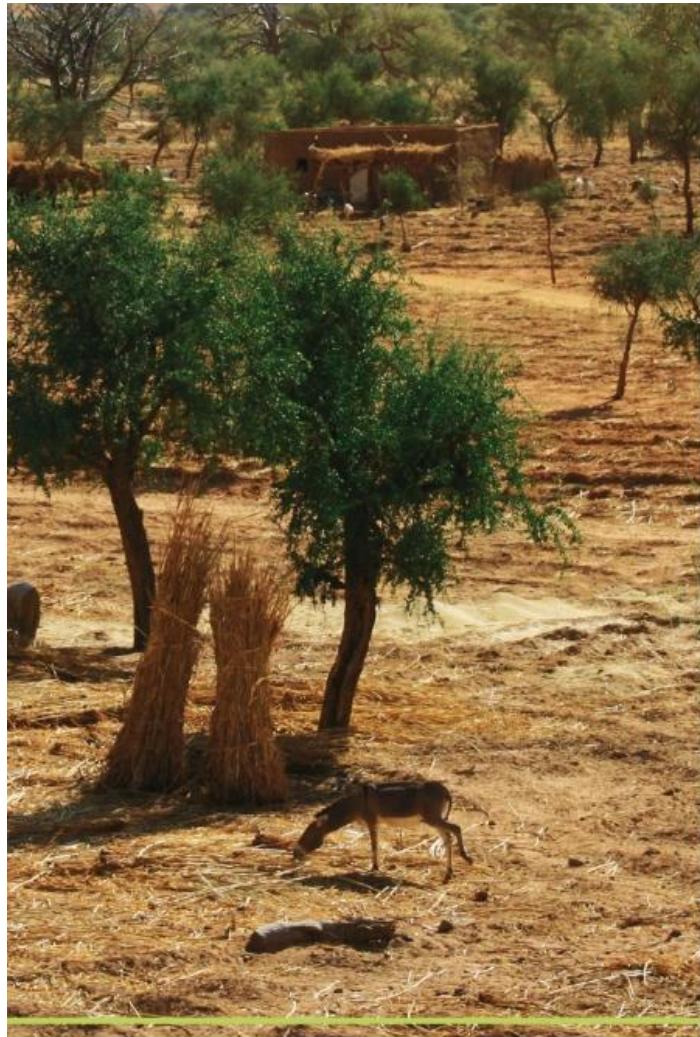
météorologiques exploitables et de qualité. « Dans cette région où la saison des pluies est courte (quatre mois) et violente, il est important de planter, récolter, fertiliser et désherber au bon moment, observe l'agronome Robert Zougmoré, qui dirige le CCAFS sur l'Afrique de l'Ouest. Si l'on plante avant que la pluie ne soit installée, on perd son semis ; à l'inverse, si l'on récolte avant la fin de la pluie, la récolte pourrit.

Nous développons un système de prévisions météo par SMS et radio locale pour informer les paysans. » Avec de meilleures récoltes, il devient plus facile de produire du compost pour éléver la matière organique du sol. Par ailleurs, note le chercheur, pour empêcher que les sols ne soient emportés par la pluie, l'installation de murets ou de barrages végétaux freine l'eau et réduit l'érosion. « Même lorsque le sol a disparu, on peut creuser

des trous dans le sous-sol, les remplir de compost, et y planter, selon une technique ancestrale de reconquête des zones désertifiées qui s'appelle le "zai" », explique Robert Zougmoré. La plante se nourrit du compost et envoie des racines dans la roche avoisinante, commence à l'ameublir et, en quelques années, un sol réapparaît.

> Le zai concentre l'eau et le compost dans des trous où il devient possible de cultiver.





l'inverse : sur toutes les exploitations géantes où je me suis rendue, le sol était soigneusement pris en compte. » Ce qui paraît logique : fruit d'une dépense considérable, l'achat de terres par ces grands investisseurs est censé rapporter un profit optimisé et durable. Hervé Saint Macary n'en disconviennent pas, mais, au nom de l'attention au développement qui fait l'identité du Cirad, il



Les sols jouent aussi un rôle clé pour la prévention des inondations et la préservation de la biodiversité.

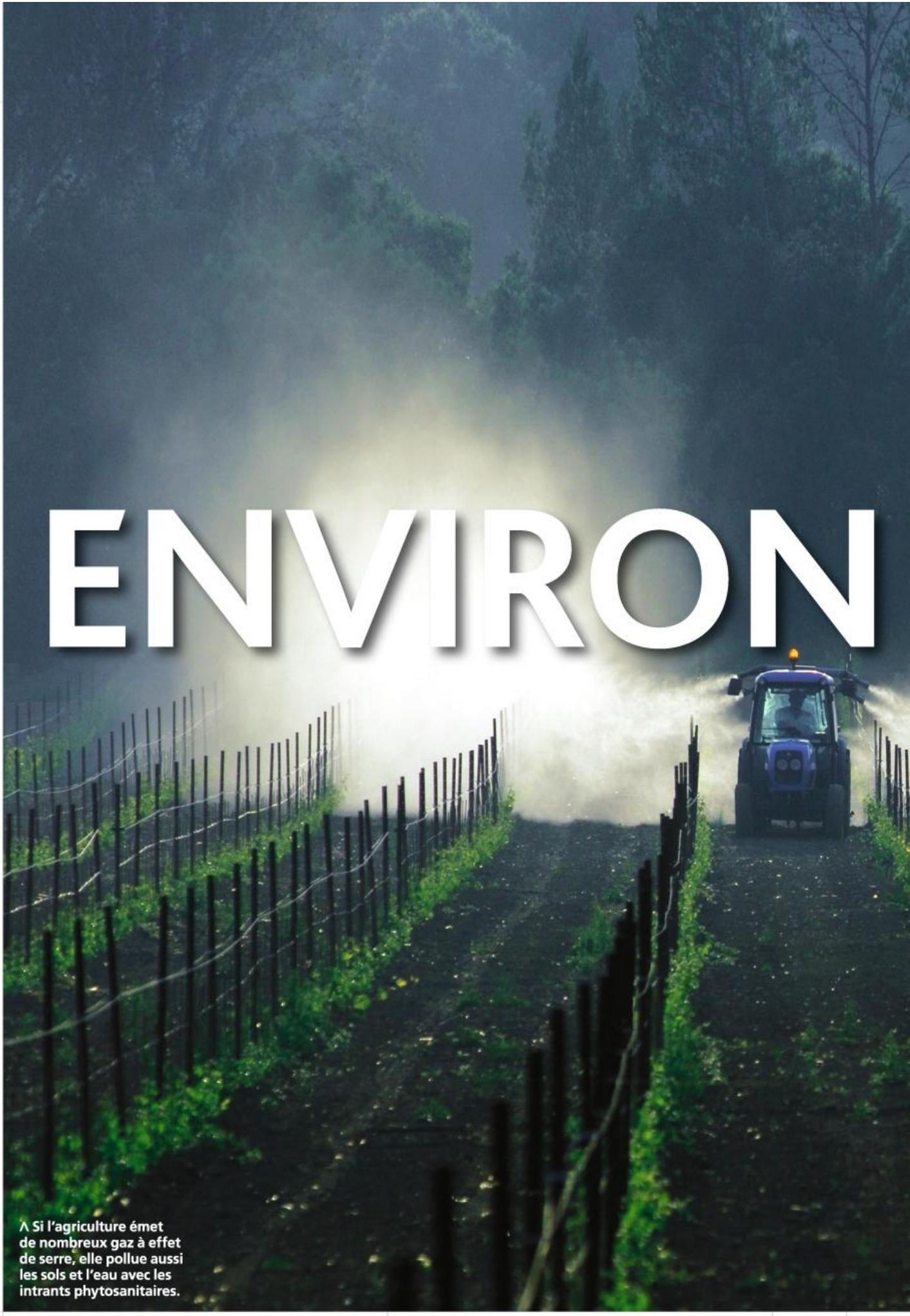
JANE RICKSON

SPÉIALISTE DES SOLS À L'UNIVERSITÉ DE CRANFIELD (GB)

s'interroge sur les conséquences sociales de ce modèle. « Veut-on envoyer des dizaines de millions d'agriculteurs pauvres expropriés grossir les bidonvilles des mégapoles du Sud ? Veut-on qu'au lieu de produire leur nourriture ils l'achètent sur le marché mondial, au prix le plus bas possible, compte tenu de la pauvreté dans laquelle ils seront ? Cela contribuerait à réduire considérablement la diversité des cultures, à tirer vers le bas la qualité de la production agricole, et aurait des conséquences dommageables multiples. Mieux vaut travailler à rendre soutenable l'agriculture familiale. »

Au final, quels que soient les choix sociaux qui seront faits, agriculture de conservation ou biologique, familiale ou mondialisée, la restauration du contenu en matière organique des sols s'impose comme un objectif mondial essentiel, à la fois pour accroître leur fertilité et pour réduire leur érosion. « Si cet objectif est central pour l'agriculture, conclut Jane Rickson, il va bien au-delà. Les sols jouent d'autres rôles clés, tous dépendants de la matière organique : ils stockent l'eau et préviennent les inondations, par exemple. Ils filtrent les polluants, préservant ainsi les nappes. Ils hébergent toute une biodiversité précieuse, et ils stockent une énorme quantité de carbone qui permet de limiter le réchauffement climatique... »

ENVIRON



R. DOMERGUE/BIOS

▲ Si l'agriculture émet de nombreux gaz à effet de serre, elle pollue aussi les sols et l'eau avec les intrants phytosanitaires.

NEMENT

Diminuer l'empreinte écologique

Devenue intensive pour nourrir une planète toujours plus peuplée, l'agriculture dégrade fortement l'environnement. Une situation à laquelle elle doit désormais remédier, pour éviter d'en être elle-même victime...

PAR PIERRE-YVES BOCQUET

RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DANS L'ATMOSPHÈRE

C'est un paradoxe, et pas des moindres: l'agriculture participe largement au réchauffement climatique... dont elle risque pourtant de devenir l'une des premières victimes (lire p. 46). Selon les estimations du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), l'agriculture et la foresterie sont à l'origine de près du quart des émissions anthropiques (liées aux activités humaines) mondiales de gaz à effet de serre. « *Une grande partie de la déforestation est motivée par l'extension des terres agricoles* », détaille Anne Mottet, chargée de la politique d'élevage à la FAO, l'organisation des Nations unies pour l'alimentation

de biomasse cellulosique (de l'herbe en saison, du foin l'hiver). Mais leur rumination s'accompagne d'importantes émanations de méthane (dit entérique) par voie orale. Ce qui explique que l'élevage de ruminants soit beaucoup plus nocif pour le climat que celui de porcs ou de volailles.

MÉTHANE, AMMONIAC...

L'impact de la rumination est d'autant plus critique que le méthane présente un potentiel de réchauffement global environ 25 fois supérieur à celui du CO₂. Ce gaz est aussi émis lors du processus de décomposition des excréments, en milieu anaérobie, lorsque du fumier ou du lisier est stocké

> Les ruminants sont à l'origine d'importantes émanations de méthane. Un gaz au potentiel de réchauffement global 25 fois supérieur à celui du CO₂.

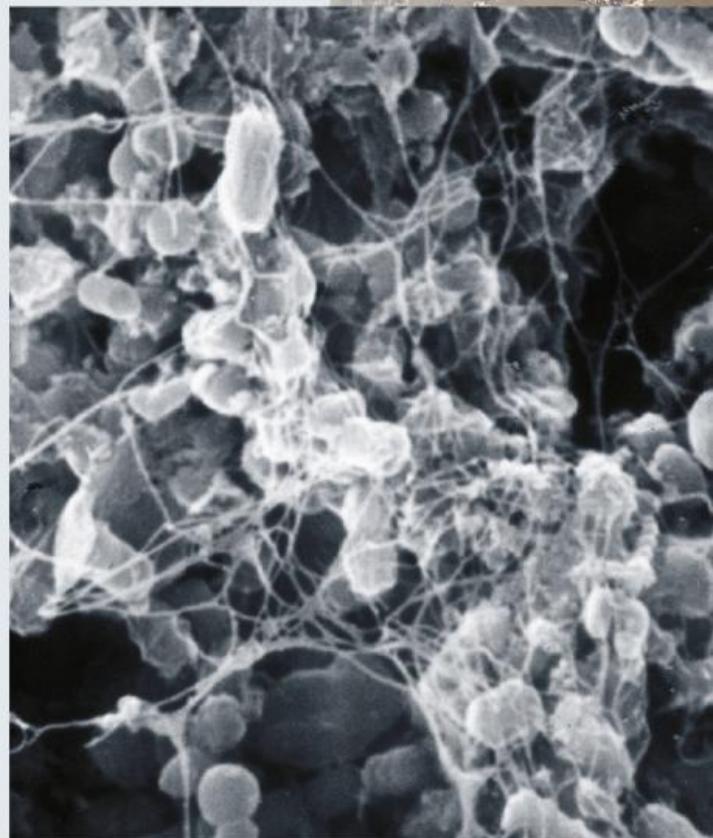
▼ Des études ont montré qu'en modifiant l'alimentation et la flore microbienne (photo) des bêtes, on peut réduire ces émanations.



L'agriculture et la foresterie sont à l'origine de près du quart des émissions anthropiques mondiales de gaz à effet de serre

et l'agriculture. À lui seul, l'élevage « représente une part de 14,5 % des émissions ». Un chiffre qui inclut les émissions directes de chaque exploitation, mais aussi celles liées à la fabrication des matières premières, au transport, à la production et à la consommation d'énergie. Principaux responsables de ces rejets: les troupeaux de ruminants élevés pour leur viande et leur lait: bœufs, vaches laitières, moutons, chèvres... Ces animaux sont en effet dotés d'un système digestif particulier leur permettant de se nourrir

dans des cuves avant l'épandage automnal, par exemple. Au total, le méthane représente près de la moitié (44 %) des émissions globales de l'élevage. Cette activité émet également du CO₂ (27 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur), issu de l'utilisation de combustibles fossiles pour la fabrication d'engrais destinés à la production d'aliments du bétail et de la consommation d'énergie. Enfin, les activités agricoles sont à l'origine d'émanations d'ammoniac contenu dans ces mêmes effluents (lisiers



et fumiers), libérées lorsque ces derniers sont épandus sur les terres pour servir d'engrais. En présence d'ozone atmosphérique, une partie de cet ammoniac (NH₃) se transforme en protoxyde d'azote (N₂O), un gaz dont le potentiel de réchauffement est 300 fois supérieur à celui du CO₂ et qui représente près de 30 % des émissions de gaz à effet de serre de l'élevage.

Cet ammoniac est également à l'origine du principal impact de l'agriculture sur la qualité de l'air, car il contribue à l'acidification des pluies via la formation d'acide nitrique.

ENDIGUER À LA SOURCE

Depuis quelques années, une parade commence à voir le jour: un nouveau type d'épandage qui évite les projections de lisier

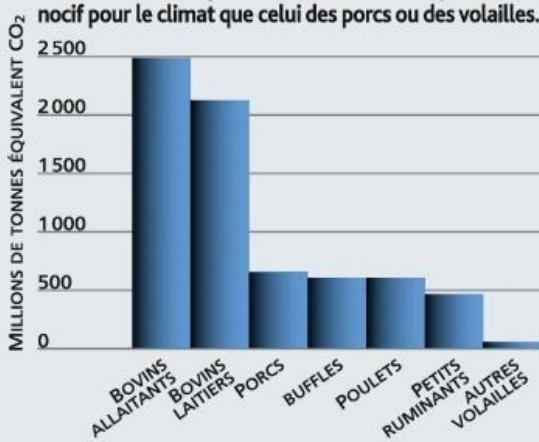


dans l'air. « L'épandage par enfouissement, avec une griffe qui gratte le sol et un tube juste derrière qui injecte le lisier dans le sol, permet d'éliminer la quasi-totalité des émissions d'ammoniac dans l'air », décrit Patrick Dabert, responsable de l'équipe Procédés de valorisation agronomique et énergétique des déchets organiques à l'IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture).

Pour le méthane, le premier levier consiste à endiguer la formation de gaz à la source : dans l'estomac des ruminants. Des études ont montré que la composition de l'alimentation des bovins peut influer sur les quantités de méthane rejetées par éruption. Une ration enrichie de 3,5 % de lipides insaturés entraînerait ainsi une réduction de 14 % des émissions de méthane entérique, selon l'Ademe. Autre piste : modifier

LES ÉMISSIONS DE GAZ PAR ESPÈCE

Du fait de leur système digestif particulier, les ruminants émettent beaucoup de méthane. Leur élevage est ainsi plus nocif pour le climat que celui des porcs ou des volailles.

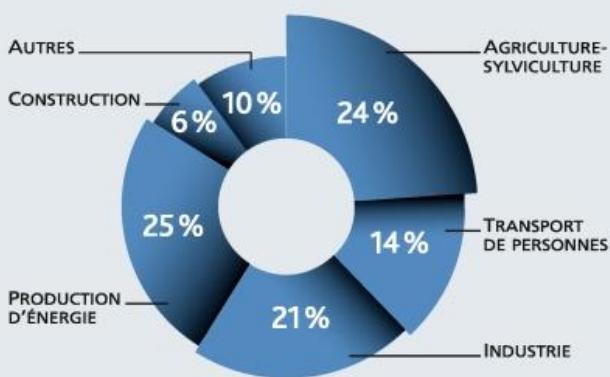


SOURCE : FAO, GLEAM, 2014



LES ÉMISSIONS DE GAZ PAR SECTEUR

L'agriculture participe largement au réchauffement climatique. Selon les données du Giec, l'agriculture et la foresterie sont à l'origine de près du quart des émissions anthropiques (liées aux activités humaines) mondiales de gaz à effet de serre. À lui seul, l'élevage représente une part de 14,5 % des émissions. Un chiffre qui englobe les émanations directes et indirectes. Car si l'on ne considère que les émissions directes (méthane entérique et effluents), l'élevage ne concourt alors qu'à hauteur de 5 % environ des émissions mondiales.



la flore microbienne des animaux afin qu'elle soit moins méthanogène. « *Il y a des travaux intéressants sur des compléments alimentaires qui modifient la flore microbienne du rumen [l'un des estomacs des ruminants], avec des baisses sensibles des émissions de méthane. Mais il faut encore tester la qualité de la viande et du lait avant de déployer ce type de solution* », note Thierry Geslain, directeur scientifique au Cnial (Centre national interprofessionnel de l'économie laitière). « *D'autres leviers d'amélioration consistent à travailler sur la productivité du troupeau : remplacer les bêtes*

âgées, abaisser l'âge du premier vêlage de 36 à 24 mois », précise-t-il. En moyenne, une exploitation émet 1 kg de CO₂ par kilo de lait produit. « *Abaissé l'âge du premier vêlage [et donc le début de la production de lait] de 12 mois permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'environ 6 à 7 %* », estime Jean-Baptiste Dollé, chef du service environnement à l'Institut de l'élevage.

OBJECTIF : -20 %

En France, le programme Carbon Dairy (ferme laitière bas carbone) lancé en 2015 vise à sensibiliser les producteurs de lait en les aidant à faire le diagnostic



▲ Lorsqu'ils sont stockés puis épandus en pleins champs, lisiers et fumiers génèrent des émanations de méthane et d'ammoniac. Or la méthanisation permet, grâce à des bactéries, de tirer de ces déchets du biogaz, qui peut être utilisé ou revendu comme source d'énergie.

organique (le digestat). « L'agriculture et la sylviculture produisent près de 374 millions de tonnes de déchets organiques, dont près de 300 millions de tonnes d'effluents d'élevage.

En France, la méthanisation se développe à peine, avec seulement 200 installations, contre 7000 en Allemagne

On appelle ça des déchets, mais ils sont riches en azote, en carbone et en phosphore et peuvent être utilisés comme engrais ou valorisés », observe Patrick Dabert. Chaque litre de lisier peut ainsi produire de 10 à 15 m³ de biogaz.

Ce dernier peut ensuite être soit brûlé pour produire de la chaleur ou de l'électricité pour l'exploitation, soit revendu à un opérateur de gaz, soit utilisé comme biocarburant après un traitement supplémentaire. En France, la méthanisation commence tout juste à se développer : on y dénombre 200 installations seulement, contre près de 7000 en Allemagne. Principal frein : le coût. Chaque installation nécessite un investissement de 1 à 3 millions d'euros, pour une rentabilité qui n'est atteinte

d'environ un cinquième des émissions anthropiques de ce gaz. Ces émissions sont dues à la décomposition de matière organique (racines, chaumes de riz, etc.) par des bactéries anaérobies dans les sols inondés des rizières. Des recherches ont montré que le drainage intermittent (une à deux fois au cours d'un cycle de culture) permet de stopper l'activité de ces bactéries et de réduire de 80 % ces émissions de méthane. Pour l'instant, la capacité des végétaux à engranger du carbone, via la photosynthèse, n'est pas prise en compte dans le calcul de l'empreinte carbone de l'agriculture.

PIÉGER LE CARBONE

« En Europe, les prairies permettent de stocker en moyenne 760 kg de carbone par hectare et par an », souligne Jean-Baptiste Dollé. Quelques pratiques simples permettraient ainsi d'optimiser le stockage de carbone dans le sol. Comme l'agriculture sans labour, qui se traduit par la séquestration de 0,1 à 1 tonne de carbone par hectare et par an. La filière agricole milite d'ailleurs pour que les agriculteurs puissent valoriser le CO₂ évité sur le marché mondial des échanges de quotas, au même titre que les industries de production d'énergie ou que l'aviation. Ainsi, un éleveur pourrait revendre à un industriel le droit d'émettre la quantité de CO₂ qu'il a séquestrée, et trouver là une motivation supplémentaire pour faire des efforts.



de leurs émissions. « Quatre mille éleveurs ont déjà été conseillés en France, l'objectif étant de réduire les émissions de carbone des 65 000 élevages français de 20 % sur dix ans », résume Thierry Geslain.

Il existe également des solutions, comme la méthanisation, destinées à limiter les émissions de méthane non entérique, liées à la décomposition des effluents d'élevage. Ce procédé consiste à introduire les lisiers et autres déchets organiques dans une cuve dans laquelle ils sont dégradés par des bactéries pour produire du méthane, du CO₂ et des résidus de matière

que grâce aux subventions publiques (à hauteur de près de 40 % de l'investissement global). Au-delà du bétail, la riziculture pour l'alimentation humaine est l'autre principale source agricole de méthane, avec un poids relatif

LIMITER LA POLLUTION DES SOLS ET DES EAUX

La dégradation des sols (voir p. 24) oblige les agriculteurs à consommer de plus en plus d'engrais et de fertilisants, qui s'ajoutent à d'autres produits phytosanitaires (pesticides, herbicides, etc.). Certaines cultures, comme la vigne, sont particulièrement dépendantes de ces produits de synthèse : « *En France, la viticulture ne représente que 4 % de la surface agricole utile, mais elle emploie 20 % de la quantité des produits phytosanitaires utilisés, dont 80 % de fongicides* », souligne Bernadette Ruelle, directrice adjointe de l'unité Information, technologies, analyse environnementale, procédés agricoles à l'Irstea. Or, les sols souffrent aussi de la pollution due à l'excès d'intrants phytosanitaires, qui se répercute logiquement sur la qualité des eaux de surface et souterraines. Ce mécanisme peut entraîner une pollution de l'eau par des molécules chimiques ou une surcharge d'éléments nutritifs (l'eutrophisation) dans les lacs, les réservoirs et les mares.

L'agroécologie (utiliser moins de produits chimiques et davantage de régulations naturelles) est en essor dans les pays développés

Ce trop-plein de nutriments peut s'accompagner d'une prolifération d'algues, comme sur les côtes bretonnes. « *Selon EauFrance, en 2011, on trouvait des pesticides dans 93 % des 2 360 stations de sur-*

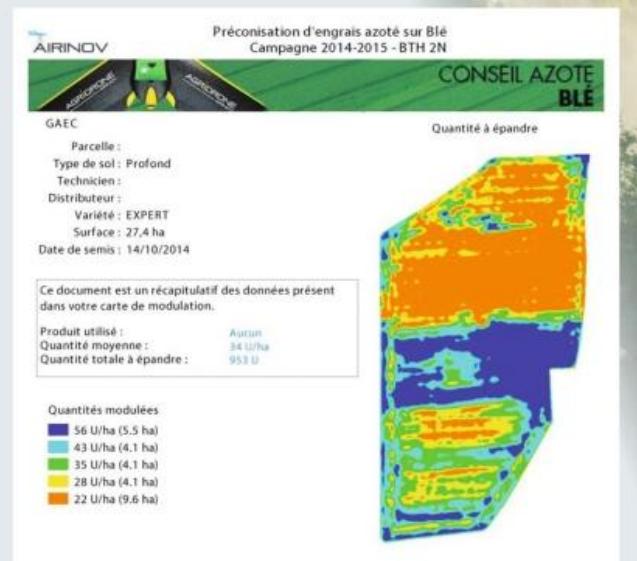
veillance des eaux de surface qui couvrent le territoire ; 70 % de ces points de mesure contaminés affichaient une concentration inférieure à 0,5 µg/L [niveau ne devant pas être dépassé pour la consommation humaine], et 30 %, une concentration comprise entre 0,5 et 5 µg/L. Les teneurs les plus fortes concernent les régions céréalières, de maïsiculture et de viticulture, détaille Bernadette Ruelle. Un peu protégées par leur profondeur, les eaux souterraines ne sont touchées qu'à 63 %. »

DES PESTICIDES TOXIQUES
Cette pollution des sols et des eaux représente un double défi majeur pour l'agriculture, car elle s'accompagne d'effets sensibles sur la santé humaine (lire p. 82) et sur la biodiversité (lire p. 56). Des pesticides reconnus comme cancérogènes (comme le DDT) ou perturbateurs endocriniens (tels le chlordécone, utilisé dans les bananeraies aux Antilles) ont été interdits dans la plupart des pays. Pour les autres produits,

il s'agit d'opter pour des pratiques plus raisonnées. Adoptée en Europe en 1991, la directive Nitrates avait déjà pour objectif de limiter le recours aux produits de synthèse. Mais les habitudes prises après des an-

> En France, la viticulture est particulièrement gourmande en produits de synthèse : elle absorbe à elle seule 20 % des produits phytosanitaires utilisés.

▼ Désormais, les agriculteurs disposent d'outils high-tech pour ajuster finement l'apport d'intrants aux besoins des sols.



nées d'agriculture intensive sont difficiles à perdre. En France, le plan Écophyto lancé en 2008 tablait sur une réduction de moitié de l'utilisation de produits phytosanitaires en dix ans. Mais cet objectif a été repoussé à 2025. « *La transition est difficile, on ne passe pas d'un coup d'une agriculture très intensive, à grands coups d'intrants, à une production plus vertueuse, explique Bernadette Ruelle. D'autant qu'il n'y a pas d'alternative miracle.* » « *Beaucoup de progrès sont encore possibles* », juge Anne Mottet, de la FAO, plaident pour un « *transfert de bonnes pratiques et de*



technologies », notamment en Asie et en Afrique. « *Nous travaillons sur l'optimisation de la quantité produite par rapport à la quantité d'intrants utilisée. Il faut réussir à produire plus avec peu.* » Première piste : améliorer l'existant. « *Dans le cadre des projets que nous menons aux niveaux national et européen, nous avons commencé un gros travail de recensement et de qualification des pulvérisateurs présents sur le marché, afin de référencer ceux qui permettent d'optimiser la quantité de produits*



utilisés, avec des gains potentiels de 30 % environ sur les quantités pulvérisées », observe Bernadette Ruelle. Pour compenser la baisse d'intrants de synthèse, « on assiste depuis 2010 dans les pays industrialisés à un essor de l'agroécologie : utiliser moins de produits chimiques et avoir davantage recours aux régulations naturelles, en revenant aux bases de l'agronomie », note Jean-François Soussana, directeur scientifique à l'Inra. Plutôt que la monoculture intensive, on peut planter en al-

ternance des légumineuses, qui fixent l'azote dans le sol, et ainsi limiter les besoins en fertilisants chimiques. « Le mélange de plusieurs génotypes permet aussi d'endiguer la propagation de maladies », poursuit-il.

DE PRÉCIEUX INSECTES

De même, la plantation de haies peut servir d'habitat à des coléoptères qui mangent les mauvaises herbes et certains parasites ravageurs, ou aux trichogrammes, dont les larves se nourrissent des œufs

de la pyrale du maïs, un papillon ravageur. Ces auxiliaires commencent à faire l'objet d'élevages, mais affichent un coût élevé. « Si leur diffusion se développe, cela stimulera la recherche et fera baisser les coûts », estime Bernadette Ruelle. « La réduction des intrants de synthèse passe en général par une période de transition complexe et par une baisse des rendements. Comme en agriculture biologique, où ils sont inférieurs de 20 % en moyenne, mais où on gagne sur les coûts des achats

de pesticides », rassure Jean-François Soussana. Outre ces méthodes, les agriculteurs disposent désormais d'outils high-tech pour limiter les apports. Comme des applications sur smartphone basées sur la reconnaissance d'image qui permettent de diagnostiquer plus rapidement la maladie et de définir des mesures adaptées. L'agriculture de précision utilise par ailleurs les images satellite pour moduler les apports d'engrais ou de pesticides en fonction des besoins.

MIEUX UTILISER LA RESSOURCE EN EAU

Indispensable à la vie animale et végétale, l'eau est la principale ressource consommée par l'agriculture : environ 70 % de l'or bleu mobilisé par l'homme au niveau mondial lui est destiné. En Asie, tournée vers la riziculture, cette part monte même à 80 % ! « *Cette moyenne cache d'énormes disparités selon les régions du monde, nuance Patrice Garin, chercheur à l'unité Gestion de l'eau, acteurs et usages. En Europe et dans les pays du Nord, jusqu'en Russie, il y a peu de tension sur la ressource en eau.*

Contrairement au Maghreb ou à la Californie, régulièrement touchés par des sécheresses. »

La ressource en eau est un enjeu majeur pour l'agriculture. Or, l'irrigation est souvent réalisée de façon non-durable. « *Des réserves d'eau souterraine s'épuisent en Chine, en Inde, en Afrique ainsi qu'aux États-Unis et en Europe du Sud, ce qui signifie que, d'ici quelques dizaines d'années, ces ressources ne seront plus disponibles* », alerte Harold Mathijs Van Es, chercheur en gestion du sol et de l'eau à l'université Cornell (New York). « *Les surfaces irriguées ne représentent que 17 % des surfaces agricoles mondiales, mais 40 % de la production alimentaire. Il existe aussi un véritable enjeu de sécurité alimentaire autour de cette question* », poursuit Bruno Molle, responsable de la plate-forme de recherche

et d'expérimentation en sciences et technologies pour l'irrigation. Cette eau est utilisée à plus de 95 % pour faire pousser la nourriture du bétail. Cela représente des volumes considérables : près de un tiers des céréales produites au niveau mondial sont destinées à l'alimentation animale. Résultat : selon le Water Footprint Network, spécialisé dans la mesure de l'empreinte « eau » des activités humaines, il faut mobiliser pas moins de 15 000 litres d'eau pour produire un kilo de viande de bœuf ! « *Le*

> La riziculture (ici, en Chine) monopolise beaucoup d'eau. Aussi, des recherches visent à développer une production à sec, comme pour une céréale classique.

la consommation carnée a plutôt tendance à croître », prévient Patrice Garin. Alors comment produire plus de viande tout en prélevant moins d'eau ? Première piste : sélectionner des plantes plus sobres, ou à la croissance plus rapide, et choisir les variétés les moins gourmandes : « *Depuis vingt ans, la sélection variétale a déjà permis d'économiser de 10 à 20 % d'eau.*

Le génie génétique permet de modifier des morceaux de gènes afin de favoriser les mécanismes de résistance à la sécheresse

problème, c'est qu'ils compabilisent l'eau verte, c'est-à-dire la pluie qui tombe sur les prairies, ce qui fausse le calcul, relativise Jean-Baptiste Dollé, de l'Institut de l'élevage. Selon nos estimations, il faut en moyenne entre 60 et 70 litres d'eau pour produire un kilo de viande bovine en France. »

PRÉLEVER MOINS D'EAU
Au-delà de cette bataille de chiffres, une chose est sûre : il faudra faire des efforts, car la demande en viande est vouée à exploser. « *Si les habitudes alimentaires évoluaient vers des régimes comportant moins de viande, on aurait forcément moins besoin d'irriguer. Or, dans les pays émergents,*

Mais ce potentiel atteindra ses limites d'ici une dizaine d'années », alerte Patrice Garin. « *Avec le génie génétique, on arrive à modifier des morceaux de gènes afin de favoriser les mécanismes de résistance à la sécheresse. On peut ainsi gagner un ou deux passages d'irrigation, soit 20 à 30 % d'eau* », calcule Bruno Molle. Les OGM (interdits en Europe, mais autorisés en Amérique du Sud et du Nord notamment), dont le principe est d'introduire dans le génome d'une plante un gène qui est étranger à son espèce, permettraient-ils d'aller plus loin ? Pas sûr : « *Le potentiel des OGM reste à démontrer. Leur efficacité n'est pas*



encore clairement établie », estime Patrice Garin.

Un avis confirmé par Jean-François Soussana, de l'Inra. « *Je n'ai pas en tête d'exemple d'OGM ayant amélioré drastiquement l'impact de l'agriculture sur l'environnement.* »

Autre solution : rendre l'irrigation plus efficace. « *Aujourd'hui, en moyenne dans le monde, il faut transporter deux litres d'eau pour que la plante en consomme un*, résume Bruno Molle. *L'irrigation gravitaire gâche beaucoup d'eau, mais re-*



présente 80 % des surfaces irriguées au niveau mondial.

Des travaux de recherche visent à développer la culture de riz à sec, comme une céréale classique, sans avoir à inonder les parcelles. »

Autre piste : optimiser l'arrosage des cultures. En remplaçant, quand c'est possible, les arroseurs à pivot par du goutte-à-goutte : des tuyaux percés de microcanaux

> Depuis vingt ans, la sélection variétale (ici, au PhenoArch, à Montpellier) a déjà permis d'économiser de 10 à 20 % d'eau.





À cause du vent et de l'évaporation, l'arrosage par aspersion gâche beaucoup d'eau, avec des pertes allant de 10 à 25 %.

Le goutte-à-goutte restreint fortement l'impact du vent et de l'évaporation. Mais il représente un investissement important.



serpentant au pied des plantes. Ce type de dispositif permet d'éviter d'arroser les zones dans lesquelles on ne fait rien pousser et de réduire l'impact du vent et de l'évaporation, qui peuvent entraîner des pertes de 10 à 25 % pour l'aspersion. Problème : si le goutte-à-goutte s'avère bien adapté aux cultures pérennes comme la vigne ou les arbres fruitiers, il reste

enterrer les tuyaux moins profondément et optimiser encore l'apport en eau. » Si des dépôts de minéraux et des bactéries peuvent boucher les microcanaux, « des recherches en mécanique des fluides visent à créer des turbulences à l'intérieur des tuyaux pour limiter ce problème », indique Bruno Molle. Autre inconvénient : l'investissement est de 2 à 3 fois

souligne Bruno Molle. Ce qui limitera ensuite les besoins en eau, car une terre fertile retient mieux l'humidité. L'agriculture profite également des progrès en imagerie. D'ici la mi-2016, le programme européen de satellite Sentinel permettra de surveiller les terres émergées tous les cinq jours avec une résolution de 5 à 10 mètres. Et d'évaluer ainsi finement la pousse de la végétation et ses besoins. Dans le même esprit, les drones avec caméra mesurent précisément le stress hydrique (des feuilles qui se replient sur elles-mêmes et changent de couleur). « Leur utilisation va probablement se développer, estime Patrice Garin. Mais il va falloir améliorer la connexion des résultats avec des systèmes d'arrosage

automatiques pour limiter l'intervention humaine. » Des méthodes encore assez coûteuses : « de l'ordre de 15 à 20 euros par hectare pour deux passages par an », précise Bruno Molle.

Il existe des dispositifs évitant d'arroser les zones où rien ne pousse et qui réduisent l'impact du vent et de l'évaporation

inapproprié pour le maïs, car les tuyaux sont peu compatibles avec le passage des machines. « Une alternative récente consiste à enterrer les tuyaux à 50 cm de profondeur, explique Patrice Garin. Ce type d'installation, compatible avec le labour, peut durer dix à quinze ans, pour une économie d'eau de l'ordre de 10 à 15 %. C'est aussi un bon complément au non-labour, car on peut

supérieur à celui de l'arrosage par aspersion. La ressource en eau bénéficie elle aussi de l'essor de l'agriculture de précision. « Des capteurs placés sur la moissonneuse cartographient une parcelle en fonction des rendements. Grâce à ces données, on peut ensuite varier la densité des semis, pour mettre plus de plantations aux endroits les plus fertiles, et moins aux autres »,

COUVRIR LE SOL DE PAILLE

On peut aussi limiter les prélevements d'eau en ayant recours à des méthodes low-tech : le non-labour permet ainsi de mieux conserver l'eau dans le sol. Dans les pays arides, la terre est recouverte de résidus de paille (le mulching) pour limiter l'évaporation. Entre retour à des méthodes traditionnelles parfois oubliées et nouvelle palette d'outils high-tech, l'agriculture aura besoin de toutes les solutions disponibles pour relever le défi environnemental qui l'attend.

INÉDIT

RETROUVEZ

le MAG de la SCIENCE

SPÉCIAL : AGROÉCOLOGIE,
MIEUX CULTIVER DEMAIN

VENDREDI 4 MARS

À 20H40

Présenté par
Jérôme BONALDI

SUIVI DE

AGRICULTURE DU FUTUR À 21H15

Un film documentaire réalisé
par Isabelle FOUCRIER

SCIENCE&VIE TV

la chaîne pour comprendre

@ScienceetvieTV
www.science-et-vie.tv

UNE
CHAÎNE



DISPONIBLE SUR :



CANAL 94



CANAL 35



CANAL 123



CANAL 162



CANAL 206



CANAL 146



CANAL 212





▲ Sous l'effet du changement climatique, les sécheresses sont plus fréquentes, ravageant des cultures entières.



CLIMAT

Affronter les effets du changement

Avec la hausse des températures, une question de taille se pose à l'agriculture : comment s'adapter durablement aux conséquences de ce réchauffement, tout en répondant de façon sûre à des besoins alimentaires toujours croissants ?

PAR ALEXANDRA PIHEN

T

antôt allié des cultures, tantôt ennemi ravageur, le climat a toujours façonné l'agriculture mondiale. Sauf qu'aujourd'hui ce ne sont plus à ses caprices passagers que les cultivateurs et les éleveurs doivent faire face, mais à des transformations susceptibles de déstabiliser en profondeur leurs pratiques. « *Si les émissions de gaz à effet de serre augmentent au même rythme que les années passées, la trajectoire actuelle du changement climatique prévoit un réchauffement de 3,5 °C et une montée des eaux pouvant atteindre un mètre en 2100. On ne peut plus raisonner sur des bases cycliques. L'avenir n'est plus écrit dans le passé !* », prévient Yves Foucart, physicien et ancien membre du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec).

De profondes modifications sont d'ores et déjà confirmées par les scientifiques et les rapports du Giec : augmentation de la température, montée du niveau de la mer, acidification des océans, réduction du manteau neigeux et des calottes glaciaires... Et elles se traduisent aujourd'hui, pour l'agriculture, par des transformations perceptibles et durables. « *Ces changements perceptibles ont trait à la phénologie : les périodes de floraison et de fructification*

sur l'activité des insectes, qui sont désorientés en termes de calendrier, confirme Yves Piquot, maître de conférence en biologie de la conservation. Les fleurs peuvent, par exemple, s'ouvrir avant que les abeilles ne soient actives, ou l'inverse. Nous craignons également des effets directs de l'augmentation de la concentration des polluants atmosphériques sur les abeilles sauvages. » Car la hausse des températures modifie la fréquence de circulation atmosphérique des masses d'air et favorise la stagnation des polluants.

PROLIFÉRATION DES VIRUS ET PARASITES

Les animaux d'élevage ne sont pas non plus épargnés par la chaleur : la survie des poulets, des porcs et des vaches dépend de leur capacité à maintenir leur température interne. Une température de 24 °C associée à une hygrométrie de 20 % suffit à engendrer une légère baisse de la production laitière chez les vaches de type Holstein (pour lesquelles la zone de confort est située entre 2 et 21 °C). Et ce n'est rien par rapport à une vague de chaleur comme celle qui a sévi en Californie en 2006 et tué 700 000 volailles et plus de 25 000 vaches ! Sans compter que le réchauffement climatique offre aussi des conditions favorables à la prolifération des virus et parasites. Originaire d'Afrique, la fièvre catarrhale ovine, transmise par des moucherons piqueurs, se déplace par exemple déjà vers les zones tempérées d'Europe...

La canicule et la sécheresse de 2003 en Europe ont engendré de 20 à 30 % de pertes sur les rendements agricoles

des plantes se décalent dans le temps, modifiant le calendrier des activités, précise Jean-François Soussana, directeur scientifique environnement de l'Inra. Ainsi, dans le midi de la France, les vendanges de septembre ont dorénavant lieu au mois d'août, obligeant les viticulteurs à refroidir les raisins pour garantir des processus de fermentation lents et maintenir la qualité du vin. »

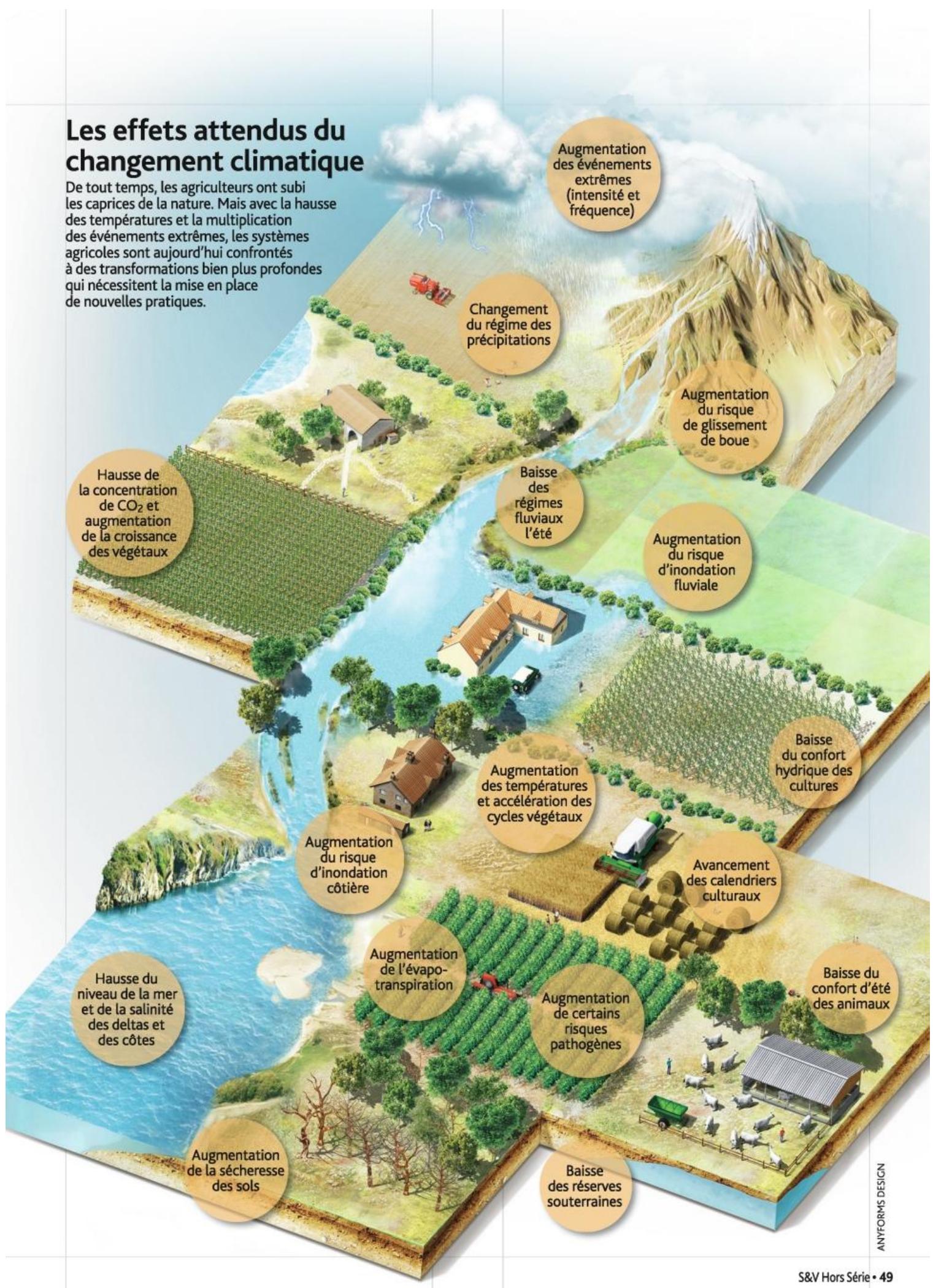
CYCLES NATURELS BOULEVERSÉS

Le réchauffement climatique bouleverse, en effet, les cycles des cultures sous les climats méditerranéens et tempérés. La sortie des épis de blé gagne une journée de précocité tous les trois à cinq ans et la betterave est semée une semaine plus tôt qu'il y a vingt ans. Conséquence de ces décalages, les cultures dépendantes de la pollinisation, comme les vergers, peinent à trouver leurs pollinisateurs : « *L'augmentation des températures a un effet direct*

*Calendriers de cultures modifiés, espèces fragiles, biodiversité menacée, migrations animales... les impacts du réchauffement sur les systèmes agricoles sont palpables. Or le changement climatique se traduit également par une plus forte variabilité climatique, qui pénalise souvent dramatiquement l'agriculture. « *Les incidences d'événements extrêmes survenus récemment – vagues de chaleur, sécheresses, inondations, cyclones et feux incontrôlés – mettent en évidence la grande vulnérabilité et le degré élevé d'exposition de certains écosystèmes et de nombreux systèmes humains à la variabilité actuelle du climat* », souligne le dernier rapport du Giec. La canicule et la sécheresse de 2003 en Europe ont engendré de 20 à 30 % de pertes sur les rendements dans les zones de production agricole. En 2010, la Russie a accusé les mêmes déficits à la suite d'une anomalie de température sans précédent depuis le XVI^e siècle. Depuis 2012, des vagues*

Les effets attendus du changement climatique

De tout temps, les agriculteurs ont subi les caprices de la nature. Mais avec la hausse des températures et la multiplication des événements extrêmes, les systèmes agricoles sont aujourd'hui confrontés à des transformations bien plus profondes qui nécessitent la mise en place de nouvelles pratiques.



de sécheresse exceptionnelles sévissent aux États-Unis. Ce phénomène, limité aux périodes estivales pour certaines régions, tend à devenir la norme en Californie. Il engendre une raréfaction inquiétante de l'eau : plus de 500 000 hectares de terres agricoles étaient déjà en friche en 2014 faute d'irrigation. Le continent africain est aussi durement touché : « Des épisodes de très grande sécheresse ont eu lieu dans la corne de l'Afrique, entraînant une mortalité importante des troupeaux et une situation d'insécurité alimentaire prononcée », s'inquiète Jean-François Soussana. Certes, l'impact du changement climatique sur ces événements extrêmes revêt encore de nombreuses incertitudes, mais le lien ne fait plus de doute aujourd'hui : « La probabilité d'avoir un événement aussi exceptionnel que la canicule de 2003 en Europe était extrêmement faible sans le facteur réchauffement climatique », ajoute le chercheur.

UN TRIPLE DÉFI

Demain, face à la hausse des températures prévue pour la seconde moitié du XXI^e siècle et à la grande variabilité du climat, les systèmes agricoles seront confrontés à une métamorphose environnementale encore inconnue. Sans compter des besoins alimentaires toujours croissants, dont l'augmentation est estimée à environ 70 % d'ici 2050 ! À la fois victime et responsable du changement climatique – elle contribue à près de 13,5 % des émissions de gaz à effet de serre (voir article p. 34) –, l'agriculture mondiale a la tâche colossale de relever plusieurs défis simultanément. « L'agriculture climato-intelligente doit remplir les trois conditions suivantes : s'adapter au changement climatique et contribuer à son atténuation, tout en assurant la sécurité alimentaire de manière durable », observe Emmanuel Torquebiau, chargé de mission changement climatique au Cirad. « Il n'existe pas encore de politique agricole internationale cohérente, avoue Jean-François



▲ Les poulets supportent mal la chaleur. L'épisode caniculaire qui a frappé la France en 2003 a entraîné la mort de quelque 3,5 millions de poulets (ici, en Bretagne).

beaucoup de tort à l'agriculture. Il y a un siècle, en Europe, on pratiquait abondamment l'agroforesterie. Aujourd'hui, elle a quasiment disparu, regrette Emmanuel Torquebiau. Pourtant, c'est un exemple parfait d'agriculture climato-intelligente ! » En effet, les arbres modifient le microclimat local, améliorent la matière organique du sol, apportent de l'ombre au bétail et stockent du carbone. Les systèmes agroforestiers permettent, par ailleurs, une grande diversité de cultures et des productions réparties tout au long de l'année. Au Cameroun, ils fournissent céréales, fruits et bois aux agriculteurs.

Face à la hausse des températures, l'agriculture est confrontée à une métamorphose environnementale encore inconnue

Soussana, mais la position française est de défendre l'agroécologie, c'est-à-dire l'idée d'intégrer des régulations naturelles dans le fonctionnement des systèmes agricoles. C'est une stratégie qui est certainement tout aussi pertinente pour les petits producteurs en zones tropicales. »

L'agroforesterie, qui consiste à associer des arbres à des cultures annuelles ou à des élevages, arrive au premier plan des solutions. « La monoculture a fait

Né à la convergence des civilisations américaines et de l'esclavage aux Caraïbes, le « jardin créole » procure aux populations une autonomie alimentaire de base. S'il est populaire aux Antilles, on le retrouve également en Amérique centrale et tropicale, en Afrique, en Asie du Sud-Est, en Inde et même en Europe. « C'est un système agroforestier mêlant la culture de 40 à 50 espèces différentes – plantes maraîchères, arbres, arbustes –



Des effets délétères déjà constatés

Hausse des températures, inondations, sécheresses... les phénomènes engendrés par le changement climatique frappent de plein fouet le monde agricole. L'élévation des températures, notamment, a de nombreux effets délétères. Parmi les plus visibles, les chercheurs constatent chez les animaux d'élevage une surmortalité des poulets en cas de canicule, tandis que certaines races de vaches laitières affichent une production en berne au-delà de certaines températures. Le réchauffement perturbe également les cycles des cultures et le calendrier des récoltes, obligeant, par exemple, les viticulteurs du sud de la France à cueillir le raisin en août et à refroidir les grains pour s'assurer un vin de qualité. Enfin les épisodes de chaleur et de sécheresse font chuter drastiquement les rendements agricoles.



▲ La canicule et la sécheresse qui ont frappé l'Europe en 2003 se sont traduites par des baisses de rendements allant de 20 à 30 % dans les régions touchées.

◀ Dans le sud de la France, les vendanges ont dorénavant lieu en août, et les viticulteurs doivent refroidir les raisins pour garantir des processus de fermentation lents.

classiques. » Le parc agroforestier de l'Afrique semi-aride (maïs, sorgho, mil, légumineuses) et subhumide (café, cacao) est la méthode de culture la plus répandue et la plus importante en Afrique. « *C'est de cette façon que les agriculteurs africains exploitent traditionnellement de nombreuses cultures*, précise Emmanuel Torquebiau. *Durant les Trente Glorieuses, on a essayé de transformer ces systèmes pour en faire de grandes monocultures mécanisées, mais nous en sommes revenus...* »

DE L'ARABICA CULTIVÉ À L'ANCIENNE

Il y a quelques dizaines d'années, toutes les grandes firmes transnationales qui régissent le marché du café ont, en effet, préconisé une modernisation des plantations de café, en ne cultivant que les arbustes de café en lieu et place des parcs agroforestiers

à l'élevage, sur un sol couvert de verdure en permanence, détaille Jean-François Soussana. Si la gestion de tels systèmes peut paraître complexe, les avantages qu'ils génèrent sont multiples. Les aléas économiques se trouvent d'abord réduits du fait de la diversité des cultures qui rendent le producteur moins dépendant des fluctuations de production et donc de vente. Il bénéficie en outre de ressources nutritionnelles variées. Enfin, les cultures sont moins sujettes aux aléas climatiques : ce type de système affronte mieux les fortes sécheresses, les cyclones ou les ouragans que des plantations

Des solutions climato-intelligentes

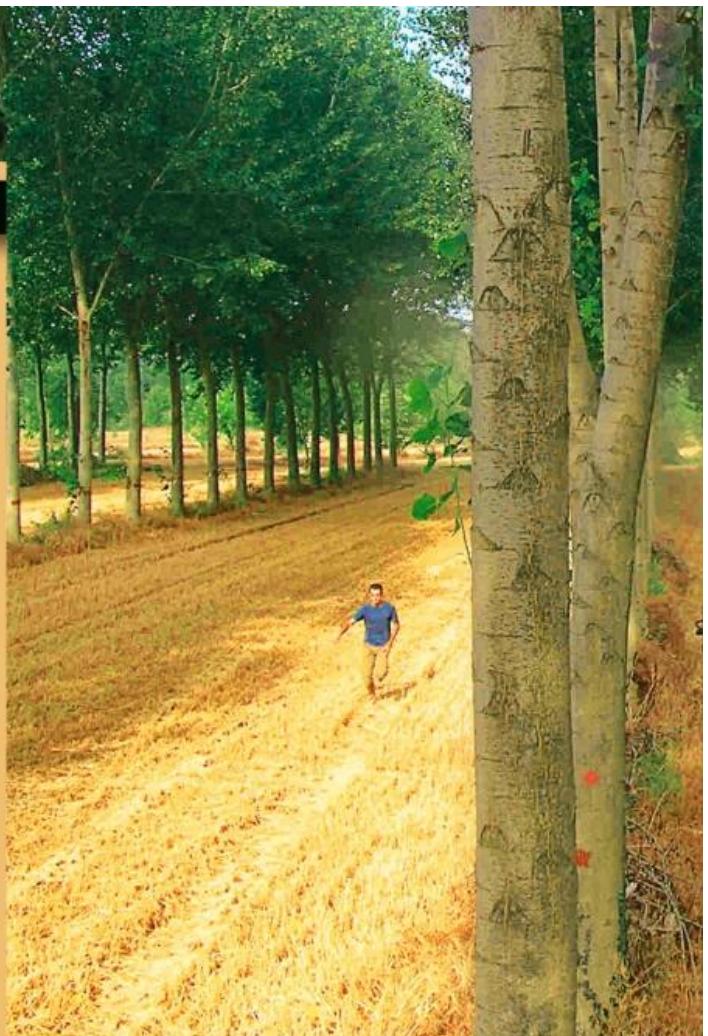
Face au réchauffement et à la plus grande variabilité du climat, la monoculture n'est pas le mode de production le plus approprié. Il existe des systèmes qui sont certes plus complexes, mais moins dépendants des aléas climatiques. Ainsi, l'agroforesterie, qui associe des arbres à plusieurs cultures voire à de l'élevage, présente l'avantage de modifier le microclimat local, d'améliorer la richesse des sols et d'éviter la dépendance à une production unique. En organisant la couverture permanente des sols grâce à des cultures de couvert, l'agriculture de conservation assure elle aussi la fertilité des sols et génère de la biodiversité. D'autres solutions passent, elles, par des techniques de sélection ou d'hybridation des espèces, que ce soit pour limiter la vulnérabilité des cultures et des élevages à la hausse des températures ou augmenter leur tolérance à la sécheresse, par exemple.



traditionnels, où les arbustes étaient protégés par des arbres. Or les rendements n'ont pas été à la hauteur des attentes ! « Récemment, ces opérateurs ont avoué revenir à l'agroforesterie, signale Jean-François Soussana. En effet, avec le réchauffement, l'arabica ne résiste pas bien aux températures élevées, à l'inverse du robusta. Les arbres ont donc été replantés afin de rétablir un microclimat qui permette la culture d'arabica, plus intéressante sur les marchés. Cet exemple, parmi d'autres, prouve l'intérêt d'un retour à l'agroforesterie. »

DES PLANTES POUR RAFRAÎCHIR LE SOL

Afin d'éviter les labours préjudiciables à la qualité organique des sols, l'agriculture de conservation consiste à laisser le sol couvert en permanence, soit par la végétation naturelle, soit par un « couvert de service » constitué d'un mélange spécifique de plantes d'intercultures. Cette méthode présente de nombreux avantages pour les sols et pour la biodiversité. Les plantes protègent le sol des chaleurs excessives et de l'érosion pour que sa fertilité et



À Abondamment pratiquée il y a un siècle en Europe, l'agroforesterie y a quasiment disparu. Mais avec la hausse des températures, on redécouvre ses bienfaits.

« En sélectionnant certaines espèces, des chercheurs ont obtenu des poulets frisés, à large crête, à cou nu voire totalement déplumés, qui résistent mieux à la chaleur.

son humidité soient maintenues en permanence. Certaines espèces implantées, comme le radis ou le chou, sont aussi capables de structurer le sol à l'aide de leurs systèmes racinaires dont les pivots, selon la qualité du terrain, permettent d'aérer la terre. D'autres végétaux (vesce, féverole, lentille) mobilisent l'azote au niveau du sol pour le restituer à la culture suivante et peuvent représenter des gains écologiques et financiers futurs.

L'agriculture de conservation est un énorme champ de recherche depuis quelques années. « C'est un système qui fonctionne très bien dans certaines zones et un peu moins bien dans d'autres. Souvent, après avoir rempli son rôle, la culture de couvert est écrasée pour céder la place à la culture principale. Mais les deux cultures peuvent aussi co-habiter et parfois entrer en concurrence, la culture de couvert prenant le pas sur la culture principale. La méthode employée pour se débarrasser de la culture de couverture est de l'éliminer avec des herbicides. Une contradiction fondamentale avec le principe de l'agroécologie ! s'indigne Emmanuel



Torquebiau. Nous travaillons sur ce point pour essayer de permettre une culture de conservation qui se passerait d'herbicide. »

« Les solutions envisagées au niveau international sont nombreuses, explique Jean-François Soussana. Certaines se focalisent sur les moments de crise afin d'apporter simultanément une aide immédiate et une formation à long terme. » C'est le cas au Kenya où, en période de sécheresse, le gouvernement fournit une alimentation gratuite qui s'accompagne d'une incitation à replanter des arbres et à restaurer les sols dans les villages. Une

façon de soulager les populations dans l'urgence tout en les aidant à investir pour le long terme.

Si le débat actuel s'attache surtout à comprendre dans quelle mesure l'adaptation peut nous permettre d'éviter les impacts négatifs de la variabilité, d'autres solutions, portées par de nombreuses recherches scientifiques, notamment génétiques, comme les techniques de sélection ou d'hybridation, cherchent à limiter la vulnérabilité des cultures et de l'élevage face au changement climatique.

DES VARIÉTÉS PLUS RÉSISTANTES

Les stratégies de tolérance à la sécheresse visent, par exemple, à sélectionner des variétés de plantes qui résisteront mieux au stress hydrique. « Des progrès réguliers sont effectués en matière de tolérance à la sécheresse, notamment sur le maïs, mais il est difficile d'obtenir des plantes qui soient tolérantes les années difficiles tout en restant très productives les bonnes années, relève Jean-François Soussana. L'étude des sources de variabilités génétiques de plantes d'origine méditerranéenne, moins sensibles à la sécheresse, permet de cibler les gènes qui seront à privilégier lors des sélections. »

Divers processus génétiques sont aussi proposés pour réduire le stress salin de certaines espèces : hybridation et rétrocroisements successifs d'une souche de la carpe du Nil adaptée à la salinité, sélection assistée par marqueurs moléculaires de variétés tolérantes de riz ou de porte-greffes pour les agrumes. Car la salinisation des écosystèmes marins et terrestres est une des conséquences du changement climatique en cours : l'élévation du niveau de la mer associée à une plus grande fréquence et intensité des typhons se traduit par la présence de sel dans les estuaires, cours d'eau, eaux souterraines, mangroves et étangs. Or ces

LE MIL, UNE ADAPTATION SPONTANÉE À LA SÉCHERESSE

Si le mil s'adapte si bien à la grande variabilité climatique du Niger, c'est grâce à une sélection génétique spontanée. Depuis les années 1970, le Sahel subit de nombreuses sécheresses. « Alors qu'une région bénéficiait de 600 mm de pluie en 1976, c'était déjà trois fois moins en 2003 ! », précise Yves Vigouroux,

directeur de recherche à l'IRD, à Montpellier. En comparant une variété de mil issue d'échantillons prélevés dans les années 1970 à une variété récente, les chercheurs ont décelé l'allèle du gène responsable de cette adaptation. « Les comparaisons des cultures ont mis en évidence une évolution vers une morpho-

logie plus compacte et une floraison plus précoce des variétés récentes, explique Yves Vigouroux. Puis l'étude génétique a démontré une fréquence accrue de l'allèle de précocité associé à la variation de floraison sur le gène Phytochrome C, l'un des gènes contrôlant le cycle du mil. » Des résultats qui suggèrent une sélection

sur ce gène au cours du temps, rendue possible par la forte diversité génétique des variétés de mil. « L'identification de ce gène fournit des pistes d'étude pour d'autres espèces de plantes et pourrait aussi permettre d'accélérer la mutation du mil en vue de son adaptation aux climats futurs », conclut Yves Vigouroux.

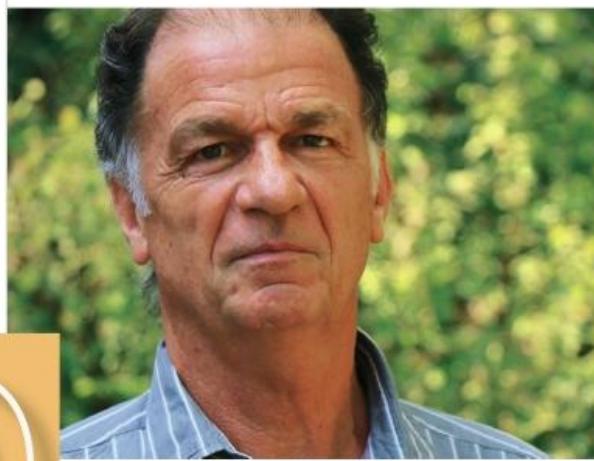
excès de sel nuisent à certaines cultures, comme le riz ou les agrumes, et aux poissons d'eau douce.

L'élevage n'échappe évidemment pas à ces stratégies génétiques. De nombreux programmes affichent pour objectif de rendre les animaux moins sensibles à la chaleur, au stress hydrique ou aux parasites. Très sensible à la chaleur (le poulet de chair européen subit une grande mortalité au-delà de 32 à 35 °C), le poulet fait l'objet de recherches afin d'augmenter sa thermorégulation. Différents gènes de volailles ont attiré l'attention des scientifiques, comme le gène naturel du « cou nu » ou le gène « frisé » permettant une meilleure régulation thermique des poulets. En Israël est ainsi né, par croisement entre un petit poulet déplumé (résultat d'une mutation

Dans le débat international, quand la France défend l'agroécologie, de nombreux autres pays industrialisés revendentiquent l'efficience (dont l'indicateur principal est le rapport entre la production et l'unité de surface) et les substitutions (comme l'utilisation d'intrants moins dommageables pour l'environnement) afin d'accompagner l'évolution de la demande alimentaire. « *Un certain nombre de compagnies internationales prétendent mener une agriculture climato-intelligente en produisant 10 tonnes de céréales à l'hectare et en contribuant au stockage du carbone dans les sols, à l'enrichissement des agriculteurs et à la sécurité alimentaire... Mais ces méthodes sont loin d'être durables, déplore Emmanuel Torquebiau, elles détruisent les*

L'agroécologie doit trouver sa place au cœur d'une compétition entre systèmes agricoles intensifs, industriels ou familiaux

naturelle) et un poulet à viande à croissance rapide, un poulet sans plumes de taille raisonnable ! Mais d'autres méthodes sont envisagées. « *Suite aux travaux de collègues israéliens du centre Volcani, nous avons réalisé des élévations cycliques de la température d'incubation des œufs qui modifient l'expression de certains gènes et confèrent à l'animal une meilleure résistance à la chaleur jusqu'à la fin de l'élevage (cinq à six semaines), indique Anne Collin, chercheuse à l'Inra, et certains de ces gènes régulent également la réponse au stress de l'animal.* »



Les sociétés qui produisent 10 tonnes de céréales à l'hectare utilisent des méthodes qui sont loin d'être durables

EMMANUEL TORQUEBIAU

CHARGÉ DE MISSION CHANGEMENT CLIMATIQUE AU CIRAD

sols, rendent les agriculteurs dépendants de systèmes semenciers internationaux (par exemple, un OGM qui a son propre herbicide vendu par la même compagnie) et de produits synthétiques dangereux pour l'écologie et la santé. »

S'APPUYER SUR L'EXISTANT

« *La discussion de la COP21 sur l'énergie, qui s'est terminée à la mi-décembre au Bourget, est un véritable séisme, estime Jean-François Soussana. C'est une transformation absolument radicale qui est en train d'être organisée dans le domaine de l'énergie. Pour l'agriculture, s'ajoute la dimension cruciale de nourrir la population : il est donc impossible d'envisager une transition avec une baisse de production de quelques années ! Il faut composer au mieux avec l'existant.* »

Une composition difficile quand la pratique de l'agroécologie doit trouver sa place au cœur d'une compétition entre systèmes agricoles intensifs, industriels ou familiaux, face à une demande alimentaire urbaine toujours croissante. Pourtant, la mise en œuvre de pratiques agroécologiques permettrait, outre un potentiel de réduction des gaz à effet de serre d'au moins 20 %, une amélioration des rendements sur à peu près la moitié des surfaces agricoles grâce aux apports de matières organiques. Face au changement climatique, l'agriculture pourrait alors échanger son statut de « victime et responsable » contre celui de « vaillante et salvatrice ». Espérons qu'une transformation substantielle des pratiques agricoles puisse accompagner la révolution énergétique à venir.

RTL
#RTLBOUGE

PHOTO : ROMAIN BOÉ / ABACAPRESS



LA CURIOSITÉ EST UN VILAIN DÉFAUT
SIDONIE BONNEC ET THOMAS HUGUES LUNDI-JEUDI 20H-22H

LUNDI 29 FÉVRIER

L'AGRICULTURE DU FUTUR

Avec Cécile Bonneau, journaliste.

SCIENCE & VIE

RTL.fr



BIO

À L'incroyable diversité des espèces (ici, de maïs) s'est considérablement réduite avec l'agriculture moderne, au profit de quelques variétés « améliorées ».

CIMMYT



DIVERSITÉ

Retrouver l'équilibre perdu

L'agriculture nuit fortement à la biodiversité. Or la pérennité des cultures nécessite des écosystèmes riches et une grande variété de plantes cultivées. Il est temps de faire machine arrière.

PAR MARINE CORNIOU

T

e changement s'est fait de manière insidieuse : de moins en moins d'oiseaux autour des manégoires de jardin, quasiment plus de nuées d'hirondelles au printemps ni d'insectes collés sur le pare-brise des voitures... Comme si, peu à peu, le ciel se vidait. Et ce n'est pas qu'une impression : une étude parue en 2014 a révélé qu'en trente ans, l'Europe avait perdu 421 millions d'oiseaux sur une population initiale de 2 milliards ! La première coupable ? Sans l'ombre d'un doute, l'agriculture, et son intensification massive depuis le début du XX^e siècle. Elle est aujourd'hui considérée par les Nations unies comme la principale menace pour la biodiversité. Et ce, partout sur la planète, pas seulement en Amérique latine et en Asie, où il est évident que la conversion des milieux naturels en terres agricoles se fait aux dépens des espèces sacrifiées.

Mais, autant que coupable, l'agriculture se révèle finalement être aussi... l'une des grandes victimes de cette dévastation ! « *Au cours du XX^e siècle, on a multiplié par un facteur 7 à 10 la production de blé par hectare. Mais depuis vingt ans, à l'échelle mondiale, la production stagne. Et c'est d'autant plus troublant que l'amélioration des variétés continue. On est arrivé au bout du système* », avance Vincent Bretagnolle, chercheur en écologie comportementale et conservation des espèces menacées au Centre d'études biologiques de Chizé (CNRS).

Et le retour de boomerang pourrait être encore plus violent. Car insectes, oiseaux et autres micro-organismes rendent (ou rendaient !) de précieux

agricoles, dont la moitié (soit un quart des oiseaux d'Europe) sont en déclin prononcé, explique le chercheur. À la suite de ce constat alarmant, de nombreuses études ont montré que l'effondrement de la biodiversité concernait en fait tous les taxons : les abeilles domestiques et sauvages, les "mauvaises herbes" ou adventices, les criquets, les papillons, les mammifères... Le déclin est généralisé. » Pas étonnant, quand on sait que 50 % des espèces sauvages en Europe dépendent étroitement des « agroécosystèmes ». Devenues le symbole de cette hécatombe, les abeilles sont probablement celles qui soulèvent le plus d'inquiétudes. « *Un monde sans oiseaux serait peut-être économiquement viable, ironise Vincent Bretagnolle, mais un monde sans polliniseurs, c'est impossible. Les pouvoirs publics ont pris conscience qu'il y a urgence.* » Difficile, toutefois, de freiner l'érosion des espèces, alors que l'on commence tout juste à mesurer l'ampleur des dommages collatéraux de la révolution verte.

MÉCANISATION ET AGROCHIMIE

« *L'intensification de l'agriculture conjugue la mécanisation des pratiques, l'agrochimie et la réorganisation des paysages, à savoir l'agrandissement des parcelles et la disparition des haies et des arbustes. Ces trois facteurs ont agi en même temps de manière négative sur la biodiversité. Il est donc difficile de distinguer les effets de chacun d'eux* », reprend le chercheur.

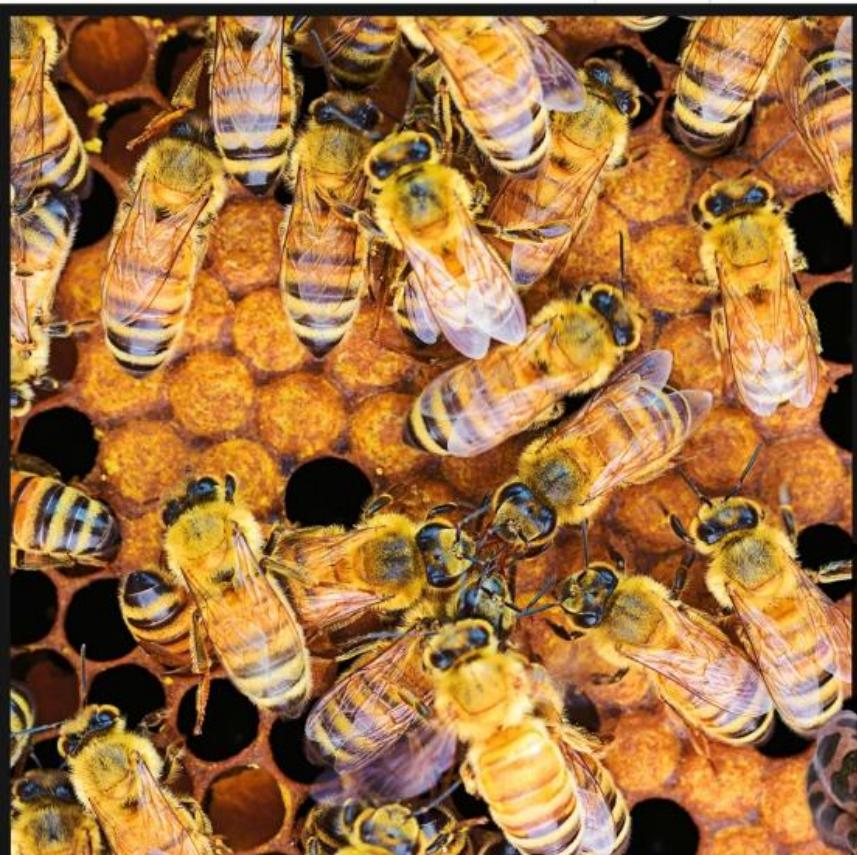
Une chose est sûre, l'effet néfaste des insecticides s'étend bien au-delà des insectes ravageurs de culture qu'ils sont censés cibler. Perturbateurs endocriniens avérés, les néonicotinoïdes, par exemple, ont des effets prouvés sur les autres

Autour des cultures, le déclin de la biodiversité touche toutes les espèces : abeilles, "mauvaises herbes", papillons, mammifères...

« services écosystémiques » à l'agriculture : pollinisation, bien sûr, mais aussi régulation des ravageurs, entretien des sols, recyclage de la matière organique, épuration de l'eau... À eux seuls, les vers de terre peuvent augmenter de 25 % le rendement des cultures, comme l'a montré une méta-analyse publiée en 2014 par des chercheurs de l'université de Wageningue, aux Pays-Bas. Or, dans un champ de céréales cultivé de façon intensive, on trouve jusqu'à 130 fois moins de lombrics que dans une prairie ! À long terme, les agriculteurs sont perdants.

« *On a commencé à s'apercevoir du déclin de la biodiversité en observant les oiseaux des milieux*

insectes, mais aussi les poissons, les amphibiens et les oiseaux. Leur usage massif (ce sont les insecticides les plus utilisés dans le monde) est notamment tenu responsable de la mortalité accrue des abeilles. Et, en 2014, une étude néerlandaise publiée dans *Nature* a montré la corrélation entre le taux d'imidaclopride dans les eaux de surface et le déclin local de 15 espèces de passereaux insectivores. Disposant d'insectes en plus petit nombre et contaminés, ces populations d'oiseaux ont baissé en moyenne de 3,5 % par an entre 2003 et 2010 dans les régions où la concentration de ce pesticide a dépassé un certain seuil.



D'indispensables auxiliaires menacés de disparition

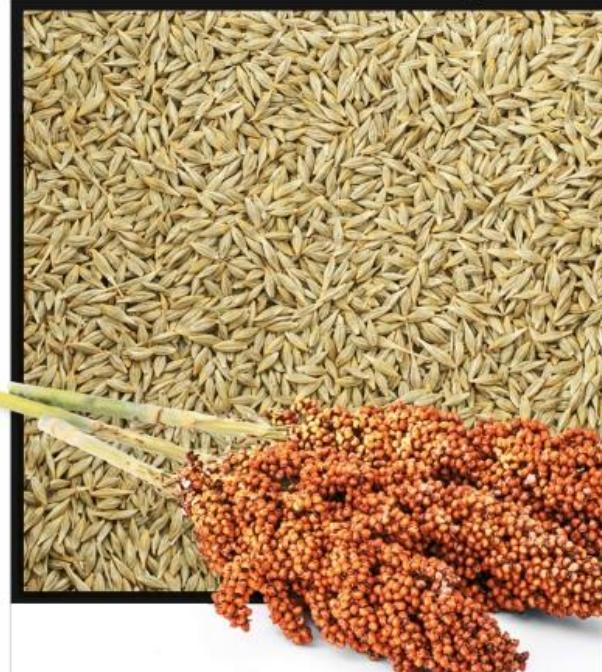
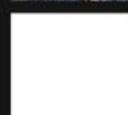
La mécanisation, le recours massif aux pesticides et l'agrandissement des parcelles font disparaître de nombreuses espèces sauvages. Or, parmi ces dernières, certaines rendent de précieux services à l'agriculture : pollinisation, mais aussi entretien des sols, recyclage de la matière organique, épuration de l'eau, régulation des ravageurs... Si l'agriculture ne change pas radicalement ses pratiques, elle pourrait payer très cher cette perte de biodiversité.



► Tout comme les abeilles, les papillons jouent le rôle vital de polliniseurs. Les vers de terre, eux, ont une action sur les sols qui profite largement aux cultures. Quant aux crapauds, aux araignées et aux oiseaux, ils régulent les populations des insectes ravageurs.

Une variété de cultures fortement réduite

Du fait de l'uniformisation de l'alimentation, moins d'espèces sont cultivées dans le monde. Et, pour chacune, le nombre de variétés a chuté. Ainsi, en Inde, alors que 30 000 variétés de riz étaient autrefois cultivées, la récolte est désormais issue à 75 % de 10 variétés à haut rendement ! Or c'est la diversité génétique des cultures qui permet de faire face aux ravageurs, aux maladies et aux changements climatiques. Il est donc crucial de la restaurer.



Malheureusement, il ne suffit pas d'épandre moins de pesticides dans un champ isolé pour « raviver » instantanément la nature. C'est ce qu'a montré le projet européen BioBio, qui vise à mettre en évidence la contribution de l'agriculture biologique dans le maintien de la biodiversité. L'un des volets a consisté à comparer les richesses en plantes, abeilles sauvages, araignées et vers de terre d'environ 200 exploitations biologiques ou conventionnelles dans dix régions européennes. Bilan : les parcelles « bio » ne sont pas systématiquement plus riches en faune et flore que les parcelles classiques. « *On pensait que l'utilisation de pesticides était le facteur déterminant du niveau de biodiversité. En fait, celle-ci dépend essentiellement de la variété et de la richesse des habitats semi-naturels présents sur les exploitations, comme*

les haies, les bandes herbeuses et les friches », explique Jean-Pierre Sarthou, chercheur à l'Inra de Toulouse, qui a participé à l'étude publiée en juin dernier dans *Nature Communications*.

« C'est plutôt une bonne surprise, car cela signifie que les agriculteurs peuvent, même s'ils utilisent des pesticides, augmenter la biodiversité en restaurant les habitats semi-naturels », poursuit le chercheur. Une bonne surprise, mais qui impose toutefois de coordonner les efforts à l'échelle des territoires, en préservant suffisamment de « zones refuges » pour les espèces. C'est ce qu'affirme Vincent Bretagnolle, qui travaille avec un réseau de 400 exploitants en Poitou-Charentes. Il a publié en avril 2015 une étude qui montre que la présence de parcelles bio, disséminées entre des champs conventionnels, demeure utile, mais que ses effets



◀ Si le tournesol et le soja (à g.) gagnent du terrain, les cultures du sorgho et de l'orge (en bas, à g.) reculent au profit de celles du maïs, du blé et du riz.



◀ Mais surtout, pour chaque plante, moins de variétés sont cultivées, les variétés traditionnelles étant délaissées pour des versions « améliorées », à plus haut rendement.

ne sont visibles qu'à grande échelle. « Ce qu'on a montré, c'est que la dynamique locale de la biodiversité sur une parcelle dépend énormément de ce qui se passe sur les parcelles voisines. Cela permet des degrés de liberté, car l'agriculture peut rester très intensive sur certaines parcelles si on agit à l'échelle des paysages, indique-t-il. Or, la pression sur les écosystèmes ne cesse d'augmenter. En Europe, on est en train de transformer les derniers hectares de jachère en terres cultivées. »

Agir localement et à grande échelle pour conserver la biodiversité : c'est aussi ce que préconise une analyse, publiée en 2014, qui a passé en revue plus de 800 études. « Les plantes sont affectées par l'intensification locale (à cause des herbicides, notamment), tandis que les animaux mobiles, dont les vertébrés, sont affectés par l'intensification à l'échelle du territoire », précise Aaron Iverson, agro-écologiste à l'université Cornell, aux États-Unis,

Selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (la FAO), alors qu'environ 7000 plantes comestibles ont été cultivées au cours de l'histoire, 30 seulement fournissent 95 % des apports énergétiques de la population mondiale aujourd'hui. Pis, trois plantes (le riz, le blé, le maïs) en fournissent à elles seules plus de la moitié.

UNE ALIMENTATION OCCIDENTALISÉE

Une étude menée en 2014 sur plus de 50 cultures dans 150 pays a confirmé de façon flagrante l'uniformisation globale des régimes alimentaires entre 1961 et 2009. Ainsi, l'hégémonie du blé, du riz et du maïs a fait reculer la consommation de sorgho, de millet, de seigle et de patates douces. Le soja, le tournesol et les palmiers à huile ont, eux aussi, gagné du terrain, leur contribution à l'alimentation mondiale ayant augmenté de 175 à 280 % sur cette période ! Avec, en bout de ligne, une alimentation

Si 7000 plantes ont été cultivées par le passé, une trentaine assure aujourd'hui 95 % des apports énergétiques mondiaux

et l'un des auteurs de l'analyse. Autant dire que les monocultures de maïs à perte de vue, qui sont la norme en Amérique du Nord et dans de nombreuses régions d'Europe, sont à bannir absolument, sous peine de désastre écologique.

Une catastrophe annoncée qui ne touche pas seulement les espèces sauvages : à force de s'uniformiser, l'agriculture s'est elle-même dangereusement appauvrie. Les chiffres parlent d'eux-mêmes.

« occidentalisée » plus grasse et plus sucrée, mais aussi « une menace potentielle pour la sécurité alimentaire », comme le notent les auteurs, chercheurs à l'International Center for Tropical Agriculture (Ciat), en Colombie.

« Regardez dans le monde des finances : on diversifie son portefeuille, on ne met jamais tous ses œufs dans le même panier ! L'agriculture a perdu ce bon sens », commente Émile Frison, membre d'un



panel international d'experts sur les systèmes alimentaires durables (IPES-Food), mis sur pied en 2014 par la fondation française Daniel et Nina Carasso. D'autant que cette standardisation s'est accompagnée d'une baisse de la diversité génétique au sein même des espèces. « *La mise au point de variétés plus productives a été à la base du succès de la révolution verte. Elle a mené à des politiques assez agressives de remplacement des variétés tra-*

perdu 90 % de ses variétés de blé. Aux États-Unis, ce sont les variétés de fruits et de légumes qui ont subi le même sort, et en Inde, celles de riz. Alors que les paysans y cultivaient autrefois 30 000 variétés, la récolte de riz indien est désormais issue à 75 % de dix variétés à haut rendement. Du côté du bétail, même constat : 20 % des races utilisées pour l'élevage sont menacées d'extinction ; six d'entre elles disparaissent chaque mois.

Grâce aux nombreuses banques de semences, il est possible d'aller chercher des gènes « neufs » dans les variétés anciennes

ditionnelles par des variétés "améliorées" dans de nombreux pays, rappelle Émile Frison.

Il faut dire que ces variétés à haut rendement, propulsées tant par des intérêts publics que privés, ont fait des miracles, boostées par une utilisation importante d'engrais chimiques et de pesticides. Entre les années 1960 et la fin des années 1990, par exemple, les rendements du riz et du blé en Asie ont doublé. Sans surprise, les variétés locales, cultivées depuis des millénaires, ont donc été délaissées. En soixante ans, la Chine, par exemple, a

Or, cette perte de diversité génétique est une épée de Damoclès qui, elle aussi, menace de casser la courbe des rendements : elle rend les ressources alimentaires plus vulnérables aux ravageurs, aux maladies et aux changements climatiques. Il n'y a qu'à se souvenir de la famine qui a décimé la population irlandaise, vers 1850. Alors que le pays dépendait majoritairement d'une seule variété de pomme de terre pour s'alimenter, l'arrivée du mildiou, un champignon parasite, a eu des conséquences dramatiques. « *Lorsqu'une culture a une*



Un coffre-fort géant pour les semences du monde entier

La réserve mondiale de semences du Svalbard, sur l'île norvégienne du Spitzberg, a pour mission de conserver des graines de toutes les cultures vivrières de la planète et de garantir ainsi la préservation de leur diversité génétique. C'est une sauvegarde des collections des 1750 banques de semences qui existent dans le monde, installée bien à l'abri d'une catastrophe climatique ou politique dans la montagne gelée du Spitzberg.

Creusée dans la montagne gelée, la « chambre forte mondiale des graines » contient déjà plus de 800000 échantillons.

Les banques de semences des diverses régions du monde envoient une partie de leurs graines dans des petits sacs, disposés ensuite dans des caisses scellées.



base génétique étroite, les risques d'épidémie sont accrues. Or on reproduit aujourd'hui la même erreur qu'en Irlande, notamment avec les cultures de bananes », observe Émile Frison.

VERS LA DISPARITION DE LA BANANE?

Les bananes d'exportation appartiennent, en effet, à une seule variété : la Cavendish, qui a remplacé dans les années 1950 la variété Gros Michel, affectée par la maladie de Panama, causée par un champignon du sol. Seulement voilà, la Cavendish, autrefois résistante, est devenue sensible à la maladie. « Les bananiers d'Asie ont commencé à être touchés. Quand l'épidémie va arriver en Amérique centrale, ça va être une catastrophe : ce sera la fin de la Cavendish, et aucune autre variété n'a été développée », avertit cet ancien directeur de l'organisme Bioversity International, dédié à la conservation de la biodiversité agricole.

Or, justement, c'est en puisant dans les différentes variétés, en les croisant et en les améliorant, que l'on parvient à conférer aux plantes une résistance aux ravageurs, aux maladies, une tolérance à la sécheresse... La diversité des ressources génétiques

TEFF TRADITIONNEL VS AMÉLIORÉ

Les variétés « améliorées » ne sont pas toujours plus performantes que les variétés locales. C'est ce que suggère une étude menée en Éthiopie sur des variétés traditionnelles de teff (la céréale à la base de l'alimentation du pays), menacées d'extinction tout comme les variétés ancestrales de blé et d'orge. Selon les chercheurs de l'Ethiopian Biodiversity Institute, qui ont comparé les propriétés d'une douzaine de variétés de teff, dont la variété améliorée Kuncho, les différences en termes de biomasse, de valeur nutritionnelle ou de hauteur de plants sont loin d'être flagrantes. Et certaines variétés locales (il y en a plus de 4 000) ont même eu un rendement légèrement supérieur à celui du Kuncho ! Consciente de la valeur de ce patrimoine, l'Éthiopie s'est d'ailleurs dotée, il y a quarante ans, de la plus grande banque de semences d'Afrique, où sont conservées des centaines de graines « indigènes ». Cette banque a permis de réintroduire récemment, auprès de 150 000 paysans, des variétés de teff blanc et rouge qui avaient disparu depuis près de trente ans sur le terrain.

Biodiversité

est donc cruciale pour la survie des cultures à long terme. « *Et les changements climatiques vont exacerber la nécessité de diversification*, ajoute Émile Frison. *La plupart des pays dépendent presque totalement de ressources génétiques qui sont originaires d'autres pays, moins adaptées aux conditions locales. Nous sommes face à un constat d'échec. Il faut faire machine arrière !* »

RETRouver DES RICHESSES OUBLIÉES

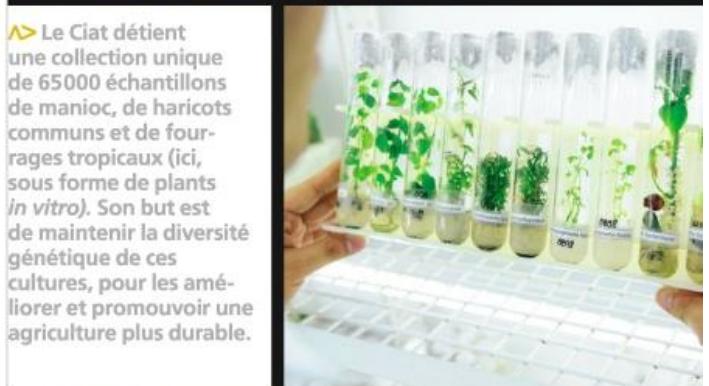
Faire machine arrière, aller chercher des gènes « neufs » dans les variétés anciennes : le défi est immense, mais pas impossible à relever. Notamment grâce aux banques de semences, ces « coffres » botaniques qui conservent sous clé les graines des variétés ancestrales. Au total, on en dénombre 1750 dans le monde, de taille et de qualité très variables, renfermant plus de 7 millions de spécimens. La plus connue (et la plus sûre) est la chambre forte du Svalbard, sur l'île norvégienne du Spitzberg, qui contient à elle seule plus de 800 000 échantillons ! « *Ces banques sont essentielles, car elles permettent d'assurer l'accès à la biodiversité aux chercheurs pour l'amélioration génétique. Mais il n'empêche que sur le terrain, chez les agriculteurs, la biodiversité doit être restaurée* », souligne Émile Frison. Il faut donc réapprendre à cultiver ces richesses oubliées... et sortir des réseaux commerciaux qui contrôlent le marché des semences. « *Dans les pays en développement, 80 à 90 % des semences sont encore des variétés traditionnelles. Il faut préserver à tout prix cette diversité et s'assurer que les agriculteurs ne deviennent pas dépendants des fournisseurs extérieurs* », ajoute l'agronome.

Bref, un changement radical de cap – et de système – s'impose, du moins dans les pays industrialisés. « *Maximiser la production en tout point de l'exploitation et à tout moment n'est plus viable* », estime Vincent Bretagnolle. Faut-il accepter de baisser un peu la production pour assurer la pérennité des terres cultivables ? Sans doute, répondent les scientifiques. D'autant que le retour de la biodiversité pourrait compenser la réduction d'intrants chimiques, pour des pertes somme toute marginales. « *Quant aux systèmes traditionnels des pays du Sud, leur potentiel de production plafonne à 20 %. Il ne s'agit pas d'obtenir le 100 % que l'on a ici avec l'utilisation massive d'intrants, mais passer à 40 % serait suffisant pour nourrir la planète* », assure Émile Frison. Reste à changer les mentalités, et à accepter de revenir un peu en arrière pour s'assurer un futur... ●

N. PALMER/CIAT - GLOBAL CROP DIVERSITY TRUST



▲ Le Ciat détient une collection unique de 65 000 échantillons de manioc, de haricots communs et de fourrages tropicaux (ici, sous forme de plants *in vitro*). Son but est de maintenir la diversité génétique de ces cultures, pour les améliorer et promouvoir une agriculture plus durable.





Un centre dédié à la survie des cultures tropicales

Le Centre international d'agriculture tropicale (Ciat) à Cali, en Colombie, abrite la plus grande collection mondiale de graines de haricots (plus de 36 000 variétés), de manioc (6 500 variétés) et de plantes fourragères tropicales (23 000 variétés). L'une de ses missions consiste à recenser les équivalents sauvages des plantes agricoles qui recèlent des gènes intéressants pour la résistance aux parasites, aux épidémies ou à la sécheresse, par exemple. Les chercheurs ont mis sur pied une base de données rassemblant à ce jour 1089 « cousins » sauvages d'une soixantaine de plantes cultivées. Leur constat ? Près de 70 % d'entre eux sont mal représentés, absents des banques de semences, ou en danger, à l'instar de variétés anciennes de fèves, que l'on ne trouvait que dans la banque d'Alep, en Syrie. Afin de préserver ce réservoir de gènes sauvages indispensables à l'amélioration des cultures, le Ciat collecte en urgence les spécimens les plus menacés, en particulier les proches parents des bananes, du sorgho et des patates douces.

Les chercheurs du Ciat s'intéressent donc au génome de ces plantes agricoles (matériel conservé ensuite à -20 °C). Ils essaient d'identifier les gènes porteurs d'une meilleure résistance aux maladies ou à la sécheresse, par exemple.





G. STEINMETZ/COSMOS

▲ L'élevage intensif est courant pour les volailles, avec des bêtes enfermées toute leur vie (ici, au Brésil).



BÉTAIL

*Améliorer
les conditions
d'élevage*

L'élevage intensif méprise souvent la qualité de vie des animaux. Dans l'indifférence générale ?

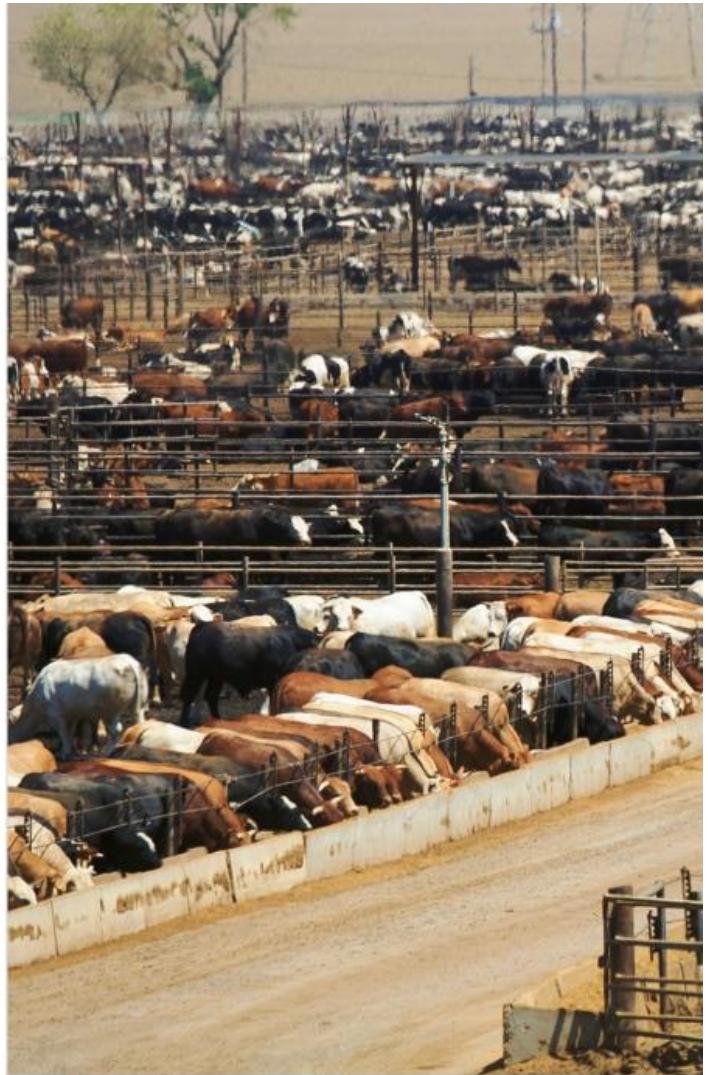
Peut-être plus pour longtemps. Consommateurs et législateur imposent de plus en plus aux éleveurs d'atténuer les souffrances de leurs bêtes.

PAR NATHALIE PICARD

Ia réalité est rarement présente à nos yeux, mais on la devine, on la connaît : les animaux d'élevage souffrent. Poulets entassés dans des hangars, porcs séquestrés derrière des grilles sur un sol en caillebotis, vaches n'ayant jamais aperçu la moindre prairie... L'élevage intensif a radicalement changé le rapport des agriculteurs à l'animal depuis la révolution industrielle. « *À cette époque, la nature est devenue une ressource à exploiter, et l'animal, une machine à produire* », analyse Jocelyne Porcher, sociologue à l'Inra (Institut national de la recherche agronomique). Avec des gains de productivité colossaux à la clé. Exemple éloquent, la capacité laitière des vaches françaises est passée de 2 000 à 10 000 litres de lait par an et par animal depuis le début du XX^e siècle. Difficile de ne pas en déduire que la souffrance animale s'est accrue dans des proportions comparables. Et ce, dans l'indifférence générale... Mais la situation pourrait évoluer, du moins en Europe. Déjà, les protocoles d'expérimentation scientifique limitent le recours aux animaux au strict nécessaire, en excluant ceux qui sont les plus proches de l'homme : à de rares dérogations près, les tests ne sont ainsi plus autorisés sur les grands singes.

Les animaux d'élevage vont-ils, eux aussi, bénéficier d'une protection croissante ? À vrai dire, de nombreuses directives s'accumulent déjà dans ce sens. Et, en janvier 2015, l'Assemblée nationale a approuvé une loi reconnaissant un nouveau statut à l'animal, désormais considéré comme « être vivant doué de sensibilité ». « *Cette mesure a surtout permis de mettre en cohérence les différents codes* », relativise toutefois Jean-Marc Neumann, juriste et spécialiste des questions animales. Car, dès 1976, l'article L214 du Code rural reconnaissait la sensibilité des animaux domestiques.

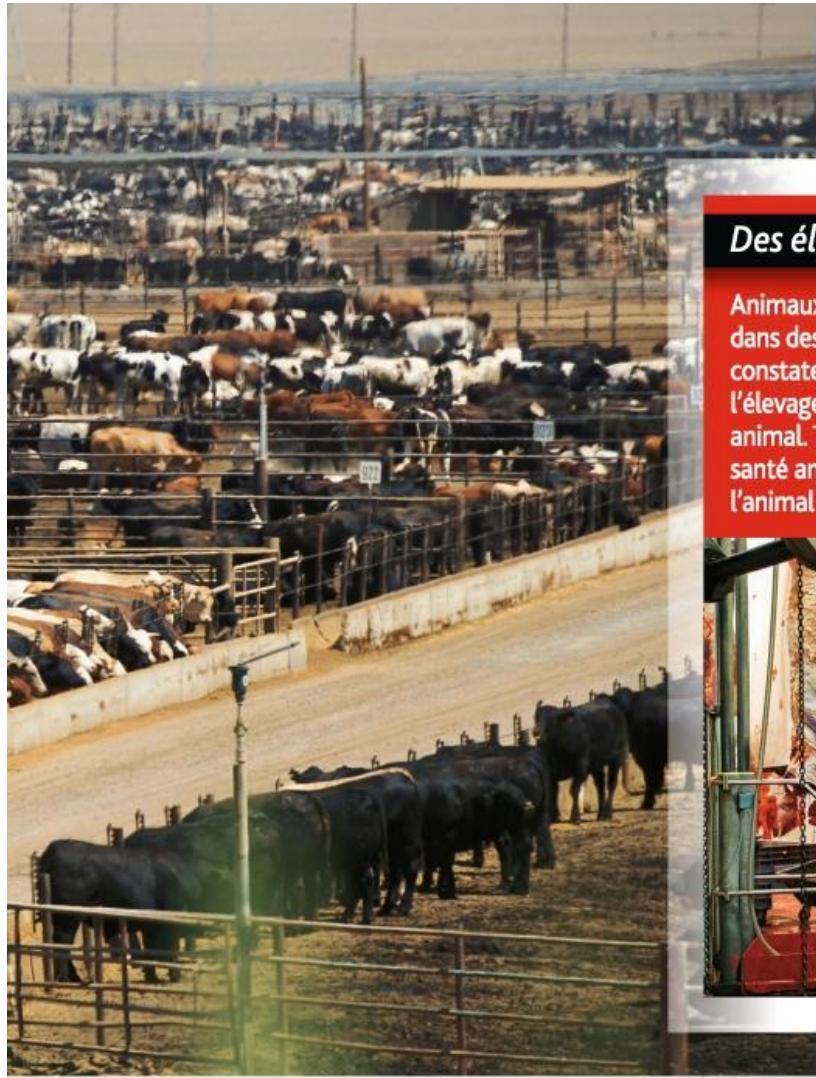
L214, c'est aussi le nom d'une association qui fait de plus en plus parler d'elle. Parce qu'elle estime que « *la réalité est cachée* », l'organisation diffuse des images choquantes pour montrer la situation des animaux enfermés. Si ses vidéos s'attardent forcément sur le pire, elles dévoilent une certaine réalité, et viennent renforcer un malaise social grandissant face à ces pratiques intensives. Après la diffusion d'images insoutenables filmées en caméra cachée à l'abattoir d'Alès (Gard), l'association a ainsi obtenu la fermeture de l'établissement en octobre 2015 (pour deux mois), et l'ouverture d'une enquête judiciaire



pour acte de cruauté et mauvais traitements sur animaux. Reste à savoir si les consciences s'éveilleront un jour au point que les consommateurs rétabliront le lien entre le contenu de leur assiette et le bétail.

DES MUTILATIONS FRÉQUENTES

Dans cette perspective, les éleveurs intègrent tant bien que mal la notion de bien-être animal, dont la définition est issue de travaux britanniques datant de 1965. Cinq libertés fondamentales ont été énoncées par l'Organisation mondiale de la santé animale : absence de faim, de soif et de malnutrition, absence de peur et de détresse, absence de stress physique et thermique, absence de douleur, de lésions et de maladie, et possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce. *A minima*, ne pas faire souffrir, donc. Une conception du bien-être par la négative, à l'origine de multiples recherches. En témoigne l'expertise collective sur les douleurs animales conduite par l'Inra en 2009 : 1 300 articles scientifiques et rapports passés au crible, pour « *se donner un vocabulaire commun, identifier les situations douloureuses et trouver des solutions* », liste Pierre Le Neindre, le pilote de cette expertise. Des pratiques douloureuses ? Force est de constater qu'elles sont légion. Les mutilations,



Bétail

Des élevages peu soucieux de l'animal

Animaux enfermés toute leur vie, densités élevées de bêtes dans des surfaces réduites ou mutilations: force est de constater que certaines pratiques liées à l'intensification de l'élevage ne sont pas compatibles avec la notion de bien-être animal. Telle que définie par l'Organisation mondiale de la santé animale, celle-ci doit en effet notamment assurer à l'animal la possibilité d'exprimer ses comportements naturels.



par exemple, sont des interventions courantes pour éviter des problèmes d'élevage ou pour satisfaire des exigences de qualité.

Aujourd'hui, par exemple, c'est la castration des porcs qui est au centre de l'attention. Autorisée pour les porcelets de moins de sept jours, l'ablation des testicules permet de limiter les comportements agressifs et de supprimer les odeurs désagréables que dégage la viande issue de certains mâles entiers. Depuis quelques années, des pays scandinaves poussent le reste de l'Europe à la supprimer. Alors qu'elle était réalisée à vif par tous les producteurs français, une coopérative bretonne de 2 700 éleveurs, la Cooperl, a décidé de suivre le mouvement.

Éviter les souffrances ne suffit pas à assurer le bien-être : l'animal doit aussi être reconnu comme un sujet

L'avantage économique généré par cette mesure facilite certainement la transition : le porc entier consomme moins d'aliments que le castré. Des représentants de la filière porcine européenne se sont engagés, sous conditions, à mettre fin à ce procédé d'ici 2018. Le principal défi ? Supprimer les odeurs du mâle entier. L'Institut du porc (Ifip) a étudié plusieurs solutions : « La sélection génétique et l'alimentation

jouent un rôle déterminant. Nous avons aussi testé un vaccin inhibant le développement testiculaire. Une autre alternative serait de ne produire, par insémination, que des porcs femelles. Mais le tri des semences est compliqué », détaille Patrick Chevillon, ingénieur à l'Ifip. Aujourd'hui, 17 % des éleveurs français ont arrêté la castration. Il sera en revanche difficile d'atteindre les 100 % en 2018, « car cela implique un tri des carcasses odorantes à l'abattoir et de nouvelles voies de commercialisation ».

Mais éviter les souffrances ne suffit pas à assurer le bien-être. Et un récent avis du comité d'éthique pour la recherche agronomique soutient qu'il va falloir « adapter les conditions d'élevage aux

comportements naturels des animaux. C'est dans ce cas seulement que l'animal n'est plus traité comme un objet, mais reconnu comme un sujet. »

Les éthologues passent au peigne fin les comportements des animaux domestiques. Première évidence : ce sont des êtres sociaux. « Ils ont été sélectionnés sur leur capacité à vivre en groupe », rappelle Alain Boissy, chercheur à l'Inra. Une capacité

très altérée par les contraintes de l'élevage. Le chercheur a ainsi étudié des veaux qui, une fois sevrés, sont transportés vers des centres d'engraissement, où ils sont séparés en lots selon leur gabarit : « *Les taurillons s'entendent mieux s'ils se connaissent depuis leur plus jeune âge. Donc préserver des groupes de quelques bêtes issues du même élevage facilite leur intégration et limite les confrontations.* »

DES PREUVES DE STRESS

Même constat sur le tout premier lien social du veau, celui qu'il établit avec sa mère, et qui, dans les élevages laitiers, est souvent rompu dans les heures suivant la naissance. Des chercheurs allemands et autrichiens ont comparé l'effet d'un élevage maternel ou artificiel sur différents groupes de veaux. Ceux ayant reçu du lait par une machine, sans contact avec leurs congénères, s'avéraient moins actifs et moins explorateurs que les veaux ayant bénéficié d'un allaitement maternel. Ils présentaient aussi un taux de cortisol et un rythme cardiaque plus élevés, signes de stress. Une évidence ? « *Les preuves scientifiques sont cruciales pour faire évoluer l'élevage* », considère Cédric Sueur, éthologue à l'université de Strasbourg.

Les éthologues se préoccupent aussi de comportements anormaux fréquents dans les fermes : se balancer, mordre ses congénères ou tenter d'arracher ses barrières. « *L'animal est un être actif. Dans son milieu naturel, il passe son temps à chercher de la nourriture* », explique l'éthologue. Le cochon, par exemple, aime fouir le sol, mordiller, se frotter... Enfermé, il s'ennuie et se tourne vers sa seule source de distraction : ses semblables. « *En mettant à sa disposition un substrat adapté, comme de la paille, ou des objets récréatifs, on réduit le risque de cannibalisme* », affirme Marie-Christine Salaün, chercheuse en systèmes porcins à l'Inra. « *Mais, bien sûr, l'idéal serait de remettre les animaux dans leur*



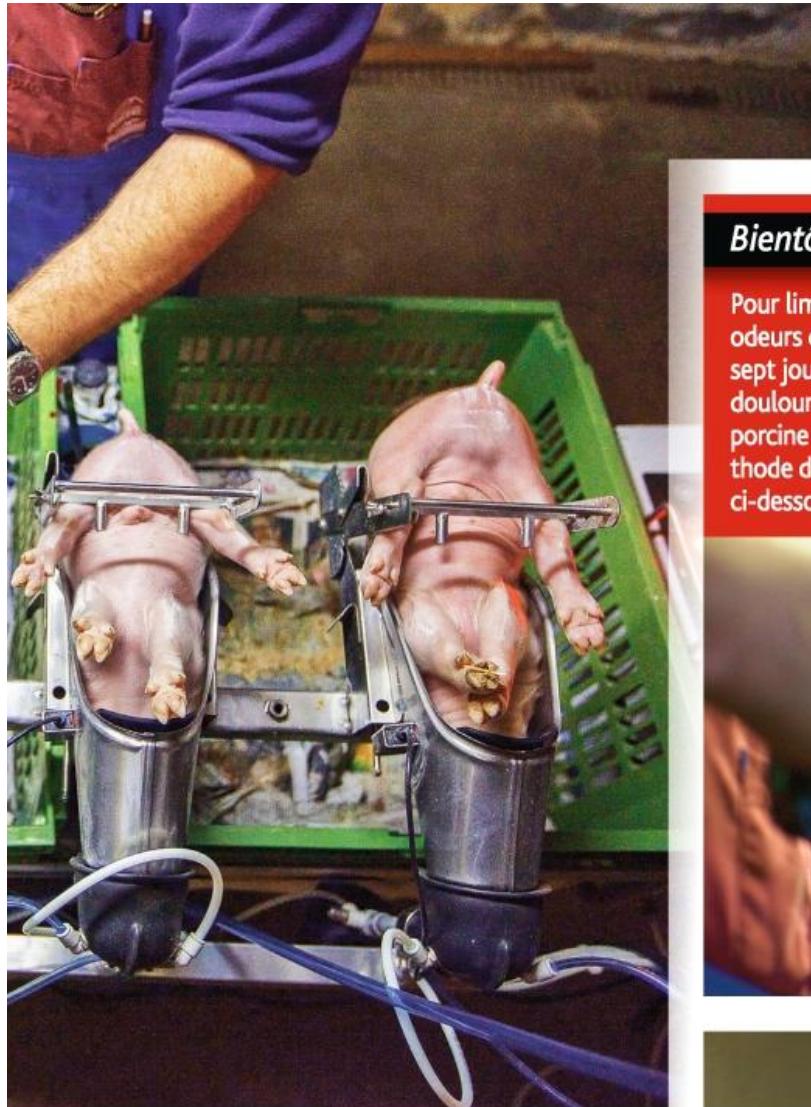
ni tout noir pour les élevages intensifs. Aucun critère ne peut à lui seul déterminer l'état de bien-être. »

L'élevage de précision, qui propose des systèmes de mesure sophistiqués comme le suivi du vêlage grâce à des capteurs implantés dans l'utérus de la vache, ou l'étude des mouvements des poulets par caméra infrarouge, pourra-t-il objectiver la notion de bien-être ? On peut le penser. Ou déplorer cette évolution, comme Jocelyne Porcher : « *On va toujours plus loin dans la désaffection pour les animaux. Pourtant, l'élevage, c'est l'histoire d'une relation entre*

Dans son milieu naturel, l'animal passe son temps à chercher de la nourriture. Enfermé, il s'ennuie et agresse ses semblables

milieu naturel », concède Cédric Sueur. Un accès au plein air, une densité moins élevée, ne serait-ce pas la solution ? Et que penser de la tendance actuelle à la concentration des cheptels ? « *Comme les grands élevages sont découpés en lots, l'animal ne ressent pas forcément la taille de l'exploitation comme une contrainte* », répond François Courouble, vétérinaire référent au Syndicat national des groupements techniques vétérinaires. Alain Boissy, lui, estime que « *ce n'est ni tout blanc pour les élevages de plein air*

l'homme et les animaux : ces derniers donnaient leur vie, l'éleveur leur offrait une bonne existence. Une relation du don et de la dette qui a été cassée. » L'avenir se situe ailleurs, juge-t-elle, dans un élevage en plein air et à taille humaine, plus proche des consommateurs. À condition qu'ils soient prêts à y mettre le prix. Car c'est bien là le nœud du problème : l'équation économique qui se pose aux éleveurs est rarement compatible avec l'injonction qui leur est faite de se soucier du bien-être animal. ●



Bientôt la fin de la castration à vif des porcelets

Pour limiter les comportements agressifs et supprimer les odeurs désagréables de la viande, les porcelets de moins de sept jours sont castrés. Or la technique est nécessairement douloureuse, puisqu'elle se fait généralement à vif. La filière porcine européenne s'est engagée à mettre fin à cette méthode d'ici 2018. En Suisse, par exemple (photos ci-contre et ci-dessous), les animaux sont anesthésiés avant l'opération.



Vers des poussins mâles tués dans l'œuf ?

KESTONE/MAXPPP - M. GOTTSCHALK/PHOTOTHEKE.NET - ROZE/ANDIA

Dans la filière des poules pondeuses, 3,2 milliards de poussins mâles, inutiles, sont tués chaque année dans le monde après identification (à dr.). C'est le chiffre qu'avancent les acteurs du projet néerlandais In Ovo, qui vise à déterminer le sexe dès le stade de l'œuf. L'espoir pourrait aussi venir d'une technique spectrométrique mise au point à Leipzig (ci-dessus) et qui permet de trier les embryons au troisième jour.





▲ L'élevage des insectes (ici, des grillons) nécessite beaucoup moins d'eau, d'aliments et de surface que celui des bovins.

ALIMENTS

Trouver des alternatives à la viande

Alors qu'elle ne cesse de croître, la consommation de viande coûte cher à la planète : gaz à effet de serre, pollution, captation de la production végétale... Il est urgent de s'intéresser à d'autres sources de protéines.

PAR CORALIE HANCOCK

Les insectes débarquent dans les assiettes occidentales

Consommés traditionnellement dans une centaine de pays (surtout sur les continents africain et asiatique), les insectes sont encore une denrée rare pour les Occidentaux. En Europe, Micronutris (photos ci-contre) est l'entreprise pionnière de l'élevage d'insectes à destination de l'alimentation humaine. Une activité qui présente de nombreux bénéfices environnementaux: selon Cédric Auriol, le fondateur de la société, la production d'insectes consomme 7 fois moins de végétaux, 50 fois moins d'eau et produit 100 fois moins d'émissions de gaz à effet de serre que celle de bovins, pour des qualités nutritionnelles équivalentes voire supérieures.



En 2014, l'humanité a produit et consommé 312 millions de tonnes de viande, soit en moyenne 43 kilos par habitant. Un chiffre record qui, selon les économistes, devrait continuer à croître. « *Non seulement le nombre d'habitants sur la planète va augmenter, mais, en plus, on sait que la progression du revenu moyen des habitants dans les pays en voie de développement s'accompagne presque toujours d'une augmentation de la consommation de produits d'origine animale* », avertit Pierre Combris, économiste au sein de l'unité Alimentation et Sciences sociales de l'Inra. « *En 2050, on estime que la consommation de porc devrait être multipliée par 1,4, celle du bœuf par 1,6, celle de volaille par 2,6 et celle de mouton par 1,8* », confirme Pierre Feillet, directeur de recherche émérite à l'Inra et membre de l'Académie des technologies. Faut-il, dès lors, développer et intensifier encore plus l'élevage? Pas sûr que la solution soit là. Car la consommation de viande, et

plus largement de protéines animales, coûte cher à la planète. Ainsi, selon un rapport publié en 2014 par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (la FAO), avec des émissions estimées à 7,1 milliards de tonnes d'équivalent CO₂ par an, le secteur de l'élevage ne représente pas moins de 14,5 % des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique. Toujours selon le même rapport, produire 1 kilo de poids de carcasse de bœuf relâcherait dans l'atmosphère l'équivalent de 46 kilos de CO₂. Pour le mouton, le porc et le poulet, les rejets seraient respectivement de 23,8, 6,1 et 5,4 kilos de CO₂ par kilo de carcasse produite.

DES ANIMAUX GOURMANDS EN EAU

Pire, le bilan environnemental ne se limite pas aux émissions de gaz à effet de serre. Les animaux d'élevage sont également gourmands en eau, leurs excréments – s'ils ne sont pas ou mal traités – polluent les nappes phréatiques et les rivières, tandis que leur alimentation nécessite la mobilisation d'immenses surfaces de terres agricoles (voir encadré pages suivantes). Des terres qui sont parfois grignotées sur les forêts primaires aux dépens de la biodiversité et qui ont, *in fine*, un rendement



Le cycle de croissance des vers de farine dure trois mois, durant lesquels les larves grossissent dans des bacs en plastique et sont nourries avec des légumes (morceaux et épluchures).

Les vers sont ensuite déshydratés pour être vendus tels quels, ou bien réduits en poudre et intégrés à divers produits: biscuits, pâtes, mais aussi tablettes de chocolat!



Aliments

plutôt faible, alors qu'elles pourraient être utilisées pour nourrir directement les humains. « Il faut respectivement 2,4, 2,8, 3,3 et 9,8 kilos de protéines végétales pour produire un seul kilo de protéines de poisson, de poulet, de porc et de bœuf », indique Michel Lopez, directeur des projets R&D de la plate-forme européenne Improve, dédiée à la valorisation des protéines végétales.

Au vu de ce bilan peu favorable, il apparaît évident que, si l'on veut nourrir l'ensemble des habitants de la planète et ce, de façon plus durable, il faut réduire notre consommation de produits d'origine animale. « Le scénario le moins stressant pour l'environnement indique qu'il ne faudrait pas

international de recherche sur le cancer (Circ) a, en effet, classé la viande rouge (bœuf, veau, porc, mouton, agneau, cheval et chèvre) comme cancérogène probable, et la viande transformée (saucisses, jambon, corned-beef, sauces à base de viande, etc.) comme cancérogène. Et, outre le risque cancéreux, la consommation excessive de produits d'origine animale est également connue pour favoriser les maladies cardio-vasculaires du fait de leur forte teneur en graisses saturées. D'où l'intérêt d'aller vers d'autres sources de protéines.

Alors comment faire? En développant de nouveaux aliments qui constituent une alternative aux protéines animales conventionnelles, répondent

Le secteur de l'élevage représente à lui seul 14,5 % des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique

dépasser plus de 500 kcal de produits d'origine animale par personne et par jour, soit deux fois moins que la consommation moyenne actuelle des Français », affirme Pierre Combris.

Pour la santé aussi, il est recommandé de diversifier et de limiter sa consommation de produits d'origine animale. En octobre 2015, le Centre

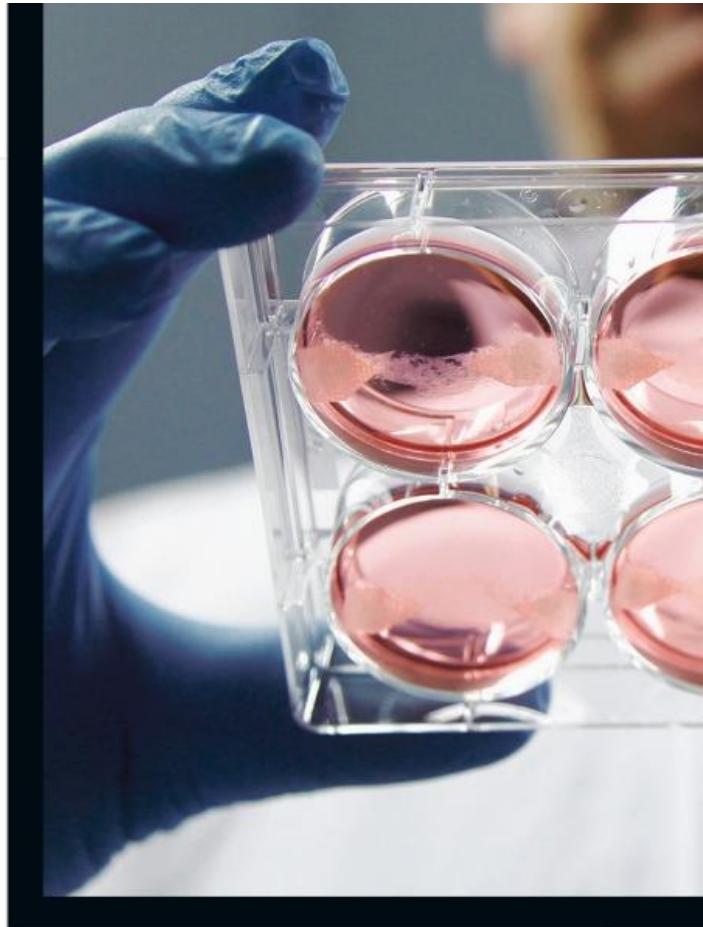
de concert la plupart des experts que nous avons interrogés. Mais tous n'ont pas le même avis sur la nature de ces produits...

Première piste, mise en avant notamment par la FAO : développer la production et la consommation d'insectes. « Les bénéfices environnementaux de l'élevage des insectes pour l'alimentation humaine

et animale reposent sur la grande efficacité des insectes dans la conversion des aliments. Les grillons, par exemple, n'ont besoin que de 2 kilos d'aliments pour accroître leur masse corporelle de 1 kilo. De plus, les insectes peuvent être élevés sur des sous-produits organiques (y compris les déchets excrétés par les humains ou les animaux) et peuvent contribuer à réduire la contamination de l'environnement », peut-on ainsi lire dans un rapport de la FAO publié en 2014 sur ce sujet.

UN PLAT DE PÂTES À BASE DE LARVES

« La production d'insectes consomme 7 fois moins de végétaux, 50 fois moins d'eau et produit 100 fois moins d'émissions de gaz à effet de serre que celle de bovins », avance de son côté Cédric Auriol, fondateur de la société Micronutris basée à Toulouse et spécialisée dans l'élevage d'insectes pour l'alimentation humaine. Quant à leurs qualités nutritionnelles, ajoute-t-il, « elles sont équivalentes, voire supérieures à celles de la viande ». Mais peut-on pour autant compter sur les insectes pour réduire notre consommation de viande ? Pour Cédric Auriol, la réponse est oui, au moins en partie. « Les pâtes que nous avons développées et qui contiennent 88 % de farine de blé et 10 % de larves de ténébrions meuniers permettent d'obtenir une ration équilibrée sans avoir à ajouter d'autres sources de protéines animales, comme on le fait souvent quand on mange un plat de pâtes », argue-t-il.



Pierre Feillet, lui, se montre plus sceptique : « Certes, 2 milliards d'individus dans le monde consomment déjà des insectes, mais cela ne signifie pas que ceux-ci constituent une part significative de leurs apports en protéines animales, car cette consommation est le plus souvent très limitée et épisodique. Pour obtenir l'équivalent calorique d'un steak de bœuf, il faudrait manger 50 grosses

L'ALIMENTATION ANIMALE EST ÉGALEMENT À REPENSER

« Sur les 10 milliards de tonnes d'agroressources (céréales, oléagineux, fruits, légumes...) produites chaque année dans le monde, 74 % sont destinées à l'alimentation animale », indique Michel Lopez, de la plate-forme européenne Improve dédiée à la valorisation des protéines végétales. « L'alimentation explique à elle seule environ 60 % de l'empreinte écologique des animaux d'élevage », ajoute Sandrine Espagnol, de l'Ifip-Institut du porc. Si l'on veut diminuer l'empreinte écologique de notre

consommation de viande, il faut donc que l'alimentation des animaux soit elle-même plus durable. Pour ce faire, il faut connaître l'impact des différents aliments pour animaux. C'est l'objectif du projet EcoAlim, coordonné par Sandrine Espagnol. « Nous avons calculé les impacts environnementaux (émissions de gaz à effet de serre, consommation d'énergie, occupation de surface, acidification des sols...) d'une soixantaine de matières premières utilisées en alimentation animale. Il apparaît ainsi que le tourteau de soja

importe [23,2 millions de tonnes en 2010 pour l'Union européenne] et issu de cultures qui ont nécessité la déforestation en Amazonie est l'un des aliments dont l'impact environnemental est le plus fort, détaille-t-elle. À l'inverse, le colza, le tournesol ou les protéagineux (pois, féverole, luzerne) ont un impact bien plus faible. » Plus innovant, le projet Desirable, coordonné par Samir Mezdour, d'AgroParisTech, vise à concevoir une bioraffinerie d'insectes produisant des protéines pour les volailles et les poissons d'élevage.

De quoi générer moins de gaz à effet de serre et préserver la ressource halieutique, alors qu'une part importante de la pêche sert à nourrir des poissons d'élevage. « Il reste de nombreux obstacles, en ce qui concerne la mise en place d'élevages, la transformation des insectes en farines ou la réglementation. Et, pour l'heure, le coût d'une farine d'insectes est estimé entre 7 et 10 € par kilo, contre 1 € pour 1 kilo de farine de poisson. Mais il existe un potentiel, au moins comme complément alimentaire », explique le chercheur. Autre



Demain, des steaks de viande artificielle ?

En 2013, le scientifique néerlandais Mark Post a été le premier à proposer de la viande produite *in vitro*, à partir de cellules de muscle de vache cultivées dans un milieu artificiel enrichi en sérum de fœtus de veau, en hormones et autres nutriments. Mais la texture des 3 steaks obtenus laisse encore à désirer et le prix est carrément prohibitif: 290 000 € l'unité!

chenilles. Un objectif difficilement atteignable ! » Même son de cloche du côté de Céline Laisney, fondatrice d'AlimAvenir, cabinet spécialisé dans la veille et la prospective de l'alimentation : « Selon moi, les insectes ont un potentiel dans les régions du monde où ils font déjà partie des habitudes alimentaires. Dans les pays développés, je ne pense pas qu'on en aura besoin, d'autant que l'acceptabilité

des consommateurs est très faible. Certaines start-up se sont lancées sur le marché, mais cela ne dépassera probablement pas un marché de niche : celui d'une consommation occasionnelle de jeunes plutôt urbains. » Quelques grillons à l'apéro, tout au plus...

Bien loin de la consommation d'insectes héritée de certaines traditions ancestrales, d'autres misent sur des aliments complètement nouveaux et carrément

> Le krill est une source de protéines de plus en plus exploitée pour produire des farines destinées à l'aquaculture.

source de protéines: le krill. Lors de la saison de pêche 2014-2015, 294 000 tonnes de krill ont été pêchées, principalement pour confectionner des farines à destination de l'aquaculture. Riches en oméga 3, ces petites crevettes contiennent aussi de grandes quantités de caroténoïdes, des pigments qui donneront à la chair des poissons une belle coloration orangée très prisée des consommateurs, et donc des aquaculteurs.



Aliments

futuristes. C'est le cas de Mark Post. En 2013, ce professeur de physiologie vasculaire à l'université de Maastricht (Pays-Bas) annonçait être parvenu à produire le premier steak de viande artificielle cultivée *in vitro* (voir *S&V* n°1132 et 1153). Ici, plus besoin d'élevage, la viande serait produite à la chaîne en laboratoire ! Pour ce faire, le chercheur a prélevé des cellules souches issues de muscle de vache, puis les a fait pousser dans un milieu de culture enrichi en sérum de fœtus de veau, en hormones et autres nutriments, jusqu'à obtenir suffisamment de fibres musculaires pour fabriquer trois steaks de 140 grammes.

JUSTE UN AMAS DE CELLULES MUSCULAIRES

Mais ce que le chercheur néerlandais a obtenu ne ressemble pas encore à une belle bavette : « *Il ne s'agit que d'un amas de cellules musculaires non-organisées*, dénonce Jean-François Hocquette, directeur de recherche à l'Inra au sein de l'unité de recherche sur les herbivores. *Or, le muscle, c'est aussi des cellules adipeuses, nerveuses et vasculaires qui, associées aux cellules musculaires, confèrent au tissu musculaire une structure complexe. De plus, la viande, ce n'est pas exactement du muscle : il ne faut pas oublier toutes les réactions biochimiques qui ont lieu naturellement dans la viande après l'abattage de l'animal en raison de l'arrêt de l'apport d'oxygène au muscle. Ce processus de maturation est très important pour obtenir une texture et un goût satisfaisants.* »

Mais, tout comme les insectes, la viande artificielle séduira-t-elle les consommateurs occidentaux ? « *Aujourd'hui, ceux-ci recherchent de plus en plus de naturalité, des produits moins transformés, bio ou locaux. Le côté hyperindustriel de la viande cultivée in vitro me semble à l'opposé des tendances que l'on observe actuellement dans la consommation alimentaire* », estime Céline Laisney. Si bien que pour la prospectiviste, comme pour de nombreux experts, les aliments les plus prometteurs sont peut-être les moins surprenants. Il s'agit d'aliments riches en protéines végétales. Un régime alimentaire équilibré peut, en effet, se passer de viande et de poisson : à condition d'intégrer œufs et produits laitiers, comme c'est le cas dans un régime végétarien, il n'entraîne pas de carence (à la différence d'un régime végétalien où tous les produits d'origine animale sont bannis et qui peut conduire à certaines carences).

Certains de ces aliments sont déjà bien connus. Qui n'a jamais entendu parler, si ce n'est goûté, du tofu japonais ? « *Principalement consommés en Asie, les aliments à base de soja ont connu une belle progression ces dernières années en Occident. Aux États-Unis, leur marché a atteint 5 milliards de dollars en 2011* », souligne Pierre Feillet. Mais le soja n'est pas la seule source de protéines végétales possible : blé, pois, lupin, féverole et même champignons sont aussi sur les rangs. Crée en 1995, la société britannique Quorn a ainsi mis au point des substituts de viande à base de mycoprotéine, une

Les aliments les plus prometteurs sont peut-être les moins surprenants, comme le tofu, le blé, le pois ou le lupin

Pour se rapprocher au maximum du goût, de la texture et de la couleur de la viande, les steaks conçus en 2013 par Mark Post avaient été assaisonnés d'un peu de sel, d'œuf déshydraté, de chapelure, de safran et de jus de betterave. « *Nous sommes parfaitement conscients que ce n'est pas de la vraie viande, reconnaît-il, mais nous travaillons à son amélioration, en cultivant aussi des cellules adipeuses et en essayant d'obtenir un tissu épais comme une entrecôte.* » Reste la question du coût, estimé pour l'heure à près de 290 000 € l'unité ! « *En augmentant la production, il baissera inévitablement* », assure le scientifique qui, confiant, annonce d'ores et déjà qu' « *un premier produit sera disponible pour les consommateurs d'ici quatre ou cinq ans, et [que] seulement deux à trois années supplémentaires seront nécessaires pour que les supermarchés proposent des prix compétitifs* ».

protéine issue de champignons, et propose désormais une centaine de références allant du steak aux filets en passant par la « viande » hachée ou les saucisses. Après avoir investi le marché américain en 2002, ses produits sont vendus en France depuis le printemps 2015 dans 70 magasins Carrefour.

DES SUBVENTIONS POUR LES PROTÉAGINEUX

De nouvelles cultures ou des cultures oubliées pourraient donc à l'avenir être amenées à se (re)développer. Dans le cadre du verdissement de la Politique agricole commune, des subventions européennes sont d'ailleurs désormais accordées aux agriculteurs qui choisissent de se convertir à la culture de protéagineux. Parmi eux, le lupin, autrefois réservé à l'alimentation animale, a connu ces dernières années un bel essor, porté notamment par son intégration dans les produits sans gluten.





▲ Première étape de la fabrication du tofu: l'obtention du lait de soja à partir des graines (ici, au moyen d'une machine, dans la société suisse Noppa). Lait que l'on fait « cailler » grâce à l'ajout d'un coagulant (sels ou acides).



▲ Le caillé est ensuite versé dans un moule à tofu. Une fois bien égoutté, il est pressé, afin que sa consistance devienne plus ferme.



Le tofu, un aliment issu de la cuisine asiatique

Si les produits dérivés de soja étaient auparavant surtout consommés en Asie ou par les végétariens, ils se sont développés ces dernières années en Occident. Ainsi, le tofu est désormais bien connu dans nos contrées, notamment grâce aux restaurants japonais. C'est un jus de soja coagulé (photos ci-contre), peu odorant et de goût plutôt neutre, ressemblant à un fromage frais. Les Asiatiques le relèvent souvent avec des épices et le font sauter avec des légumes. Mais c'est peut-être sous une autre forme que le soja aura le plus de succès chez les Occidentaux. De nouvelles techniques permettent désormais de créer des produits végétaux à la texture proche de celle de la viande. Depuis 2012, la société américaine Beyond Meat propose ainsi du faux poulet à base de soja. Un aliment sans doute plus proche du goût des consommateurs occidentaux que le tofu...



▲ Le bloc de tofu est ensuite coupé en portions plus petites, qui peuvent être assaisonnées de diverses manières ou bien gardées nature.

Aliments

« Outre le développement et la culture de nouvelles sources de protéines végétales, l'innovation peut aussi se situer plus en aval, notamment dans les procédés d'extraction ou dans la formulation de produits alimentaires incorporant des protéines végétales », signale Morgane Estève-Saillard, secrétaire générale du GEPV (Groupe d'étude et de promotion des protéines végétales). « Pour produire du tofu, la technique ancestrale consiste à faire tremper dans l'eau des graines de soja dépelliculées. L'ensemble est broyé, puis on sépare la phase émulsionnée de la phase solide. L'émulsion est alors coagulée par l'addition d'un sel alimentaire naturel. On obtient alors un produit dont la texture est plus proche d'un caillé fromager que de la viande, détaille Michel Lopez, de la plate-forme Improve. Mais, avec les techniques développées récemment, on est désormais capable d'obtenir des textures très proches de celle de la viande. »

DU FAUX POULET 100 % VÉGÉTAL

Parmi ces techniques, citons ainsi la cuisson-extrusion en milieu humide. « Cette technologie utilise des poudres de protéines concentrées qui sont mélangées et cuites en même temps avec de l'eau. La suspension de protéines chaude est ensuite introduite sous pression dans une filière refroidie pour créer une structure fibreuse », explique Florian Wild, un chercheur allemand qui a coordonné entre 2010 et 2012 le projet européen LikeMeat. « Durant ce projet, nous avons développé trois produits de base différents, qui ont ensuite été utilisés par nos partenaires industriels pour développer des sauces bolognaises, des burgers ou des escalopes », ajoute-t-il. Aux États-Unis, l'entreprise américaine Beyond Meat utilise également cette technologie et commercialise un faux poulet à base de soja depuis 2012, et du faux bœuf à base de pois depuis 2014. En goûtant les filets de « poulet » Beyond Meat, un célèbre critique gastronomique américain affirme s'y être trompé. L'ère de la « viande végétale » serait-elle arrivée ? En tout cas, l'appellation fait débat.

« On peut inventer plein de produits à base de protéines végétales. Si l'un d'eux plaît, il se substituera naturellement à autre chose, et notamment à la viande, sans que l'on ait besoin de le vendre comme une fausse viande », conclut Pierre Combris. C'est donc du côté de l'industrie agro-alimentaire et non de la production agricole que sont attendues les innovations capables de modifier nos habitudes de consommateurs. À condition, toutefois, que nous les acceptions... ●



ET BIENTÔT DES ALGUES POUR

Si la production de viande a un impact fort sur la planète, la culture de végétaux n'est pas non plus exemplaire : elle aussi émet des gaz à effet de serre et mobilise d'importantes quantités de terres et d'eau. « Si l'on prélève dans les rivières, lacs et nappes phréatiques en moyenne 600 litres d'eau par kilo de rumsteck, il en faut presque autant, soit 500 litres, pour 1 kilo de riz et environ 300 pour 1 kilo de pain ou de pâtes », indique Pierre Feillet, directeur de recherche émérite à l'Inra. Et c'est sans compter les tonnes d'engrais et de pesticides déversées chaque année pour améliorer ou préserver les rendements. Des inconvénients dont s'affranchit une catégorie d'aliments végétaux

en pleine expansion : les algues. « Les algues poussent dans l'eau de mer. Il n'y a donc pas de concurrence avec les terres agricoles et aucun besoin de les arroser. Elles se développent sans produits phytosanitaires, peuvent contribuer à la dépollution et, pour certaines espèces, leur vitesse de croissance est 10 fois supérieure à celle du blé », détaille Yannick Lerat, directeur scientifique du Centre d'étude et de valorisation des algues (Ceva). En Europe, les algues sont essentiellement prélevées sur les gisements sauvages, soit en mer par des navires goémoniers, soit sur la rive. « Le prélevement sur la ressource sauvage n'est que de 1 million de tonnes par an au niveau mondial, mais si l'on veut maintenir une production



< En Asie, les algues sont depuis longtemps l'équivalent des légumes. Ce continent abrite la quasi-totalité de l'algoculture (20 millions de tonnes d'algues par an).

▼ En France, seules quelques entreprises cultivent ces « légumes de mer » (ici, du wakame), proposés frais, surgelés ou séchés.

REEMPLACER LES LÉGUMES ?

durable, c'est déjà le maximum, précise le chercheur. Si l'on veut augmenter la consommation d'algues, il faut donc les cultiver. »

FRAÎCHES OU SÉCHÉES

C'est d'ailleurs déjà le cas : 19 des 20 millions de tonnes d'algues produites annuellement dans le monde sont issues de l'algoculture. Mais celle-ci a principalement lieu en Asie. Il faut dire que, sur ce continent, l'utilisation des algues est bien différente de ce que l'on en fait en Europe. « Sur les 70 000 tonnes produites en France annuellement, 60 000 servent à fabriquer des alginates utilisés par l'industrie agroalimentaire comme épaisseurs, gélifiants, émulsifiants ou stabilisants. On est donc bien loin d'une utilisation des algues comme équivalents aux légumes. En Asie,

en revanche, on mange autant d'algues que de salades en Europe », indique Yannick Lerat. Alors ? Ces « légumes de mer » vont-ils bientôt apparaître dans l'assiette des Occidentaux et se substituer, au moins en partie, à nos légumes de terre ? Pour l'instant, on en est encore loin, mais c'est l'ambition portée par Jakès Prat, d'Algolesko, l'une des quelques entreprises françaises à s'être lancée dans l'algoculture et qui produit en Bretagne des algues séchées, des algues surgelées, et des fraîches, salées. « Une fois dessalées, ces dernières se cuisinent comme des légumes, explique-t-il. Et, si le marché est encore tout petit, nous espérons le développer avec la distribution de nos algues sur l'ensemble du territoire français dès cette année. »



▲ Le contrôle sanitaire des aliments (ici, recherche de la bactérie *E. coli*) est l'un des aspects de la lutte contre les infections d'origine animale.



SANTÉ

Garantir la sécurité sanitaire

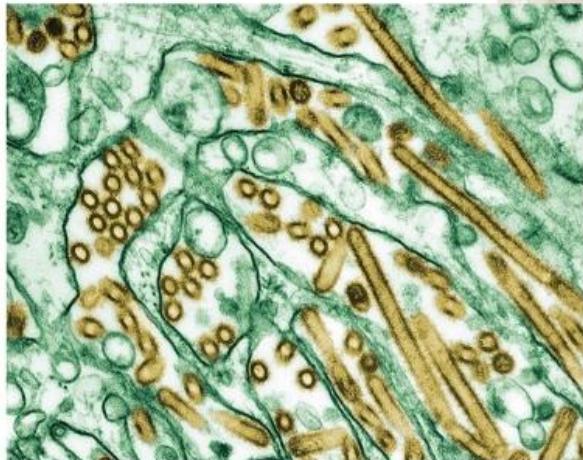
L'agriculture assure la survie des populations, mais peut aussi être à l'origine de graves problèmes de santé. Épidémies mal contrôlées, usage de produits toxiques... Certaines pratiques doivent impérativement être revues.

PAR LISE BARNÉOUD ET KHEIRA BETTAYEB

Contenir les épidémies animales

De nombreuses maladies infectieuses peuvent terrasser les élevages et menacer les humains. Une surveillance accrue des cheptels s'impose pour éviter de nouvelles crises sanitaires.

Leur nom évoque autant de drames et de psychoses. Grippe aviaire, peste porcine, fièvre aphteuse... Dues à toutes sortes d'agents pathogènes (bactéries, virus, parasites...), ces « épizooties » (épidémies venues des animaux) font courir des dangers sanitaires importants aux populations humaines et des risques économiques énormes aux éleveurs. Or, les cas de grippe aviaire déclarés en novembre dernier sur des volailles du sud-ouest de la France (d'où elle avait disparu depuis 2006) l'ont rappelé : une maladie infectieuse peut surgir dans n'importe quel élevage. Et, hors de contrôle, la contamination d'un cheptel peut entraîner une épidémie humaine mondiale, comme celle de la grippe « espagnole » survenue en 1918 et probablement issue de canards sauvages en Chine, qui a fait plusieurs dizaines de millions de morts. Une perspective qui fait trembler tous les gouvernements. Ainsi, surveiller de près les maladies et faire évoluer les dispositifs actuels pour prédire au mieux leur arrivée et éviter leur diffusion est un enjeu décisif pour l'agriculture.



▲ Transmissible à l'homme, le virus de la grippe aviaire a provoqué une grave épidémie partie d'Asie en 2005 (ici, à New Delhi), qui a atteint la France en 2006.

Au niveau international, cette surveillance est orchestrée conjointement par l'OIE (Organisation mondiale de la santé animale), la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) et l'OMS (Organisation mondiale de la santé) via le Global Early Warning and Response System. En France, elle est réalisée par de nombreux acteurs sur le terrain, sous la houlette du ministère de l'Agriculture. Éleveurs, vétérinaires, chasseurs et agents de l'Office national de la



chasse et de la faune sauvage sont chargés de signaler tout cas observé de maladie réglementée.

MALADIES RÉÉMERGENTES

En parallèle, des laboratoires et des organismes de recherche prennent en charge le diagnostic et le suivi de la situation, et émettent des conseils pour la gérer. Fin 2011, ce réseau s'est enrichi d'une Plateforme nationale de surveillance épidémiologique en santé animale (ESA), destinée à faciliter la collaboration entre



les acteurs. « Une telle structure était indispensable pour relever le défi auquel on est confrontés depuis quelques décennies : l'émergence de nouvelles maladies sur notre territoire », souligne Didier Calavas, le coordinateur de la plateforme.

Posent tout d'abord problème les maladies réémergentes qui, après avoir été éradiquées ou quasi-éradiquées, ont ressurgi il y a quelques années. « C'est le cas de la brucellose bovine disparue en France depuis 2003 et qui a

fait son retour en 2012 ; ou de la tuberculose bovine, dont la France était officiellement indemne depuis 2000 et qui connaît une recrudescence depuis 2003-2004 », note Barbara Dufour, de l'École nationale vétérinaire d'Alfort (ENVA). Ces maladies sévissent à nouveau notamment car les agents pathogènes infectent toujours la faune sauvage (bouquetins, sangliers...) qui peut contaminer les élevages. De plus, « lorsqu'un agent pathogène ne circule plus dans un cheptel, les animaux perdent leur

immunité contre lui et y sont plus sensibles quand ils le rencontrent ultérieurement », précise la chercheuse. Et comme les éleveurs et les vétérinaires n'ont plus l'habitude d'observer les maladies éradiquées, ils ne reconnaissent pas bien leurs premiers signes cliniques ou ne sont pas assez vigilants. La solution : « Améliorer la sensibilisation et la formation des éleveurs et des vétérinaires, afin qu'ils reconnaissent et signalent le plus précocelement possible ces maladies », précise Barbara Dufour.

> Pour éviter les épidémies, il faut empêcher que les germes ne se diffusent. D'où la nécessité d'une surveillance constante des cheptels.

▼ L'alimentation doit aussi faire l'objet de contrôles sanitaires, étant l'un des vecteurs de contamination entre les animaux et les humains.



Les maladies « exotiques » posent un problème plus complexe. « *L'émergence de ces maladies est notamment liée à la mondialisation, qui a permis la multiplication des échanges d'animaux et des personnes, et ainsi la diffusion de maladies d'un pays à l'autre, parfois sur de longues distances* », indique Barbara Dufour. Ces dernières décennies, l'Europe a dû faire face à plusieurs crises

sanitaires liées à l'émergence d'agents pathogènes exotiques, comme la fièvre aphteuse, en 2001, et la grippe aviaire, en 2006, dues à des virus venus d'Asie. Mais, à cause de l'augmentation des flux d'animaux et de marchandises, le pire est sans doute à venir. Or la surveillance de ces

affections est un vrai casse-tête, explique Barbara Dufour : même si l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation) en a répertorié 62, « *il est très difficile de prédire quelle est celle qui arrivera sur notre territoire demain.* » Ce que confirme Didier Calavas, au regard des

MALADIE DE LA VACHE FOLLE: UNE CRISE SANS PRÉCÉDENT

Dans les années 1990, une maladie animale, l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB ou « maladie de la vache folle »), a déclenché une crise sans précédent en Europe.

Transmissible à l'humain via l'ingestion de produits animaux infectés, l'ESB est une infection dégénérative de l'encéphale et de la moelle épinière incurable, due à une protéine anor-

male appelée prion. Il s'agit donc d'un agent pathogène dénué de matériel génétique, contrairement aux plus classiques virus, bactéries et parasites.

Apparue au Royaume-Uni en 1985, l'ESB s'est rapidement propagée à plusieurs pays européens dont la France (en 1991), à cause de l'utilisation pour l'alimentation du bétail de farines animales fabriquées

à partir de carcasses de bovins infectés. Crise éthique liée à la découverte de cette pratique, fortes pertes humaines (173 au Royaume-Uni et 25 en France) et animales (plus de 190 000), chute de la consommation de viande bovine, embargo sur le bœuf britannique, chute des revenus des agriculteurs... les conséquences furent multiples et graves.

Au nom du principe de précaution, l'Union européenne et la France prirent une série de mesures pour maîtriser ce danger, dont l'interdiction des farines animales pour tous les animaux d'élevage et le dépistage à l'abattoir de tous les bovins d'un certain âge. Avec l'amélioration de la situation (depuis janvier 2015 la France est considérée comme à



événements de ces dernières années : « Personne n'a été capable d'anticiper ni de comprendre comment ont pu arriver en Europe des maladies animales exotiques comme la fièvre catarrhale ovine (aux Pays-Bas en 2006) ou la maladie de Schmallenberg (dans la même région en 2011). »

C'est que l'apparition d'une maladie exotique dépend de facteurs non-maîtrisables, comme la circulation des hommes et des animaux, ou encore les changements climatiques qui peuvent favoriser la migration d'insectes porteurs d'agents pathogènes.

NOUVEAUX VIRUS

Mais, surtout, ces derniers ne sont pas encore tous connus. Et de nouveaux pourraient apparaître par recombinaison entre différents germes. Selon une étude publiée en 2013, plus de 320 000 nouveaux virus pourraient être découverts chez les mammifères à l'avenir. Un chiffre obtenu en estimant le nombre de virus non-référencés chez la chauve-souris géante d'Inde, puis en extrapolant le résultat aux 5 486 espèces de mammifères connues.

Didier Calavas en est persuadé : la seule solution est de se préparer à toutes les maladies exotiques existant – ou n'existant pas encore – sur Terre, « en développant des outils de surveillance "générique" permettant de repérer et de lutter contre toute nouvelle maladie, dès lors qu'elle se

manifeste par des signes inhabituels dans les élevages. » Ainsi, une application informatique est actuellement à l'étude pour aider les vétérinaires à identifier toute maladie « bizarre » en entrant les signes cliniques observés.

Enfin, l'amélioration de la surveillance des maladies exotiques au niveau national passera aussi par un renforcement de cette attention au niveau international. « En aidant notamment les pays du Sud à surveiller les maladies sévissant chez eux, afin de limiter les conséquences dans ces contrées et le risque de transmission aux pays encore indemnes », souligne Thierry Lefrançois, du Cirad, à Montpellier.

Ces dernières années, l'OIE, la FAO et l'OMS ont donc développé le PVS Pathway, un outil qui aide les pays à évaluer les performances de leurs services vétérinaires, et le Système mondial d'information zoosanitaire, un dispositif accessible sur Internet qui émet des messages d'alerte précoce des événements épidémiologiques et permet de suivre au fil du temps l'éventuelle survenue des maladies. **KHEIRA BETTAYEB**

« risque négligeable » pour l'ESB, avec zéro cas d'ESB classique détecté depuis 2011, contre 84 en 2001), certaines de ces mesures ont été allégées. Ainsi, en France, l'âge seuil des bovins testés à l'abattoir a été progressivement relevé pour les animaux sans risque (de 30 mois en 2001 à 48 mois en 2009, puis à 72 mois en 2011), avant suppression complète

en janvier 2015 de ce dépistage pour les animaux nés depuis 2002. En 2013, Bruxelles a aussi autorisé, malgré l'opposition de la France, le retour des farines animales (de porcs et de volailles), mais uniquement pour l'alimentation des poissons d'élevage...

> Cette crise (ici, des échantillons de cerveaux bovins) a révélé l'usage controversé des farines animales.



CDC - MAXPPP - ROTOLIA

Endiguer la résistance aux antibiotiques

L'utilisation abusive d'antibiotiques dans l'élevage a dopé l'antibiorésistance. Des solutions existent pour ce problème mondial, mais elles doivent être coordonnées à l'échelle planétaire.

L'histoire est bien connue : l'ennemi a su détourner l'arme à son profit. Loin d'éradiquer les bactéries, les antibiotiques les ont subrepticement renforcées depuis leur introduction dans les années 1930. Championnes de l'évolution, elles ont développé des souches résistantes dont aucun médicament ne vient plus à bout. En cause ? L'utilisation abusive d'antibiotiques en médecine humaine, régulièrement dénoncée. Mais, ce que l'on sait moins, c'est que leur emploi n'est pas davantage raisonné au sein des élevages, qui sont autant, sinon plus, responsables du problème de l'antibiorésistance. En effet, au moins 50 % des antibiotiques produits dans le monde sont destinés aux animaux. Une proportion qui atteint même les 74 % aux États-Unis !

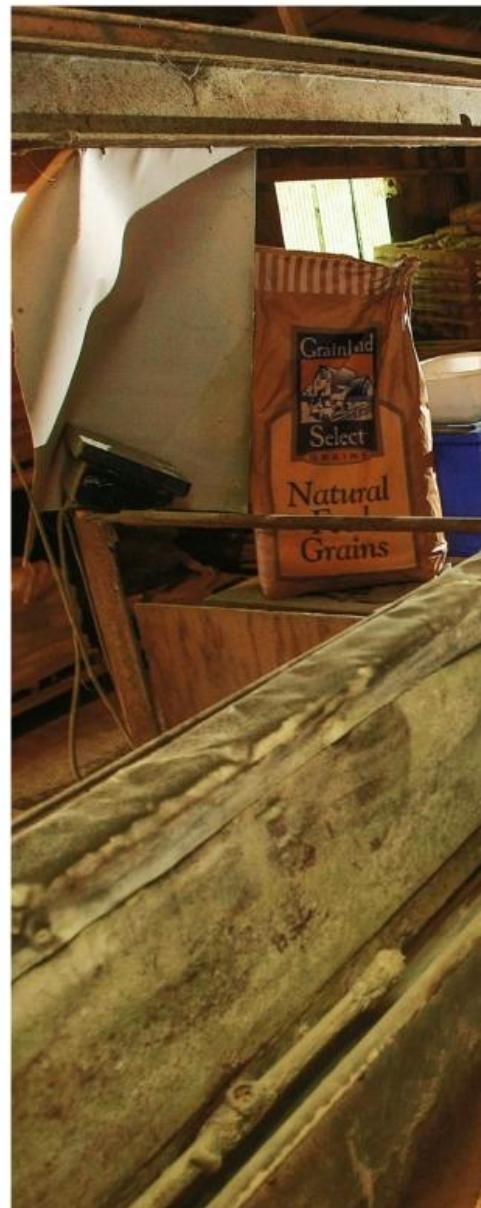
Or, l'homme et l'animal ayant recours aux mêmes médicaments, des bactéries peuvent acquérir une résistance chez le second, avant de contaminer directement le premier. « *Cela est possible lors de contacts avec les animaux, ou de l'ingestion de viande mal cuite, de lait cru*

ou de légumes cultivés sur des terres traitées avec des engrains à base de déjections animales », précise Gilles Salvat, directeur de la santé animale à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation (Anses).

DÉJÀ 700 000 DÉCÈS PAR AN

« *L'augmentation de la résistance aux antimicrobiens est une crise sanitaire mondiale* », s'est alarmée en octobre dernier Margaret Chan, directrice de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Ce phénomène pose des problèmes croissants dans tous les hôpitaux du monde. Ainsi, le staphylocoque doré résistant à la méticilline constitue une des principales causes d'infections nosocomiales dues à des bactéries résistantes. L'antibiorésistance cause déjà 700 000 décès tous les ans dans le monde et, à défaut d'une action efficace, entraînera 10 millions de décès par an d'ici à 2050...

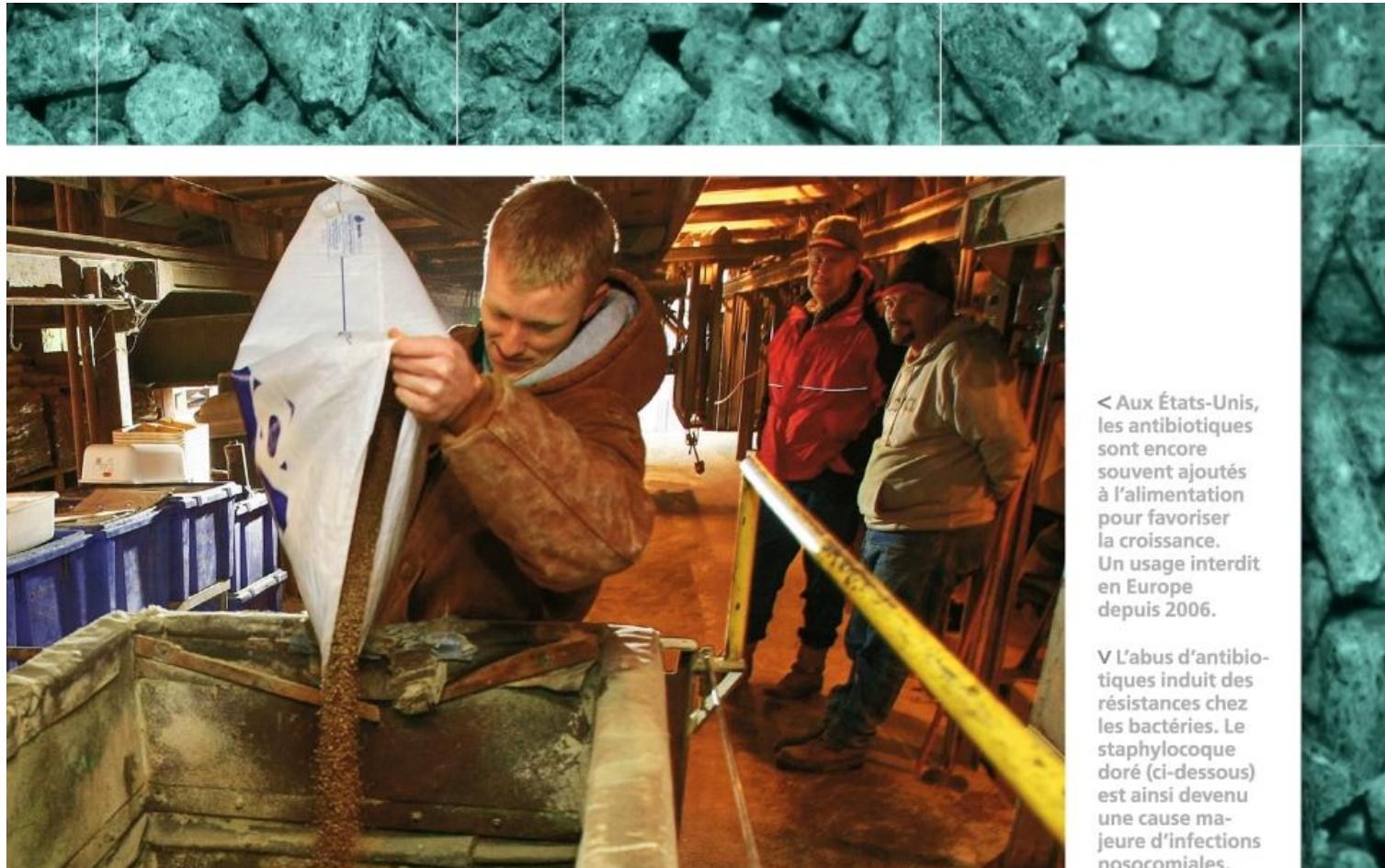
Si l'agriculture est particulièrement pointée du doigt, c'est qu'elle ne se contente pas de recourir aux antibiotiques pour soigner : elle les emploie aussi en préventif pour éviter que des animaux sains ne



tombent malades. En France, cette pratique est toutefois déconseillée par l'Anses lorsque la présence d'une bactérie pathogène n'est que « suspectée ».

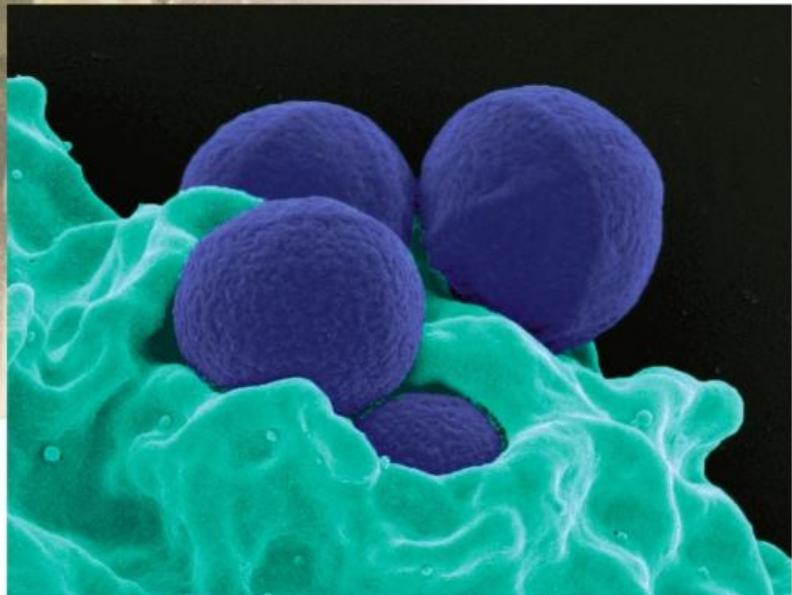
Plus choquant encore, les antibiotiques sont aussi utilisés comme facteurs de croissance et ajoutés sur le long terme à l'alimentation des animaux sains.

« *On suppose qu'ils ont un effet promoteur de croissance – jamais vraiment démontré – en favorisant la multiplication de certaines "bonnes" bactéries vivant naturellement dans le tube*



< Aux États-Unis, les antibiotiques sont encore souvent ajoutés à l'alimentation pour favoriser la croissance. Un usage interdit en Europe depuis 2006.

V L'abus d'antibiotiques induit des résistances chez les bactéries. Le staphylocoque doré (ci-dessous) est ainsi devenu une cause majeure d'infections nosocomiales.



digestif des animaux: celles qui sont les plus favorables au développement de l'animal, comme les germes permettant à la vache de "produire" plus de protéines à partir de l'herbe », explique Yves Millemann, de l'École nationale vétérinaire d'Alfort.

L'EUROPE À LA POINTE

Comme les faibles doses prescrites dans ce cadre (souvent moins de 2 mg/kg, contre plus de 5 mg/kg en traitement) favorisent particulièrement l'émergence de bactéries résistantes,

cette pratique est interdite en Europe depuis 2006. Mais elle reste encore largement en vigueur ailleurs, notamment aux États-Unis.

De fait, l'utilisation des antibiotiques diminue significativement dans les élevages européens (−8 % entre 2011 et 2013 dans l'Union européenne; −23 % entre 2010 et 2014 en France), grâce à l'adoption de

mesures comme le plan « Ecoantibio 2017 » visant à réduire de 25 % le recours aux antibiotiques dans les élevages français entre 2012 et 2017. Et l'Europe peut se targuer d'être « la partie du monde qui va le plus loin actuellement en matière de lutte contre l'antibiorésistance », comme le vétérinaire Yves Millemann. En revanche, c'est une

autre affaire dans le reste du monde. « *Sur 130 pays récemment évalués, plus de 110 ne disposent pas encore de législation pertinente relative aux conditions d'usage des antimicrobiens* », souligne l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE). Résultat, la quantité d'antibiotiques destinés aux animaux dans ces pays a grimpé ces dernières années (+ 17 % aux États-Unis entre 2009 et 2013, par exemple).

Plus alarmant : d'après une étude publiée en mars 2015, la consommation mondiale d'antibiotiques devrait exploser dans les élevages d'ici 2030, et augmenter de 67 % par rapport à 2010, voire doubler au Brésil, en Russie, en Inde, en Chine et en Afrique du Sud ! Et ce, à cause d'une évolution, dans ces pays, des petits élevages vers de grandes exploitations intensives utilisant des antimicrobiens pour améliorer les rendements.

« *Véritable problème, cette consommation à outrance des antibiotiques hors de nos frontières risque de contrecarrer les efforts passés et futurs menés dans l'Union européenne contre l'antibiorésistance* », s'inquiète Thierry Pineau, chef du département Santé animale à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), à Toulouse. Et pour

cause : avec la mondialisation des déplacements, les animaux et surtout les humains en provenance de régions consommant trop d'antibiotiques peuvent rapporter avec eux des bactéries porteuses de résistances. Selon une étude française parue en juillet 2015, la moitié des voyageurs provenant des tropiques reviennent avec, dans leur tube digestif, une ou plusieurs bactéries multirésistantes.

UNE ACTION MONDIALE ?

« *Aucune nation ni aucune organisation ne pourra gérer seule le problème. Il faudra une action à l'échelle mondiale, sur le long terme, et intégrant aussi les efforts faits dans ce domaine en santé humaine. C'est le concept "Un seul monde, une seule santé, une seule médecine", défendu par l'OMS, l'OIE et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture [FAO]* », précise Thierry Pineau.

Une solution « simple » pour diminuer la consommation des antibiotiques consiste à améliorer l'hygiène des élevages et les conditions de vie des animaux. « *Des travaux récents ont montré que ventiler de l'air chaud dans des élevages de cochons au lieu de l'air extérieur froid diminue le risque de pathologies respiratoires chez ces animaux, et donc*



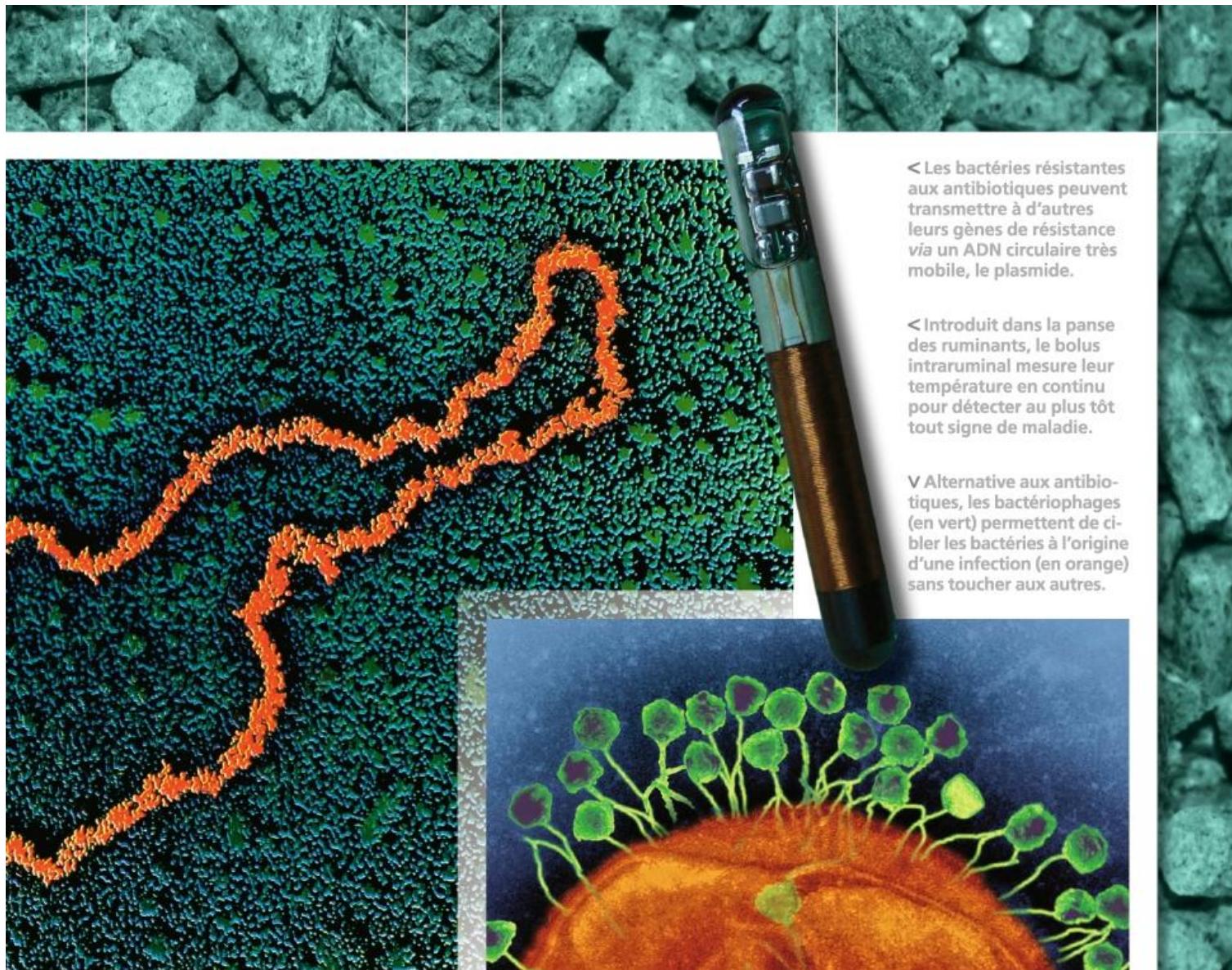
les besoins en antibiotiques », note ainsi Gilles Salvat.

Dans quelques années, les éleveurs devraient disposer de dispositifs électroniques capables de détecter plus tôt des symptômes de maladies (augmentation de la température, etc.), permettant ainsi de traiter précocement les bêtes et par conséquent d'utiliser moins d'antibiotiques. Appelés « *bolus intraruminaux* », certains de ces outils, de la taille d'un comprimé, sont avalés par l'animal et piégés à vie dans son estomac. Ils mesurent en continu différents paramètres sanitaires et transmettent leurs données par radiofréquence à un ordinateur.

Une autre piste pourrait être de développer des alternatives

LES MÉCANISMES DE LA RÉSISTANCE

Certaines bactéries sont naturellement dotées de gènes les rendant résistantes aux antibiotiques, sans qu'il y ait eu utilisation abusive de ces produits ; c'est le phénomène de résistance innée. Or, ces bactéries peuvent transmettre ces gènes à d'autres via un ADN circulaire très mobile appelé plasmide, les rendant ainsi résistantes à leur tour (on parle de résistance acquise). Fait plus rare, l'usage à outrance des antibiotiques peut induire des mutations génétiques chez certaines bactéries préalablement sensibles (c'est aussi une résistance acquise).



Les bactéries résistantes aux antibiotiques peuvent transmettre à d'autres leurs gènes de résistance via un ADN circulaire très mobile, le plasmide.

Introduit dans la panse des ruminants, le bolus intraruminal mesure leur température en continu pour détecter au plus tôt tout signe de maladie.

Alternative aux antibiotiques, les bactériophages (en vert) permettent de cibler les bactéries à l'origine d'une infection (en orange) sans toucher aux autres.



aux antibiotiques, pour lesquels la recherche est quasiment au point mort depuis trente ans, faute d'attractivité économique. La plus surprenante est sans doute celle visant à utiliser des virus tueurs de bactéries, appelés « bactériophages ».

MIEUX CIBLER LES GERMES

« Contrairement aux antibiotiques, ces virus n'attaquent qu'un nombre limité de bactéries. Ceci permet de cibler la bactérie responsable de la maladie visée, sans toucher les bonnes bactéries du tube digestif », observe le microbiologiste Laurent Debarbieux, spécialiste de ce sujet à l'Institut Pasteur, à Paris. Des travaux ont déjà montré que les bactériophages pouvaient

être une alternative intéressante dans les élevages de veaux, d'agneaux et de porcelets infectés, par exemple, par un germe *E. coli* responsable de diarrhées.

Une autre voie de recherche séduisante vise, elle, à trouver des substances « immuno-modulatrices » pouvant stimuler l'immunité des animaux et les rendre insensibles aux pathogènes. Mais ce n'est pas tout ! De nouveaux vaccins, contre des maladies n'en bénéficiant pas à ce jour, comme les mammites (maladies infectieuses de la mamelle),

pourraient être développés ; et l'action des antibiotiques pourrait être optimisée en les associant, par exemple, à des « peptides antibactériens », des protéines capables de tuer ou de limiter la croissance des bactéries.

Ainsi, Thierry Pineau en est persuadé : « Si l'on conjugue les différentes stratégies explorées à ce jour et que l'on mène une action au niveau mondial extrêmement volontariste, on devrait à long terme arriver à résorber le problème de l'antibiorésistance. »

KHEIRA BETTAYEB

Préserver la santé des agriculteurs

Si les agriculteurs bénéficient d'une meilleure espérance de vie que la population générale, ils présentent des risques de cancers plus élevés. En cause : l'exposition aux pesticides.

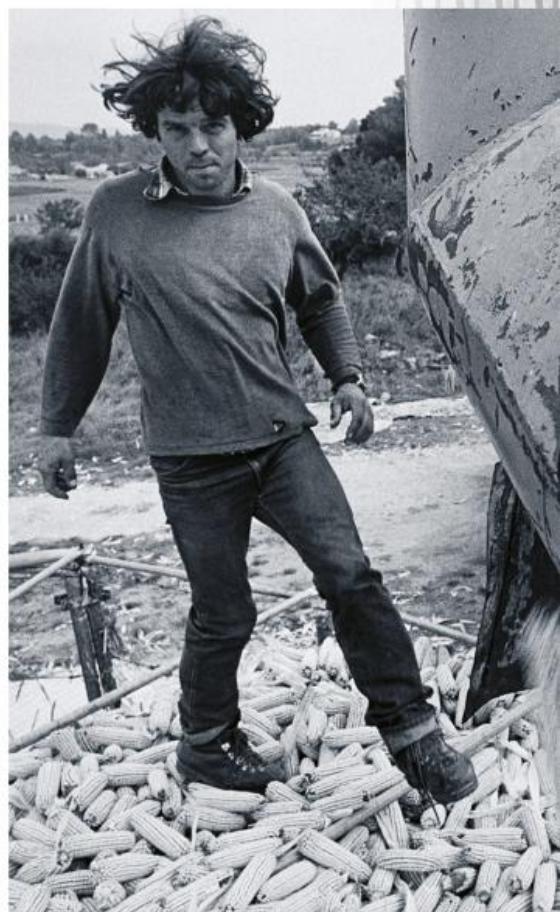
Nos agriculteurs vont bien, merci. D'après les deux plus grandes études épidémiologiques sur le sujet (Agrican en France et Agricultural Health Study aux États-Unis), ils vivent non seulement plus longtemps que la population générale, mais sont aussi en meilleure santé. Circulez, il n'y a rien à voir, s'empressent de conclure les industries phytosanitaires et certaines organisations professionnelles. Une conclusion hâtive, qui cache une réalité différente : les agriculteurs vont globalement mieux parce qu'ils fument moins et qu'ils sont en moyenne plus actifs que la population générale. Mais, lorsque l'on fouille davantage dans les enquêtes, un tout autre état des lieux se dessine.

La question de la santé des travailleurs agricoles remonte au début de l'utilisation des produits phytosanitaires, à la fin du xix^e siècle. Déjà, à cette époque, certains médecins alertent sur de nouvelles pathologies au sein de cette population, notamment des intoxications à l'arsenic, mais aussi des dermatoses. Dès la fin des années 1950, des publications scientifiques font état de

cancers plus fréquents chez certains agriculteurs français dus à l'action périodique de petites doses de pesticides ».

DES ÉTUDES RARISSIMES

Dès lors, les rares études portant sur leur santé se focalisent presque toutes sur l'usage de ces substances chimiques utilisées pour lutter contre les organismes dits nuisibles : champignons, insectes ravageurs, mauvaises herbes, vers parasites... Très vite, trois grands types d'atteintes sont envisagés : l'intoxication aiguë, les maladies chroniques (allergies et dermatoses) et les cancers, notamment du sang, du cerveau, du rein et de la prostate. Mais, si la première est facilement identifiable et peut être directement imputée aux pesticides, il n'en va pas de même pour les maladies chroniques et les cancers. Pour démontrer sans ambiguïté un lien entre une exposition professionnelle et ces troubles non-spécifiques, il faudrait mener une étude prospective de large échelle en comparant deux populations d'agriculteurs aux habitudes et aux lieux de vie identiques, dont



l'une serait exposée à ces substances chimiques et l'autre, non, ce qui est difficile, tant d'un point de vue pratique qu'éthique. Seule option : des études épidémiologiques de grande ampleur, qui permettent de repérer des cancers rares, de prendre en compte les différents biais liés aux habitudes de vie, de distinguer les différentes spécificités agricoles (types de cultures ou d'élevage, mais aussi de produits utilisés), le tout sur une longue période.



Autant dire que ces études sont rarissimes : elles se comptent sur les doigts d'une seule main.

« En 1991, lorsque nous avons entamé nos travaux, les agronomes n'envisageaient guère que l'on se passe de pesticides, presque toutes les organisations professionnelles agricoles opposaient une fin de non-recevoir à nos propositions d'étudier ce milieu et les pouvoirs publics s'étonnaient de notre intérêt pour cette question », se souvient Pierre Lebailly, directeur adjoint du laboratoire Cancers et préventions de l'Inserm. Toutefois, l'accumulation de preuves sur la toxicité des pesticides et les alertes

lancées par de plus en plus de médecins vont changer la donne. En parallèle, la loi du silence sur les effets de ces substances se fissure dans le monde agricole.

UNE PREMIÈRE JUDICIAIRE

En France, l'un des premiers à rompre ce tabou s'appelle Paul François. En 2004, après avoir traité ses champs au Lasso, un herbicide commercialisé par Monsanto, ce producteur de céréales charentais ouvre la cuve de son pulvérisateur, restée plusieurs heures au soleil. Sous l'effet de la chaleur, le produit s'évapore et il en respire une pleine bouffée. La suite ? Des

UN REPORTAGE D'ÉRIC FRANCESCHI
De 1980 à 1984, le photographe suit Pascal, un agriculteur des Bouches-du-Rhône, sur son domaine du Défend, à Rousset. Au gré des vendanges et des moissons, il capte les gestes de sa vie de paysan (Saison 1 : « Que sont nos amours devenues »). De 2010 à 2014, il reprend ce travail au long cours, cette fois en couleur et en numérique (Saison 2 : « Si un matin le jour ne se levait plus »).

vomissements, des nausées, des périodes de coma, des amnésies... Cinq mois d'hospitalisation et neuf mois d'arrêt de travail. À cette lutte contre la maladie, succède un combat juridique pour faire reconnaître son intoxication comme maladie professionnelle. Un premier refus de la Mutualité sociale agricole (MSA) le pousse

V Pascal est agriculteur dans le sud de la France. En 1980, il cultivait du blé, de la vigne et du maïs (culture abandonnée car trop gourmande en eau).



▲ Dans les années 1980, les agriculteurs ne pensaient pas toujours à se protéger lorsqu'ils traitaient leurs champs.

à franchir la porte du tribunal et ses troubles ne sont reconnus comme étant liés à sa profession qu'en 2010. Entre-temps, l'herbicide a été interdit en France en 2007 (il l'était déjà au Canada depuis 1985 et au Royaume-Uni et en Belgique depuis 1992). Mais le céréalier ne s'arrête pas là : il se lance dans un procès contre Monsanto, qu'il a remporté en

appel en septembre 2015. Une première en Europe, qui ouvre une brèche pour d'autres agriculteurs intoxiqués.

C'est dans ce contexte que Pierre Lebailly lance en France, en 2005, ce qui est aujourd'hui devenu la plus grande cohorte dédiée à la santé des agriculteurs au monde : Agrican. Celle-ci compare les données de plus

de 180 000 personnes affiliées au régime agricole aux informations issues de la population générale, et notamment des registres des cancers départementaux. Première conclusion : quelle que soit la cause de décès (cancers, maladies circulatoires, respiratoires ou digestives...), l'étude montre une sous-mortalité nette par rapport aux données issues de la population générale. Ce résultat confirme les statistiques de l'Insee, dans lesquelles l'espérance de vie des agriculteurs hommes à 60 ans s'établit à 22,3 ans (82,3 ans au total), contre 21,1 ans (81,1 ans) pour le reste de la population française masculine (elle reste toutefois inférieure à celle des cadres, de 84 ans). Ce qui permet à certaines organisations comme l'UIPP (Union des entreprises qui commercialisent les produits phytosanitaires) d'affirmer que les données sont « *rassurantes* ». Ce qu'elles oublient de dire, c'est que ce résultat était attendu pour une seule et bonne raison : les agriculteurs fument quatre à cinq fois moins que la population

SUICIDE : UN TRISTE FLÉAU

Un agriculteur se suicide tous les deux jours environ, en particulier dans le secteur bovin. Après les cancers et les maladies cardiovasculaires, c'est la troisième cause de mortalité chez les travailleurs agricoles, qui détiennent le record du risque le plus élevé parmi toutes les catégories socioprofessionnelles. Certains y voient le signe d'une détresse accrue, d'un stress lié au travail et d'une dégradation de leur image. D'autres, la conséquence de la crise qui touche leur secteur ou encore le résultat d'un recours plus aisément à des moyens de mettre fin à leurs jours. Des cellules d'aide et un numéro vert (Agri'écoute) ont été mis en place en 2014 par leur mutuelle. Plus de un millier d'appels ont été recensés en 2014.



générale. Or, le tabac est responsable de près de 30 % de l'ensemble des cancers en France ! Problème : il est impossible dans le cadre de cette enquête de corriger ce biais, car aucun registre départemental sur le tabagisme en population générale n'existe dans l'Hexagone. Aucune large cohorte ne permet de comparer à tabagisme égal les agriculteurs et le reste des Français.

DES CANCERS EN EXCÈS

Au-delà de ce sujet, des enquêtes suggèrent de meilleures pratiques alimentaires et une activité physique plus fréquente chez les exploitants agricoles. « *Les habitudes de vie des agriculteurs les mettent en meilleur état de santé. Mais, pour ma part, je suis convaincu que certains pesticides ont un effet cancérogène, même*

s'ils n'atteignent évidemment pas le niveau de toxicité des cigarettes », affirme Pierre Lebailly.

Il suffit, en effet, de plonger dans les résultats d'Agrican pour s'apercevoir que, si le risque global de cancers est plus faible, l'incidence de certains cancers est, à l'inverse en excès parmi les agriculteurs. C'est le cas des cancers du sang, du système lymphatique et, dans une moindre ampleur, des lèvres chez les hommes et des cancers lymphatiques et de la peau chez les femmes. Ces résultats éloquents viennent conforter d'autres études épidémiologiques, notamment celle menée aux États-Unis depuis vingt ans portant sur 90 000 agriculteurs. Cette dernière a également révélé une incidence plus importante de cancer des ovaires chez les utilisatrices de pesticides.

À Grâce à un travail physique, les agriculteurs sont en meilleure santé que le reste des Français.

Autre résultat d'Agrican : à âge et à tabagisme égal, les risques de maladies diffèrent selon le type d'exploitation agricole. Ainsi, le risque de cancer broncho-pulmonaire est 1,6 fois plus élevé chez les exploitants engagés dans la culture du pois fourrager ou dans la taille en arboriculture, comparé aux autres agriculteurs. Ce même risque est par contre deux fois moins important chez les éleveurs. Les chercheurs cherchent désormais à savoir si l'exposition à certaines familles de molécules chimiques ou à certaines poussières pourrait expliquer ce résultat. C'est l'inverse pour la bronchite chronique : les éleveurs sont davantage à risque, un excès qui



pourrait provenir de la présence de micro-organismes. Les agriculteurs ayant déjà été intoxiqués aux pesticides sont confrontés au même scénario : leur risque est multiplié par 1,6. Et, de façon tout à fait mystérieuse à ce jour, ceux qui cultivent des pommes

de terre depuis plus de vingt ans sur plus de 20 hectares présentent également trois fois plus de risque d'être atteints de bronchite chronique. Pour l'asthme, les éleveurs de chevaux, les utilisateurs de pesticides et les agriculteurs qui travaillent en serre

sont les plus concernés, sans que l'on puisse encore expliquer ces résultats. Enfin, pour le cancer de la prostate, « nous observons une augmentation de risque chez les personnes qui déclarent utiliser des parasitaires dans l'élevage bovin », détaille Pierre Lebailly. Ainsi, l'usage des pesticides semble jouer un rôle, mais pas seulement. D'autres facteurs de risque ont été identifiés : l'exposition à des substances chimiques telles que les solvants, les détergents, les produits pétroliers, à des micro-organismes (virus, bactéries, champignons...) ou encore au soleil.

Au-delà d'Agrican et de la cohorte américaine, d'autres enquêtes de moindre ampleur étudient les risques sanitaires spécifiques au métier d'agriculteur. Certaines études portant sur les malades de Parkinson

LA SAGA DU ROUNDUP

Depuis quarante ans, le glyphosate, la substance active que l'on trouve notamment dans le Roundup de Monsanto, règne en maître sur les herbicides. Depuis sa mise en circulation, cette substance fait l'objet de nombreuses études. En mars 2015, le glyphosate était classé comme « cancérogène probable » par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ), une agence de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Dans la foulée, la France annonçait l'interdiction de ce désherbant pour les particuliers : les magasins ont jusqu'au 1^{er} janvier 2017 pour le retirer de leurs rayons. Cette décision n'a toutefois pas empêché l'EFSA, l'autorité européenne de sécurité alimentaire, de déclarer, en novembre 2015, son risque cancérogène « improbable » et de renouveler son autorisation de commercialisation, qui expirait fin 2015. Certains journalistes et écolos ont relevé qu'un tiers des membres du comité de réévaluation des risques liés au glyphosate étaient salariés par l'industrie agrochimique ou biotechnologique, et qu'aucun épidémiologiste n'en faisait partie...

En 2010, Pascal porte un masque lorsqu'il traite ses vignes sur un tracteur sans cabine, ou bien il utilise un véhicule étanche et climatisé. La toxicité des pesticides est désormais bien connue.



montrent, par exemple, un lien entre l'exposition aux pesticides et le risque de survenue de cette maladie neuro-dégénérative. En France, un décret reconnaît d'ailleurs cette affection comme pathologie professionnelle en lien avec les pesticides.

S'ATTAQUER AU MAL

Des enquêtes portant sur le secteur viticole (l'un des plus gourmands en phytosanitaires) montrent une diminution des capacités cognitives chez les personnes les plus exposées aux pesticides, mais aussi un risque accru de cancers sanguins et cérébraux.

Reste à comprendre quels facteurs spécifiques aux différentes activités agricoles (produits chimiques, poussières, micro-organismes...) pourraient expliquer ces différences. Enfin, plusieurs études montrent également une tendance vers plus de problèmes de fertilité, notamment une diminution de la qualité

du sperme, et de malformations congénitales chez les agriculteurs exposés aux pesticides.

Mais comment prévenir ces risques ? L'utilisation de systèmes de protection (gants, combinaison, masque, cabine de tracteur étanche) est encouragée par les pouvoirs publics. « *Le contact cutané est la voie d'intoxication majeure des agriculteurs, explique Pierre Lebailly. D'après nos données, ceux qui déclarent ne jamais porter de gants sont significativement plus à risque pour le cancer de la prostate que les autres. Même si les gants ne protègent pas à 100 %, ils réduisent l'exposition.* » En revanche, la plupart des experts sont sceptiques sur l'efficacité des combinaisons. Des travaux de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation) avaient montré en 2010 que seules 20 % des tenues testées étaient conformes aux performances annoncées par les fabricants. Les agriculteurs

font en outre valoir qu'elles sont peu adaptées durant l'été. Enfin, aucun système de filtration d'air ne parvient encore à retenir efficacement les particules fines et les aérosols. Parmi les autres pistes de prévention figure notamment l'amélioration des outils d'épandage pour des traitements plus ciblés.

Pour autant, la solution la plus efficace consiste à s'attaquer aux racines du mal en limitant ou en interdisant l'usage des produits dangereux. Certains ont été interdits après la démonstration de leur toxicité, mais d'autres classés comme cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques pour l'homme sont encore commercialisés. En France, premier pays consommateur de pesticides en Europe, le plan Ecophyto vise à réduire de 50 % par rapport à 2008 l'usage de ces substances d'ici 2025. Un objectif loin d'être gagné : entre 2012 et 2013, la quantité de produits phytosanitaires utilisés dans les zones agricoles a augmenté de 9,2 %. La route vers une agriculture plus respectueuse de la santé de ceux qui la font semble encore longue... **LISE BARNÉOUD**

Profitez de cette offre spéciale **lecteurs !**

Abonnez-vous à Science & Vie et ses hors-séries

Soit
32%
de réduction

57,90 €
seulement
au lieu
de 85,60 €

1 an - 12 numéros
+ 6 hors-séries



BULLETIN D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe affranchie à:
SCIENCE & VIE - SERVICE ABONNEMENTS - CS 50273 - 27092 EVREUX CEDEX 9

HS 274

Oui, je profite de l'offre spéciale lecteurs et je m'abonne à Science & Vie pour 1 an (12 n°) + 6 hors-séries pour 57,90 € au lieu de 85,60 € soit 32% de réduction

847 962

Je préfère m'abonner à Science & Vie pour 1 an (12 n°) pour 37,90 € au lieu de 54 €* soit 32% de réduction

847 970

Science & Vie le journal de tous ceux qui veulent vivre en intelligence avec le monde.



NOUVEAU ! Recevez la version numérique OFFERTE avec votre abonnement papier !



Disponible sur
KiosqueMag.com

➤ Voici mes coordonnées :

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Complément d'adresse (résidence, lieu dit, bâtiment...) : _____

Code Postal : _____ Ville : _____

Tél : _____ Grâce à votre n° de téléphone (portable) nous pourrons vous contacter si besoin pour le suivi de votre abonnement

E-mail : _____

Je souhaite recevoir des newsletters du magazine et des offres promotionnelles des partenaires de Science & Vie (groupe Mondadori)

➤ Mode de paiement :

Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Science & Vie

CB _____

Date et signature obligatoires

Expire à fin _____ Code Crypto _____

Les 3 chiffres au dos de votre CB

**Prix public et Prix de vente en kiosque. Offre valable pour un 1er abonnement livré en France métropolitaine jusqu'au 31/05/2016 et dans la limite des stocks disponibles. Je peux acquérir chacun des numéros mensuels de Science & Vie au prix de 4,50€, chacun des 4 hors-séries au prix de 4,95€ et chacune des deux éditions spéciales au prix de 5,90€. Vous ne disposez pas du droit de rétractation pour l'abonnement au magazine. Conformément à la loi informatique et libertés du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès aux données vous concernant. Il vous suffit de nous écrire en indiquant vos coordonnées.

NOTRE ASSIETTE EN QUESTIONS



LE MENU	p. 100	LE CLONAGE	p. 108
LE GOÛT	p. 102	LE BILAN CARBONE	p. 110
LES OGM	p. 104	LE GASPILLAGE	p. 112
LES PRODUITS BIO	p. 106	LES PAYSANS FRANÇAIS	p. 114

LE MENU

PAR CÉCILE BONNEAU

QU'EST-CE QU'ON MANGE?

DES FÉCULENTS

Un Français mange en moyenne 113 kg de céréales par an (sous forme de pain et de pâtes, par exemple), 47 kg de pommes de terre, et 5,7 kg de riz.

DES LÉGUMES

Le plus consommé est la tomate: 12 kg/an/habitant en frais (14 kg en transformé), contre 4 kg pour le chou-fleur et le brocolis. Les surgelés représentent 12 kg.

DES FRUITS

Le plus consommé est l'orange, avec 38 kg/an/personne, dont 85 % sous forme transformée (jus). À table, les Français apprécient aussi les pommes (22 kg).

DU SUCRE ET DE L'HUILE

Un Français consomme 35 kg de sucre par an, à 80 % sous forme incorporée à des produits sucrés, et 13,5 kg d'huile végétale, principalement issue de la culture de tournesol (mais aussi de colza et d'olive).

DE LA VIANDE ET DU POISSON

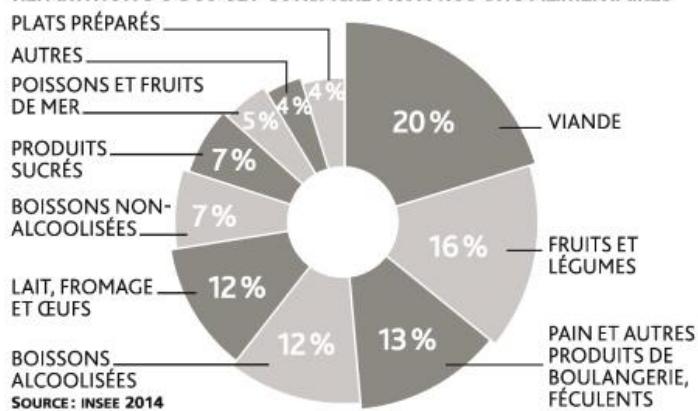
Depuis les années 1990, le bœuf régresse, au profit de la volaille. On mange aujourd'hui 32,8 kg de porc par an et par habitant, 26,4 kg de volaille et 24 kg de bœuf. Le poisson représente 23 kg.

COMBIEN ÇA COÛTE?

3600€

C'est la somme moyenne qu'un Français consacre par an à l'alimentation, selon l'Insee. Cela représente 20,4 % de son budget total, un chiffre en recul ces dernières décennies (34,6 % en 1960!). Les trois quarts de ce budget concernent l'alimentation au domicile, le reste étant dépensé dans les restaurants, les cantines, etc. Même si sa consommation est en recul, la viande représente la majeure partie des dépenses.

RÉPARTITION DU BUDGET CONSACRÉ AUX PRODUITS ALIMENTAIRES



QUAND EST-CE QU'ON MANGE?

13 h

pour le déjeuner et 20 h 15 pour le dîner. Les Français prennent en moyenne 2 heures

et 22 minutes par jour pour s'alimenter, dont 19 % devant la télévision (surtout le soir). Ils consacrent 36 minutes à la préparation des repas, avec une forte disparité entre sexes: 52 minutes pour les femmes, et 18 pour les hommes.

15 %

des Français grignotent entre les repas (29 % chez les jeunes), mais notre quotidien reste particulièrement rythmé par les trois repas traditionnels. À l'exception du petit déjeuner, ceux-ci sont très synchronisés, bien plus que dans les autres pays (à 13 heures, un Français sur deux est en train de déjeuner).

QU'EST-CE QU'ON BOIT?



140 L

d'eau minérale ou de source sont consommés chaque année par habitant en France, bien loin de la bière (30 l) et du vin (42 l). Dans le cas du vin, il apparaît clairement, selon les chiffres du ministère de l'Agriculture, qu'il est passé du statut de composante de repas à celui de boisson culturelle. En effet, la part des consommateurs réguliers (consommant quotidiennement) diminue largement (16 % de la population en 2015 contre 51 % en 1980), tandis que celle des buveurs occasionnels est en notable progression (51 % en 2015 contre 30 % en 1980). Les non-consommateurs ont aussi beaucoup augmenté (1/3 en 2015 contre 1/5 en 1980).

ET LES FRIANDISES?

220 000 t

de bonbons sont consommées chaque année en France. Ce qui représente 3,3 kg par habitant. Quant au chocolat, il s'en écoute 405 000 tonnes sur le marché français, principalement sous forme de tablettes (32,6 %) et de bouchées (26,1 %). Les Français sont particulièrement amateurs de chocolat noir (30 % des ventes contre 5 % en Europe). Ils sont aussi plutôt raisonnables par rapport à leurs voisins: avec 6,6 kg de chocolat par an, un Français en savoure presque deux fois moins qu'un Allemand. Noël représente 9 % des ventes annuelles de chocolat, avec 29 € dépensés en moyenne par Français pour les fêtes.



LE GOUT

PAR MARTIN SAUMET

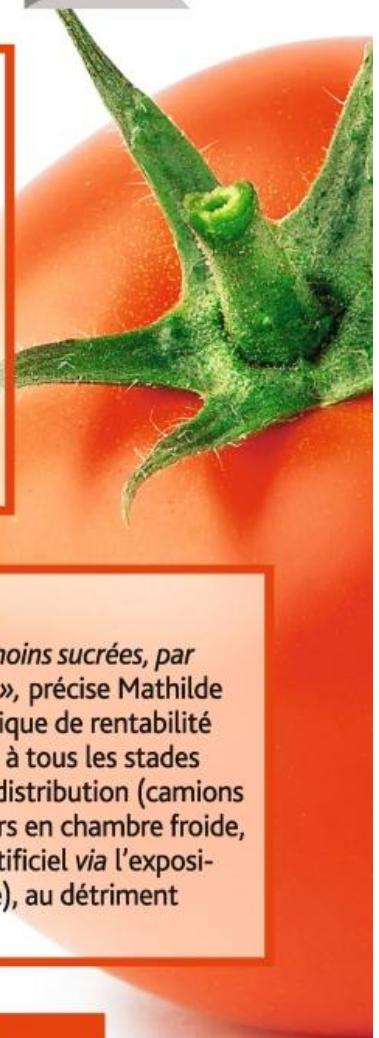
POURQUOI LA TOMATE L'A-T-ELLE PERDU?

1

PARCE QU'ELLE EST BELLE

Pour plaire aux consommateurs, la tomate est devenue toute rouge. En effet, près de soixante-dix années de sélections et de croisements entre variétés ont abouti à la suppression du collet, la zone normalement verte qui entoure la tige. Mais le goût a été négligé dans cette quête d'esthétisme. Or, en juin 2012, des chercheurs californiens ont isolé un gène de la tomate, baptisé SIGLK2, responsable de l'apparition

d'un collet vert. Un gène inactif dans les variétés vendues en supermarchés et dont l'expression se traduit par une prolifération des chloroplastes et une production de sucre accrue de près de 40 %. Mais, pour Mathilde Causse, directrice de recherche à l'Inra, « *le sucre ne suffit pas à faire une bonne tomate. Le ratio acide-sucre et les arômes volatils sont déterminants dans la saveur.* » Or ils ne dépendent pas de ce gène.



2

PARCE QU'ELLE N'EST PAS CHÈRE

C'est bien connu, c'est la quantité qui rapporte, et non la qualité. D'où le succès de la production hors-sol, qui permet de récolter au bout de cinquante jours, contre cinq mois pour des tomates cultivées en plein champ. « *Dans ce type de culture, il suffit d'apporter plus d'eau pour obtenir des tomates plus grosses.* »

Mais elles sont moins sucrées, par effet de dilution », précise Mathilde Causse. Une logique de rentabilité qui est présente à tous les stades de la chaîne de distribution (camions réfrigérés, séjours en chambre froide, mûrissement artificiel via l'exposition à l'éthylène), au détriment de la qualité.



LE RÉCHAUFFEMENT CHANGERAIT-IL LE GOUT DU VIN?

Avec l'augmentation des températures, le raisin devient plus sucré et moins acide, même s'il est récolté bien plus tôt qu'avant. Le vin est donc plus alcoolisé, et ses arômes sont souvent plus marqués. S'ils veulent conserver le goût traditionnel de leurs nectars, les viticulteurs devront donc adapter la vigne en conséquence. Par exemple en la plantant davantage en altitude, ou en réduisant l'effeuillage pour maintenir les baies à l'ombre.



3

PARCE QU'ELLE SE CONSERVE LONGTEMPS

À l'heure où les courses sont souvent hebdomadaires, la tomate doit rester ferme et rouge durant plusieurs jours, ce qui n'était pas le cas des tomates d'antan. La solution pour doper sa conservation a été découverte dans les années 1980 par des sélectionneurs israéliens sous la forme d'une mutation naturelle du gène RIN de la tomate. Cette dernière ralentit sa maturation, lui assurant trois semaines de conservation. De quoi en faire un produit rêvé pour l'export: Daniela fut ainsi la première variété *long-life* à coloniser les supermarchés. Mais

cet avantage a un coût: si le fruit est beaucoup plus ferme, il est devenu fade. De quoi mécontenter les consommateurs. Aujourd'hui, « ces tomates sont moins produites que dans les années 1990, et les fabricants se sont tournés vers des variétés de conservation intermédiaire, au meilleur compromis entre saveur et conservation », rapporte Mathilde Causse. Reste que le plus grand ennemi du goût est le réfrigérateur, souligne la chercheuse: « L'action du froid masque les arômes. Il faudrait laisser les fruits vingt-quatre heures à température ambiante avant de les manger. »



4

PARCE QU'ELLE EST VENDUE TOUTE L'ANNÉE

Sélectionnées pour leur aptitude à bien se conserver, les tomates traversent désormais les continents pour arriver dans nos assiettes en hiver. Mais ces longs périodes impliquent de cueillir les fruits avant maturité. Un désastre pour le goût! « Les arômes de la tomate sont issus de composés de dégradation qui n'apparaissent que très tardivement au cours du mûrissement du fruit », explique Mathilde Causse. Trop précoce, la cueillette empêche le développement aromatique.

La culture hors-sol, pratiquée dans 80 % des exploitations de tomates en France, a aussi sa part de responsabilité dans la perte de goût. Ce mode de production sous abri, qui garantit une production quasi annuelle malgré des jours plus courts et moins d'ensoleillement, est *a priori* une aubaine. Or, « la chaleur et la lumière naturelle sont essentielles au goût des tomates, souligne la chercheuse. Les variétés que nous avons en hiver ne seront donc jamais aussi bonnes que celles de l'été. »

COMMENT FAIRE AIMER LES LÉGUMES AUX ENFANTS?

8 fois

L'introduction d'une grande variété de légumes pendant la diversification favorise leur consommation, sachant que, si le bébé n'accepte pas un aliment, il faut le lui proposer au moins 8 fois, à plusieurs jours d'intervalle. De même, laisser le choix entre deux légumes à un enfant « difficile » peut l'inciter à en manger. Le projet européen de recherche HabEat, qui a suivi plusieurs milliers de couples mère-enfant, insiste aussi sur les atouts de l'allaitement dans cette acquisition du goût.



LES OGM

PAR MARTIN SAUMET

C'EST QUOI, UN OGM ?

OGM signifie « organisme génétiquement modifié ». Il s'agit d'un organisme (plante, animal ou micro-organisme) dans lequel on a introduit artificiellement un ou plusieurs gènes, afin de donner une nouvelle propriété ou caractéristique au produit (résistance à une maladie, aux insectes,

à la sécheresse...) qui permet d'augmenter la productivité. Plusieurs multinationales développent et fournissent les semences OGM, dont les géants américains Monsanto et Pioneer Hi-Bred, la société agrochimique suisse Syngenta ou la filiale Cropscience du groupe allemand Bayer.

QUELLE SURFACE CULTIVABLE EST CONSACRÉE AUX OGM ?

3 à 5 % de la surface agricole mondiale, soit 181,5 millions d'hectares en 2014, en constante augmentation depuis vingt ans. Cette croissance concerne notamment

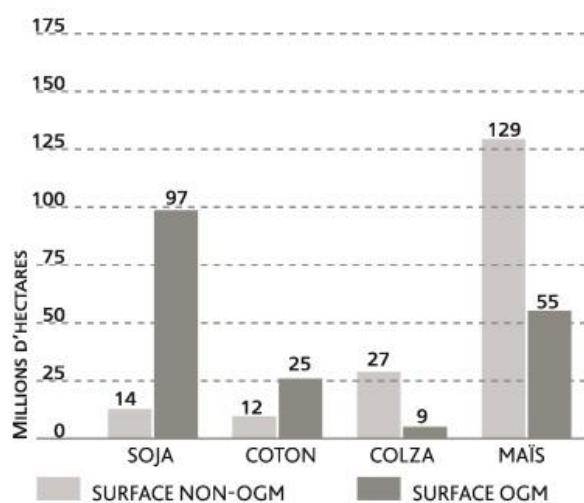
les pays en voie de développement, dont la production a doublé celle des pays développés depuis 2012. Autre record atteint: aujourd'hui, ce sont 1,5 % des agriculteurs du monde – soit environ 18 millions de personnes – qui cultivent des OGM.

QUELLES ESPÈCES OGM SONT CULTIVÉES ?

4 ESPÈCES représentent 99 % des OGM cultivés dans le monde en 2014: le soja (50 %), le maïs (30 %), le coton (14 %) et le colza (5 %). Le reste regroupe plusieurs variétés d'OGM, allant de la luzerne à la betterave sucrière, en passant par la papaye. La quasi-totalité des plantes transgéniques cultivées partagent une ou deux caractéristiques: la tolérance aux herbicides (pour environ 85 % d'entre elles) et la résistance aux insectes (pour près de 43 % d'entre elles). Depuis le 19 novembre 2015, la commercialisation d'espèces génétiquement modifiées ne se limite plus seulement aux plantes: les saumons AquAdvantage, dont la croissance est deux fois plus rapide, sont désormais autorisés à la consommation humaine aux États-Unis.

LE SOJA EN TÊTE DES CULTURES OGM (2014)

SOURCE: ISAAA 2015



OÙ SONT PRODUITS LES OGM DANS LE MONDE ?

28 PAYS produisent des OGM destinés au commerce, d'après les chiffres de l'ISAAA, une ONG qui promeut les biotechnologies. Trois d'entre eux possèdent plus des trois quarts de la superficie agricole mondiale consacrée à ce type de cultures: les États-Unis (40,3 %), le Brésil (23,2 %) et l'Argentine (13,4 %). Les pays en voie de développement représentent 20 des 28 pays cultivateurs.

En Europe, le maïs MON810, qui produit un insecticide contre la pyrale, est la seule espèce autorisée à la culture. Cinq pays le cultivent: l'Espagne (92 % de la superficie totale d'OGM dans l'UE), le Portugal, la République tchèque, la Slovaquie et la Roumanie. La France a cessé toute production destinée à la consommation depuis 2008 et fait partie des 17 pays de l'UE à avoir adopté un moratoire contre la culture des OGM sur son sol, en octobre 2015.



CONSOMME-T-ON, EN FRANCE, DES OGM SANS LE SAVOIR?

Oui mais, *a priori*, pas de façon directe: en Europe, les produits destinés à l'alimentation humaine (rares et importés d'Asie ou des États-Unis) ou animale doivent être étiquetés si leur teneur en OGM dépasse 0,9 %. L'étiquetage n'est cependant pas obligatoire pour les produits issus d'animaux qui ont consommé des OGM, comme la viande, le lait et les œufs. Or, 70 OGM sont autorisés à la consommation en Europe, la plupart étant destinés aux animaux d'élevage. L'UE a ainsi importé 34,6 millions de tonnes de soja transgénique pour nourrir le bétail en 2013. Nous consommons donc indirectement des OGM sans le savoir. Pour tenter de pallier ce problème, la France a mis au point un étiquetage volontaire, « Nourris sans OGM ». Autre faille: rien n'oblige les établissements de restauration collective à indiquer si des OGM figurent au menu.



LES PRODUITS BIO

PAR KHEIRA BETTAYEB

QU'APPELE-T-ON « BIO » EXACTEMENT ?

D'après la législation européenne, les produits qualifiés de « bio » doivent respecter de nombreuses règles, au premier rang desquelles figure l'interdiction de recourir aux OGM, aux pesticides et aux engrains chimiques. La viande, elle, n'est bio

que si son alimentation l'est aussi à 100 % et que si elle est produite à 50 % sur la ferme. Les traitements antibiotiques sont limités au strict minimum thérapeutique et les conditions d'élevage doivent favoriser le bien-être des animaux.

LE BIO EST-IL MEILLEUR POUR LA SANTÉ ?

1

PAS PLUS DE NUTRIMENTS

D'après l'une des plus grandes analyses, publiée en 2012 par des chercheurs américains, menée à partir de près de 250 travaux de recherche sur les produits bio, aucune différence significative n'est observée entre les deux types de produits. Un nutriment a bien des teneurs supérieures dans les légumes bio : le phosphore. Mais cet avantage est sans intérêt, les carences en phosphore étant rares dans les pays occidentaux. « *On en ingère même deux fois trop !* » prévient Léon Guéguen, nutritionniste, directeur de recherches honoraire de l'Inra.

2

UN PEU PLUS D'ANTIOXYDANTS

Dans un article publié fin 2015, Léon Guéguen a aussi remis en cause un autre avantage souvent attribué aux fruits et légumes bio : leur plus grande richesse en polyphénols à effet antioxydant (effet protecteur contre les radicaux libres responsables du vieillissement et de diverses

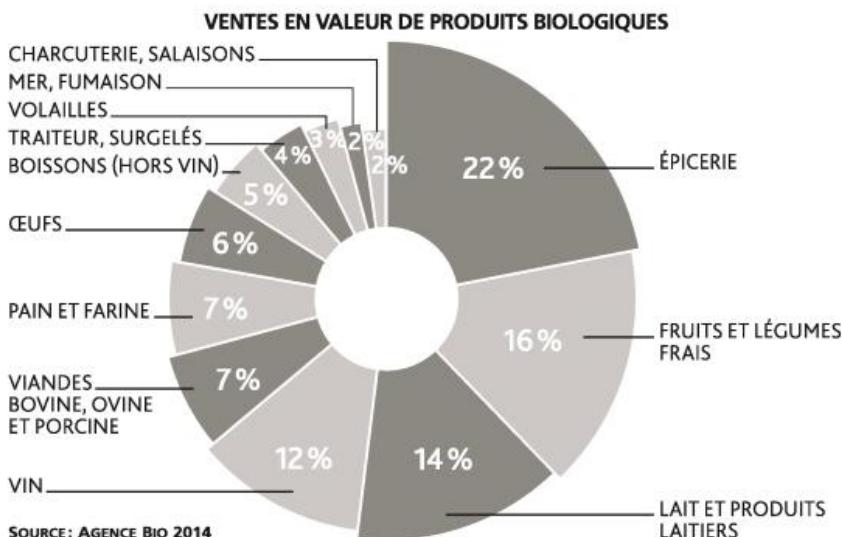
maladies) : « *En France, les polyphénols sont surtout apportés par le café et le thé (70 %), le chocolat (10 %) et le vin rouge (7 %). Difficile donc, dans ces conditions, de dire que la teneur un peu supérieure en ces substances dans les fruits et légumes bio est un avantage décisif en matière de santé. »*



CONSOMME-T-ON BEAUCOUP DE PRODUITS BIO?

88%

des Français en ont consommé en 2014, contre 75 % en 2013. Mais la consommation reste modeste: les produits bio ne représentent que 2,5 % du marché alimentaire total. Ces produits sont achetés principalement en grandes surfaces (à 46 %) et dans les magasins spécialisés (à 36 %), et les trois quarts des produits consommés en France viennent de France.

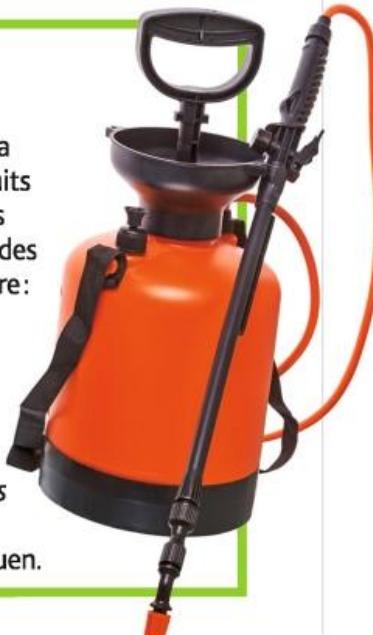


3

DES PESTICIDES PRÉSENTS MALGRÉ TOUT!

Concernant la faible teneur du bio en pesticides synthétiques, souvent mise en avant par les partisans du bio, l'équipe américaine l'a confirmé: « Les produits de l'agriculture conventionnelle ont un risque plus élevé de 32 % d'être pollués par des pesticides. » Sauf que les produits bio n'en sont pas totalement exempts! Ainsi une étude plus récente, publiée en 2014 par

des chercheurs européens, a montré que 11 % des produits bio sont positifs aux résidus de pesticides, contre 46 % des produits conventionnels. Pire: « *L'interdiction des produits phytosanitaires de synthèse en agriculture bio favorise la production par la plante de pesticides naturels dont l'innocuité n'est pas toujours garantie pour la santé humaine* », ajoute Léon Guéguen.



4

PAS D'INCIDENCE REMARQUÉE SUR LES CANCERS

La consommation d'aliments bio ne semble pas réduire l'incidence des cancers communs (du poumon, du sein, etc.), pour lesquels les pesticides, des facteurs de risque, sont souvent montrés du doigt. C'est ce qu'a mis en évidence une large étude anglaise, publiée en 2014, qui a suivi pendant neuf ans plus de 600 000 femmes âgées de plus de 50 ans.



5

MOINS DE BACTÉRIES RÉSISTANTES

Le risque de présence de bactéries résistantes à certains antibiotiques est 33 % moindre dans la viande de porc et de poulet bio, a montré l'étude américaine de 2012. Et pour cause: l'élevage bio restreint le recours aux antibiotiques, uniquement utilisés en cas de maladie grave de l'animal.

LE CLONAGE

D'APRÈS ELSA ABDOUN

EST-IL AUTORISÉ EN FRANCE?

Non

sauf pour la recherche sur le clonage animal. En Europe, la commercialisation de produits alimentaires issus d'animaux clonés nécessite une approbation préalable à la mise sur le marché.

Le Parlement européen a voté en 2015 pour l'interdiction du clonage à des fins agricoles et de l'importation de descendants de clones et de leurs produits dérivés. Soumis au Conseil de l'UE, le texte pourrait entrer en vigueur dès cette année.

ET AILLEURS?

Le clonage à des fins alimentaires se développe depuis dix ans dans de nombreux pays (États-Unis, Canada, Brésil...), principalement sur des bovins et des porcs. Le but: produire des copies d'animaux présentant des qualités exceptionnelles, non pas pour en consommer la viande ou le lait (chaque clone coûte plus de 10 000 €), mais pour en commercialiser le sperme ou les embryons

afin d'obtenir des descendants aux qualités identiques. Par ailleurs, la Chine a récemment annoncé la construction à Tianjin (près de Pékin) d'un centre de clonage destiné à reproduire des animaux domestiques, des chevaux de course, des chiens policiers et des animaux d'élevage. À terme, l'objectif est de produire un million d'embryons de bétail par an.



QUEL RISQUE PRÉSENTENT LES PRODUITS ISSUS D'ANIMAUX CLONÉS?

A priori aucun,

selon les agences sanitaires américaine, européenne et française. La composition du lait et de la viande d'un clone et de ses descendants ne diffère pas de celle des autres animaux. Des tests sur des rongeurs nourris avec ces aliments n'indiquent pas

de risque. Et les chercheurs ne voient aucune raison d'imaginer que les descendants de clones soient différents des autres animaux. La conclusion est moins évidente pour la santé des clones eux-mêmes: l'expression de leurs gènes est perturbée, à tel point que 20 % des veaux clonés meurent après la naissance, contre 5 % habituellement.

LA NOUVELLE CROISIÈRE

LES CAPITALES de la Baltique

du 18 au 25 juin 2016

SCIENCES & GÉOPOLITIQUE

avec
Cédric Villani
& **Alexandre Adler**

8 jours / 7 nuits
à partir de

1490€

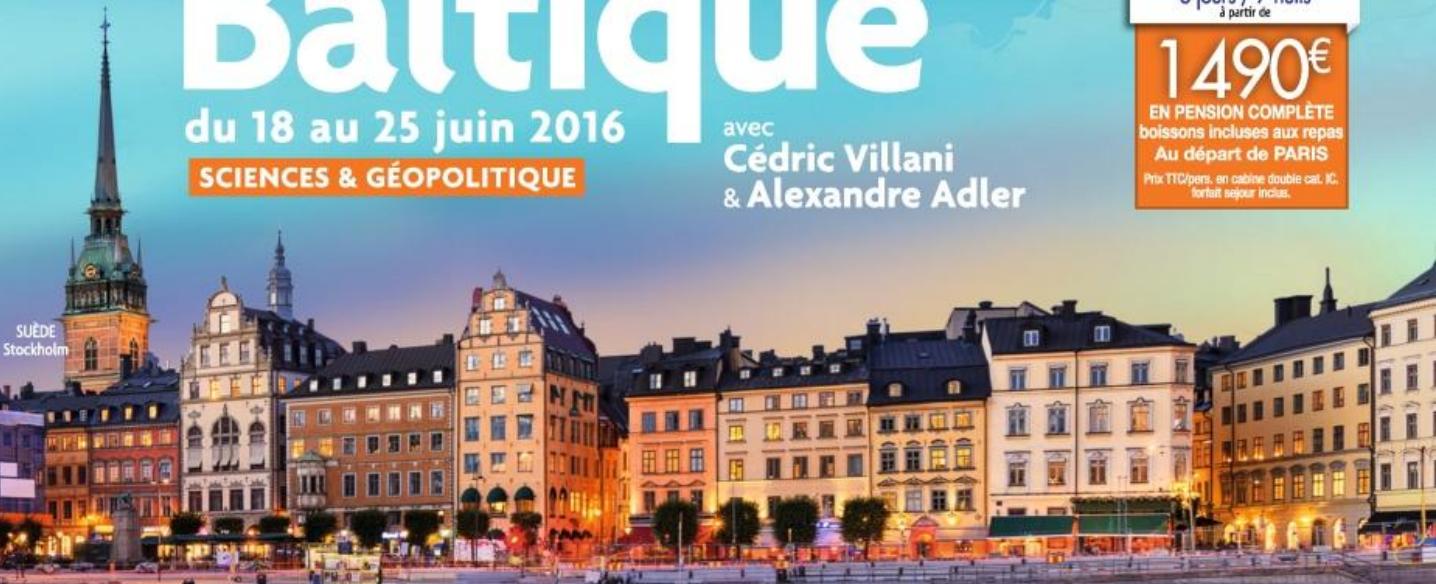
EN PENSION COMPLÈTE

boissons incluses aux repas

Au départ de PARIS

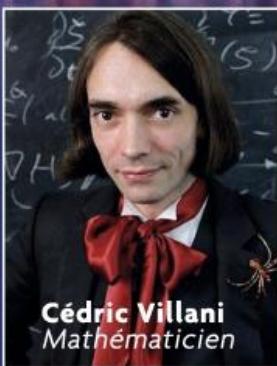
Prix TTC/pers. en cabine double cat. IC.

Taxes et rejets inclus.

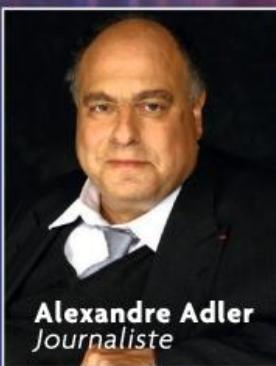


SUÈDE
Stockholm

EN PRÉSENCE DE :



Cédric Villani
Mathématicien



Alexandre Adler
Journaliste

A BORD DU COSTA LUMINOSA
EN PARTENARIAT AVEC

Costa

ÉVÉNEMENT

Les points forts de votre croisière Science&Vie

- ✓ Un programme exclusif de conférences « Sciences, Géopolitique et Société ».
- ✓ Des invités prestigieux : **Cédric Villani** récompensé par la médaille Fields et **Alexandre Adler** spécialiste des relations internationales.
- ✓ Un itinéraire spectaculaire de 8 jours à la découverte des splendeurs du Nord : Saint Pétersbourg, Stockholm, Helsinki et Tallinn.

Salut cas de force majeure. Ce programme est susceptible d'évoluer.

Appelez-nous !
c'est rapide, facile
et cela n'engage à rien.

RENSEIGNEMENTS & RESERVATION AU :

01 41 33 57 06

Du lundi au samedi de 9h à 19h (prix d'un appel local)

EN PRÉCISANT SCIENCE&VIE

OU SUR LE SITE :

www.croisières-lecteurs.com/sv

SCIENCE&VIE

CSVP/1P

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE&VIE CROISIÈRES - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9

**OUI, JE SOUHAITE RECEVOIR GRATUITEMENT ET SANS ENGAGEMENT LA DOCUMENTATION
COMPLÈTE de la croisière BALTIQUE proposée par Science&Vie.**

Mme M Nom : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville : Date de naissance :

Tél. : Email :

Oui je souhaite bénéficier des offres de Science&Vie et de ses partenaires. **Avez-vous déjà effectué une croisière (maritime ou fluviale) OUI NON**

Conformément à la loi " Informatique et Liberté " du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification des données vous concernant. Cette croisière est organisée en partenariat avec Costa Croisières - Costa Croisière SpA, France - About France 092100081. Science&Vie est une publication du groupe Mondadori France Siège Social : 8 rue François Dry - 92 543 Montrouge Cedex. Crédit photo : ©iStock, ©Costa Croisières.

Costa

LE BILAN CARBONE

PAR CÉCILE BONNEAU

COMBIEN DE CO₂ ÉMET UN HAMBURGER?

ÇA DÉPEND!

Tout dépend du type de hamburger dont il s'agit. En effet, le bilan carbone d'un produit correspond au nombre de tonnes de gaz à effet de serre émises aux différentes étapes de sa fabrication, de son transport et de son emballage. Or, pour un même composant, il existe d'importantes différences de nature et de conditionnement.

L'impact carbone varie donc selon que l'aliment est cru ou cuit, en conserve ou surgelé, selon son mode de cuisson, selon qu'il est le résultat d'une préparation, et selon l'emballage qui le contient. Par exemple, la moyenne du contenu carbone des légumes frais est inférieure de 35 % à celle des légumes en conserve.

2,7 KG D'ÉQUIVALENT CO₂ POUR UN CHEESEBURGER

D'après les chiffres de l'Ademe (l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), un cheeseburger type, tout préparé (comme on les trouve dans les fast-foods), « pèse » 2,7 kg d'équivalent CO₂ (781 g

d'équivalent CO₂ par 100 g). La plus grosse contribution est attribuable à la viande. Un steak congelé de 100 g représente ainsi à lui seul 1,8 kg d'équivalent CO₂, tandis qu'une tomate crue se limite à 140 g.



QUELLE EST LA PART DES EMBALLAGES?



8 %

C'est la part des emballages dans le bilan carbone du panier moyen d'un consommateur français. Un chiffre qui ne rend pas compte d'immenses disparités: si les emballages contribuent à 30 % de l'empreinte carbone des produits liquides et laitiers, ils ne « pèsent » plus que 2 % pour la viande ou les fruits frais qui sont très souvent vendus sans emballage.

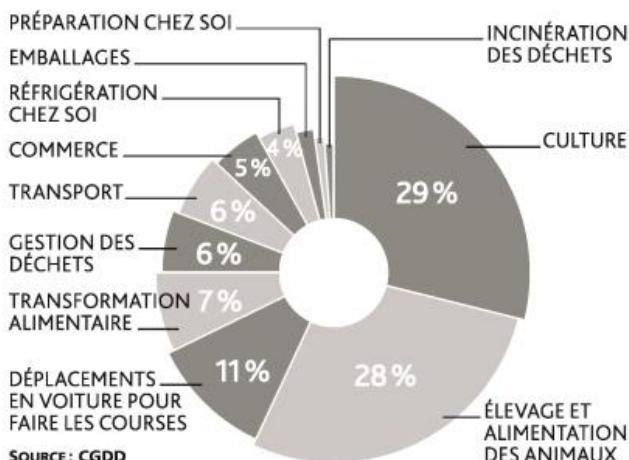
EST-IL BEAUCOUP PLUS PROPRE DE CONSOMMER « LOCAL »?

Pas forcément !

Dans une étude publiée en 2013, le Commissariat général au développement durable montrait que la consommation locale n'a pas toujours les avantages que l'on croit. En effet, c'est la production qui a généralement le plus lourd impact sur le bilan carbone d'une denrée: elle est responsable de 57 % des gaz à effets de serre émis, contre 17 % pour le transport. En outre, dans le commerce de proximité, le transport est peu optimisé et, le plus souvent routier, particulièrement polluant. Une étude publiée en 2006 montre ainsi que la consommation d'énergie pour le transport d'un agneau de Nouvelle-Zélande vers l'Allemagne est comparable à celle du transport d'un agneau élevé en Allemagne et vendu localement ! Les transports de masse que sont les cargos et les poids lourds réduisent, en effet, considérablement les émissions par kilo transporté. Consommer local n'en présente pas

moins des avantages socio-économiques: cela permet notamment un ancrage territorial de l'activité agricole, une meilleure valorisation des produits par leurs producteurs et une plus grande implication des consommateurs dans leurs choix alimentaires.

57 % DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE VIENNENT DE L'AGRICULTURE



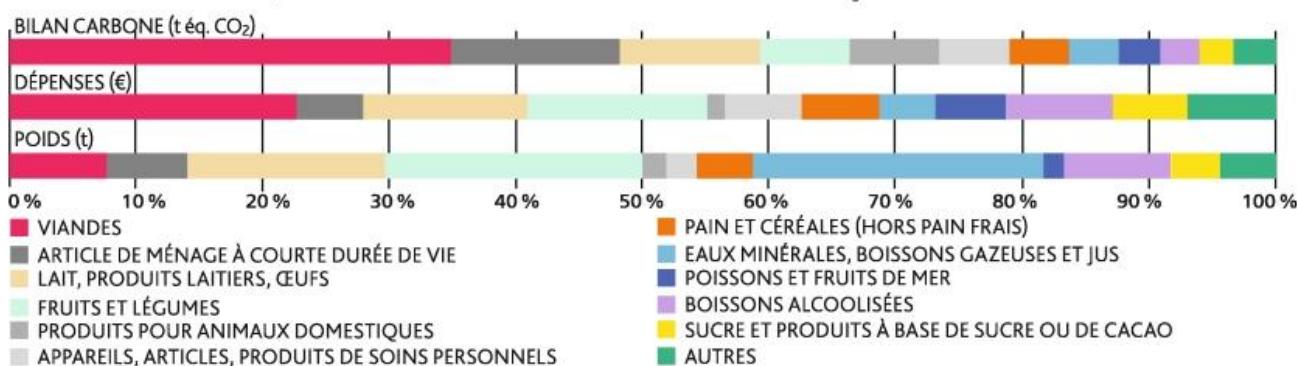
QUEL EST LE BILAN CARBONE TOTAL DE L'ALIMENTATION D'UN FRANÇAIS ?

1,4 t D'ÉQUIVALENT CARBONE

C'est, d'après le Commissariat au développement durable, ce que représentent les 700 kg de courses (dont plus de 80 % d'aliments) réalisées chaque année par un Français. Un chiffre à rapporter aux 8 tonnes d'équivalent carbone qu'il émet globalement chaque année. Mais cet impact écologique diffère

considérablement d'un produit à l'autre: les fruits et les légumes constituent 20 % du poids du panier, mais seulement 7 % des émissions carbone, alors que la viande, qui compte pour 8 % du poids des courses, contribue au tiers du bilan total du panier. Quant aux eaux minérales et autres boissons non-alcoolisées, elles pèsent très lourd en kilos (23 % du panier), mais très peu en équivalent carbone (4 %) !

LES POIDS EN CARBONE, EN EUROS ET EN TONNES DES ACHATS DES FRANÇAIS



LE GASPILLAGE ALIMENTAIRE

PAR ANOUK DELPORT

QUELLE EST LA QUANTITÉ DE NOURRITURE GÂCHÉE?

1/3

de la production agricole mondiale destinée à la consommation humaine – soit 1,3 milliard de tonnes de nourriture – est perdue chaque année à tous les stades de la chaîne alimentaire, de la production jusqu'à la consommation.

1000

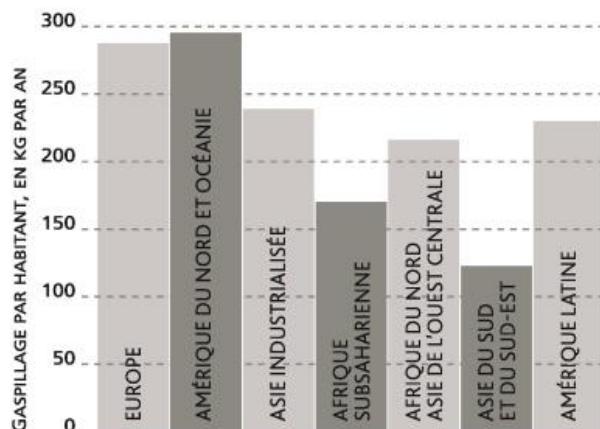
MILLIARDS DE DOLLARS

C'est le coût direct de ce gaspillage de nourriture, selon les estimations de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO selon le sigle anglais).

QUELLES RÉGIONS GASPILLENT LE PLUS?

Les pays développés et ceux en voie de développement perdent à peu près la même quantité d'aliments: 670 et 630 millions de tonnes par an. Mais, dans les pays industrialisés, la perte de denrées attribuable au consommateur (de 95 à 115 kg/an) est bien plus importante que dans les pays en développement (de 6 à 11 kg/an en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud-Est). Le gaspillage des consommateurs européens suffirait à nourrir 200 millions de personnes.

SOURCE: FAO



QUELLE EST LA PART PERDUE DES DIFFÉRENTS ALIMENTS?

Ce sont les fruits et les légumes, ainsi que les racines et les tubercules, qui subissent le plus de pertes: près de la moitié de la production mondiale est jetée!

SOURCE: FAO



30% DES CÉRÉALES SONT PERDUES

Dans les pays industrialisés, on jette 286 millions de tonnes de produits céréaliers, l'équivalent de 572 milliards de paquets de pâtes!



20% DES PRODUITS LAITIERS SONT PERDUS

Rien qu'en Europe, 29 millions de tonnes de produits laitiers sont perdues ou gaspillées chaque année.



35% DES POISSONS ET FRUITS DE MER SONT PERDUS

Au moment de la pêche, 8 % des poissons sont rejettés en mer. Dans la plupart des cas, ils sont mourants ou morts.

DE QUELLES DENRÉES EST REMPLIE LA POUBELLE DES FRANÇAIS?

Chaque Français jette en moyenne 32 kg de denrées par an à la poubelle. Un gâchis qui, au niveau national, atteint 2212 000 t. C'est plus que ce qui est jeté par la restauration (1080 000 t), le commerce (750 000 t), l'industrie agro-alimentaire (600 000 t), les agriculteurs (453 000 t) ou les marchés (400 000 t).

SOURCE: ADEME



RIZ ET PÂTES **12%**

PAIN **4%**

POISSONS ET VIANDES **4%**

PRODUITS LAITIERS **3%**

PLATS PRÉPARÉS **2%**

31% LÉGUMES

24% BOISSONS (LAIT...)

19% FRUITS

PRODUITS SUCRÉS **1%**

QUEL EST L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE CE GASPILLAGE?

Le gaspillage alimentaire correspond à une importante dilapidation des ressources et produit inutilement des émissions de gaz à effet de serre contribuant au réchauffement climatique. Des dommages environnementaux estimés à 700 millions de dollars.

SOURCE: FAO



Les terres arables inutilement cultivées représentent 1,4 milliard d'hectares (14 millions de km²), soit une surface comprise entre celles de la Russie et du Canada.



Le volume d'eau mobilisé pour cette production alimentaire non-consommée – 350 km³ – équivaut à trois fois la capacité du lac Léman.



Les 3,3 milliards de tonnes équivalent CO₂ générées par ce gaspillage en font le 3^e plus gros émetteur mondial de gaz à effet de serre, après la Chine et les États-Unis.



45% DES FRUITS ET LÉGUMES SONT PERDUS

Environ 815 millions de tonnes de fruits et de légumes sont gaspillées par an dans le monde.



20% DE LA VIANDE EST PERDUE

Sur les 263 millions de tonnes produites mondialement, plus de 20 % sont perdues ou gaspillées. Cela équivaut à 75 millions de vaches!



20% DES OLÉAGINEUX ET LÉGUMINEUX SONT PERDUS

Chaque année, environ 54 millions de tonnes d'oléagineux et de légumineux sont perdues dans le monde.



45% DES RACINES ET TUBERCULES SONT PERDUS

Rien qu'en Amérique du Nord et en Océanie, 5,8 millions de tonnes sont gâchées par les consommateurs.

LES PAYSANS FRANÇAIS

PAR ANOUK DELPORT

QUI SONT-ILS ?

70%

des travailleurs agricoles sont des hommes, en moyenne âgés de 50 ans, contre 53 ans pour leurs *alter ego* féminins. En 2013, 27 % des chefs d'exploitation, coexploitants et associés étaient des femmes, contre 8 % en 1970. En outre, le niveau de formation des chefs d'exploitation ne cesse de progresser: 18 % d'entre eux ont une formation agricole de niveau baccalauréat, et 12 % ont un niveau d'études supérieures. Ce qui place la France dans le peloton de tête des pays de l'Union européenne.

COMBIEN SONT-ILS ?

854 100

personnes travaillaient dans les fermes métropolitaines en 2013 (contre un peu plus de 2 millions en 1988), dont les trois quarts dans une moyenne ou grande exploitation, en qualité de dirigeant (57 %) ou de salarié permanent (20 %). Le nombre d'actifs permanents a reculé de 5,7 % entre 2010 et 2013. Par ailleurs, près de sept d'entre eux sur dix travaillent au moins à mi-temps sur l'exploitation, et plus de un sur deux à temps complet (71 % pour les dirigeants de moyennes et grandes exploitations, contre 18 % pour les petites).

DANS COMBIEN DE FERMES ?

452 000

exploitations ont été recensées en 2013. C'est 8 % de moins qu'en 2010, et moins de la moitié de celles qui existaient en 1988 (1067 000). Ce sont des fermes de petite ou de moyenne taille qui ont disparu. Ainsi, en vingt-cinq ans, la surface agricole des exploitations a progressé de 34 hectares, pour atteindre 62 hectares. Les grandes exploitations utilisent plus des deux tiers des terres agricoles.





LES NOUVEAUX RENDEZ-VOUS SCIENCES DE FRANCE CULTURE



► CULTURE SCIENCES

5 ÉMISSIONS

DU LUNDI AU VENDREDI / 16H-17H

► SEMAINE SPÉCIALE

CRISPR/CAS9 : OÙ NOUS MÈNERA

LA NOUVELLE RÉVOLUTION GÉNÉTIQUE ?

DU LUNDI 14 AU VENDREDI 18 MARS

en partenariat avec

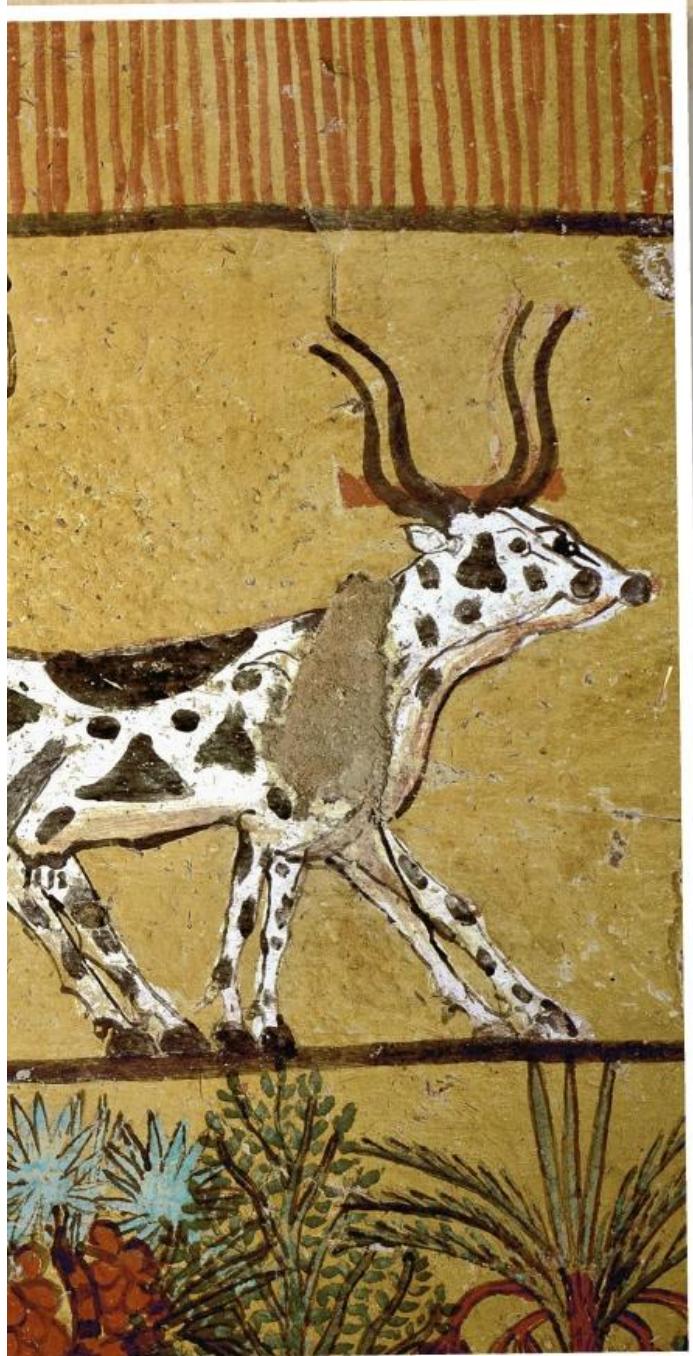
SCIENCE & VIE

Écoute, réécoute, podcasts
franceculture.fr





Aux origines de l'agriculture



▼ Les nombreuses graines (ici, de vigne sauvage et de blé) trouvées sur le site d'Ohalo II, en Israël, attestent de la consommation variée de plantes au Paléolithique.

E. LESSING/AKG - ARCHEOLOGICAL LAB./BAR-ILAN UNIV.

Événement majeur de l'histoire de l'humanité, la conversion des chasseurs-cueilleurs à l'agriculture date d'environ 11 000 ans. Ce fut un processus long et complexe, qui s'est opéré sous diverses latitudes.

PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

I'avènement de notre espèce, probablement en Afrique, remonte à quelque 200 000 ans, celle de l'agriculture, à environ 11 000 ans. « Le "moment" qui a vu basculer des groupes humains qui vivaient de la chasse et de la collecte depuis des dizaines de millénaires dans la sphère des agriculteurs est donc très récent, observe George Willcox, directeur de recherche émérite au CNRS et grand spécialiste de la domestication de plantes au Proche-Orient. L'homme moderne (*Homo sapiens sapiens*) n'est réellement paysan que depuis quelque 500 générations, ce qui représente moins de 5 % de son histoire. »

Reste que la conversion de petites communautés de *Sapiens* se déplaçant sans cesse pour se nourrir en sociétés fixes et productrices compte parmi les événements majeurs de l'histoire de l'humanité. Maîtriser la reproduction de nombreuses espèces de plantes (dont les céréales, qui fournissent actuellement les trois-quarts des calories alimentaires de l'humanité) a permis une augmentation spectaculaire des ressources disponibles, une croissance démographique sans précédent, et, plus tard, l'émergence des premières cités, de l'irrigation, de la traction animale, de la métallurgie, de l'écriture, du calendrier, la constitution d'armées, l'éclosion de grandes religions, la floraison d'empires...

Mais où, pourquoi et comment a démarré la « transition néolithique » ? Préhistoriens, archéologues,

> C'est au Proche-Orient qu'on a retrouvé les traces les plus anciennes d'élevage (de chèvre, de mouton, de porc et de bœuf). Datant du Néolithique, elles coïncident *grossost modo* avec les débuts de l'agriculture.



botanistes, zoologues, écologues, généticiens et autres anthropologues s'évertuent à reconstituer le puzzle, encore très incomplet, des premières activités agricoles. Une chose, au moins, est sûre : la thèse du Croissant fertile (région correspondant à la Syrie, au Liban, à Israël, à la Palestine, à la Jordanie et à l'Irak, ainsi qu'à une partie des territoires égyptiens, turcs et iraniens) comme foyer unique dans lequel l'idée de transformer la végétation naturelle aurait germé, puis essaimé dans le reste du monde, est définitivement abandonnée.

Certes, la cueillette de céréales sauvages au Proche-Orient date d'au moins 21 000 ans avant notre ère, comme le montre le site archéologique d'Ohalo II mis au jour au bord de la mer de Galilée à

la fin des années 1980. Plusieurs cabanes et plus de 6 000 graines carbonisées d'orge, d'avoine et d'amiédonnier sauvage (un ancêtre du blé), entre autres, y ont été retrouvées. Et la meule dénichée indique que des grains ont été broyés pour obtenir de la farine.

PREMIER ESSAI DE CULTURE

« Ce site témoigne des toutes premières tentatives menées par des hommes pour récolter et utiliser des céréales sauvages. Et il s'agit peut-être là, d'après les chercheurs israéliens, d'un premier essai de culture, commente George Willcox. Quoi qu'il en soit, la culture à grande échelle de céréales sauvages au Proche-Orient n'a démarré que plus tard, 9 500 ans avant notre ère. » Et la forme de la

LA GÉORGIE, BERCEAU HISTORIQUE DE LA VITICULTURE ?

La vigne sauvage ou « lambrusque » est une vieille connaissance du genre humain. De nombreuses découvertes prouvent que « les raisins de lambrusque ont été l'objet de ramassage au moins depuis le Paléolithique inférieur (environ entre -500 000 et -120 000) », indique Philippe Marinval, chercheur au laboratoire Archéologie des sociétés méditerranéennes. En France, des pépins sont signalés dans la station de Terra Amata, près de Nice, dont l'occupation est attestée vers -400 000. » On suppose que les chasseurs-

cueilleurs préhistoriques utilisaient ces baies pour sucer des aliments ou récupérer l'huile des pépins. Quant au passage du raisin sauvage à la vigne cultivée, il semble être advenu pour la première fois en Géorgie, vers -6 500. Le dépôt rougeâtre retrouvé sur les parois internes de poteries du site de Shulaveri-Gora a, en effet, révélé la présence d'acide tartrique, l'un des principaux composants du vin. De là à penser que ces jarres ont pu héberger le premier nectar jamais élaboré par l'humanité à partir d'une vigne domes-

tiquée, il n'y a qu'un pas. Toutefois, note Philippe Marinval, « certains remettent en cause cette conclusion et attribuent la première domestication de la vigne sauvage à la Palestine, où le processus serait intervenu aux alentours de 3 500 avant notre ère ». À supposer que l'hypothèse géorgienne soit exacte, la viticulture aurait essaimé en Arménie et en Grèce vers -4 000, au Moyen-Orient vers -3 500, en Italie entre -1 500 et -1 300, en Espagne vers -700, et dans le sud de la France vers -600.

Onze aires de domestication des plantes

Les plus anciennes traces de culture se situent au Proche-Orient, au IX^e millénaire avant notre ère. Mais ce n'est pas la seule région du monde où l'agriculture a été inventée. Dix autres aires ont déjà été repérées, en Asie, en Amérique, en Afrique et en Océanie, où des cultures de différentes plantes sont apparues, entre les VI^e et II^e millénaires.



« Extrêmement bien conservés depuis le début du Néolithique (entre -11 500 et -10 000), ces épis de blé carbonisés proviennent d'Arménie.

« cicatrice » qui relie le grain à la tige (et qui permet aux archéologues de distinguer, dans des restes végétaux, les céréales sauvages des domestiques) montre que les premières formes domestiques, elles, ne sont apparues qu'un millénaire plus tard. Mais si cette région a été le théâtre des premières domestifications de quelques céréales, ce n'est pas la seule dans laquelle des plantes ont été domestiquées. Les progrès accomplis ces dernières années dans la récupération et l'identification des restes de flore montrent qu'il existe de multiples foyers à travers

Fuller, de l'University College London, estiment qu'il y en a probablement plus de 25. »

Aucune trace, en revanche, de quelque centre de primo-domestication d'espèces végétales en Australie, en Sibérie et au Groenland. Quant à l'Europe, l'agriculture n'y a pris racine, entre les VII^e et IV^e millénaires avant notre ère (-6 800 dans les Dardanelles et en Crète, -3 500 en Ecosse), que grâce à des variétés domestiquées initialement au Proche-Orient et non grâce à des plantes locales. « *Ce sont les plantes domestiques qui ont migré du Proche-Orient vers l'Europe*, insiste Jean-Renaud Garel, professeur émérite en biochimie à l'université Pierre-et-Marie-Curie et docteur en archéologie de l'université Paris-Sorbonne. *Des travaux récents en génétique des populations humaines suggèrent que la néolithisation du Vieux Continent résulte d'un mélange d'une colonisation par des agriculteurs venus du Proche-*

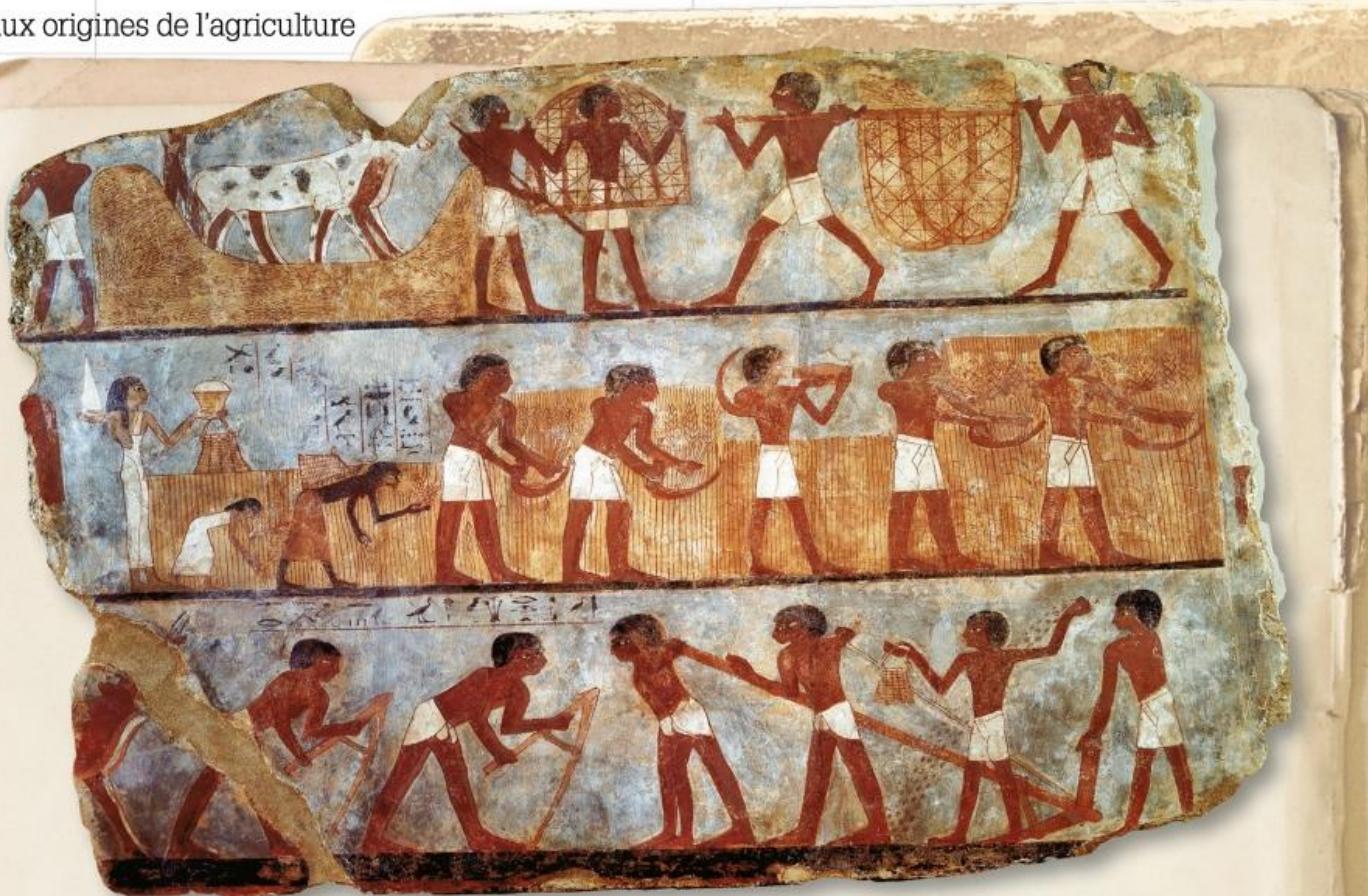
En Europe, l'agriculture n'a pris racine que grâce à des variétés de plantes domestiquées initialement au Proche-Orient

la planète où l'homme a inventé l'agriculture. Onze de ces « aires nucléaires » (voir ci-dessus), indépendantes les unes des autres et impliquant des environnements biogéographiques, des époques et des espèces très variées, sont généralement citées.

« *Leur nombre est sans doute plus élevé*, poursuit George Willcox. Des chercheurs comme Michael P. Ruggenan, de l'université de New York, et Dorian

Orient avec leurs plantes et leurs modes de vie, et d'une conversion des populations autochtones à l'agriculture. Une franche ressemblance existe d'ailleurs entre la diffusion de l'agriculture vers l'Europe et la diffusion des langues indo-européennes. »

Mais pour quelle raison les hommes se sont-ils mis à pratiquer l'agriculture en Asie, en Amérique, en Afrique... ? Une épaisse forêt d'hypothèses



▲ C'est le Croissant fertile (dont fait partie l'Égypte) qui est le plus ancien foyer de l'agriculture. La culture de céréales sauvages y aurait démarré vers -9500.

encercle la question. Certaines théories invoquent la surexploitation des ressources sauvages par des populations devenues trop nombreuses, d'autres, des causalités climatiques qui auraient poussé des groupes d'*Homo sapiens* à mener des expériences de domestication pour pallier la raréfaction des plantes sauvages, d'autres encore, un bouleversement des mentalités qui aurait amené nos ancêtres à concevoir l'idée de dominer la nature pour disposer de sources de nourriture mieux contrôlables...

« Les premiers indices de domestication et de sélection des plantes ont été trouvés sous diverses latitudes, dans des espaces indifféremment chauds

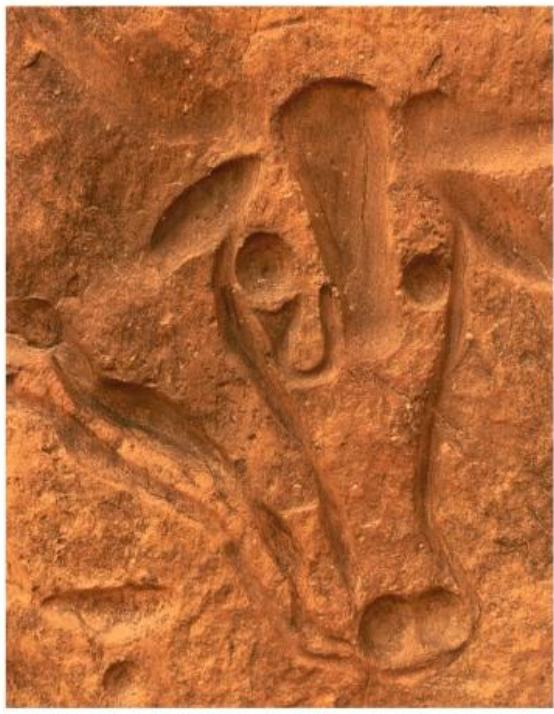
de divers facteurs (environnementaux, démographiques, techniques, cognitifs...). Mais, partout, l'évolution vers la domestication des plantes a été un processus qui s'est étalé sur plusieurs millénaires, ce qui incite à relativiser la notion de "révolution néolithique" formulée au XX^e siècle par l'archéologue australien Vere Gordon Childe. »

Reconstituer la cascade d'événements qui ont conduit à l'émergence de la domestication des céréales au Proche-Orient, Jean-Renaud Garel s'y est employé en passant au peigne fin plus de 800 publications scientifiques et en synthétisant cette moisson de données dans une thèse soutenue en octobre 2015. « L'essentiel de ce travail porte sur la domestication de l'orge et du blé, mais le scénario que je propose vaut également

Tout a commencé par la sédentarisation de chasseurs-cueilleurs dans des endroits riches en gibier, poissons, végétaux...

ou froids, secs ou humides, intervient Margareta Tengberg, professeure d'archéobotanique au Muséum national d'histoire naturelle. Chaque foyer de domestication étant doté d'un climat, d'un écosystème et d'une organisation sociale originaux, l'apparition de l'agriculture est certainement le fruit, dans chaque région, d'un enchaînement singulier

pour la domestication du riz en Asie du Sud-Est et celle du maïs en Amérique centrale », assure-t-il. Pour ce chercheur, tout a commencé par la sédentarisation de quelques bandes mobiles de chasseurs-cueilleurs dans des endroits riches en gibier, poissons, végétaux... Une perte de mobilité synonyme de hausse des naissances (la fécondité



▲ Dénommée la Vache qui pleure, cette gravure rupestre se trouve au Sahara. Elle témoigne de la domestication des bovins dans cette région au Néolithique.

des femmes étant plus faible dans les groupes nomades où les enfants sont allaités plus longtemps que dans les groupes sédentaires), ainsi que d'une dépendance croissante envers les céréales sauvages (notamment en raison du rôle de ces dernières comme aliments de substitution pour le sevrage des enfants). Par la suite, la dégradation climatique du Dryas récent (une période froide et sèche entre 11 000 et 9 600 ans avant notre ère)

s'est traduite par une raréfaction des sources de nourriture. Ce stress environnemental majeur a fait comprendre aux populations pour qui les céréales sauvages étaient devenues un élément clé de leur régime alimentaire qu' « *il ne fallait pas manger tout ce qu'elles cueillaient, mais en garder une partie comme semences, pour les replanter* », argumente Jean-Renaud Garel. Cette séquence longue de plusieurs siècles a vu les premières mises en culture de céréales sauvages et la structuration des villages sédentaires en chefferies, une autorité étant nécessaire pour faciliter cette mutation. »

DES CÉRÉALES SAUVAGES À ADAPTER

Troisième étape, au X^e millénaire : le climat étant redevenu favorable, la démographie est repartie à la hausse et les communautés sédentaires ont pu coloniser de nouveaux environnements en y transplantant leurs céréales sauvages, leur savoir-faire et leurs outils (meules pour la moulure, couteaux à moissonner, bâtons à fourir...). Enfin, « *des expérimentations agronomiques visant soit à adapter ces céréales sauvages à de nouveaux climats et à de nouveaux sols, soit à optimiser le rendement des récoltes pour travailler moins en produisant autant, ont fait émerger des variétés mutantes présentant des avantages (décorticage plus facile des grains, solidité des épis mûrs...). Dès lors, formes sauvages et formes domestiques sélectionnées consciemment ou non ont coexisté dans les champs et l'alimentation pendant des millénaires, jusqu'à ce que les secondes supplacent les premières* », ajoute le chercheur.

COMMENT LA CONSOMMATION DE LAIT A TRANSFORMÉ LES HOMMES

Si nous autres *Homo sapiens* avons principalement évolué en tant que chasseurs-cueilleurs nomades, l'invention de l'agriculture et de l'élevage a contribué à nous transformer génétiquement. C'est ce que prouve la lactase, une enzyme permettant de digérer le sucre du lait (le lactose). « *Chez les mammifères, cette enzyme devient en général inopérante après le sevrage, ce qui empêche de digérer le lait à l'âge adulte* », rappelle Evelyne Heyer, professeure d'anthropologie génétique au Muséum national

d'histoire naturelle. Or, aujourd'hui, dans certaines populations humaines, notamment en Europe du Nord et en Afrique de l'Est, une forte proportion d'adultes (jusqu'à 90 %) présentent une lactase fonctionnelle. » Le point commun entre ces groupes ? Tous accordent au lait frais une place prépondérante dans leur alimentation. « *Quand ces populations se sont mises à boire beaucoup de lait au Néolithique*, poursuit Evelyne Heyer, les individus capables de le digérer ont probablement présenté un avantage sélectif :

meilleure absorption de calcium, meilleure résistance à la déshydratation... Les outils de la génétique des populations nous permettent d'estimer le moment où cette mutation a commencé à augmenter en fréquence à quelque 5 000 ans avant notre ère, une date compatible avec ce que l'archéologie nous apprend de la domestication des animaux d'élevage. » Une mutation qui est, en revanche, absente dans les populations d'Extrême-Orient et d'Amérique du Sud, où les animaux ne sont pas exploités pour leur lait.

► Faucille, meules en pierre et couteau, ces outils de la période néolithique prouvent clairement l'existence de pratiques agricoles.



Et les premières bêtes d'élevage ? L'analyse de la taille et de la forme des ossements d'animaux exhumés lors des fouilles archéologiques révèle que les plus anciennes domestications ont eu lieu au Proche-Orient entre 8 500 et 7 000 ans avant notre ère, et concernaient la chèvre, le mouton, le porc, le bœuf. Toujours au Néolithique, le même processus s'est produit de manière indépendante en Amérique du Sud (lama, alpaca, cochon d'Inde, canard de barbarie) et du Nord (dindon), en Extrême-Orient (cochon, chèvre, buffle, coq), en Afrique (âne et peut-être bœuf), en Asie centrale (cheval, chameau) et même en Europe occidentale (porc).

Exception faite du chien, le seul animal domestiqué bien avant, par les chasseurs-cueilleurs du Paléolithique, « l'apparition de l'élevage coïncide grossièrement avec les prémisses de l'agriculture, commente

du Proche-Orient, a précédé les débuts de la domestication. Les hommes de la fin du Paléolithique connaissaient le comportement des animaux et pratiquaient déjà de longue date l'apprivoisement.

UNE ERREUR MONUMENTALE ?

Le succès planétaire de l'élevage et de l'agriculture représente malgré tout un paradoxe. Des études montrent, en effet, que les derniers chasseurs-cueilleurs du Paléolithique étaient en moyenne plus grands et en meilleure santé que les premiers agriculteurs du Néolithique, que leur régime était plus varié en protéines et en vitamines, qu'ils disposaient de plus de temps libre... À tel point que le biologiste et géographe américain Jared Diamond voit dans l'adoption de ce mode de vie par la majeure partie de l'humanité la pire erreur jamais commise par notre

Les derniers chasseurs-cueilleurs étaient en meilleure santé que les premiers agriculteurs et disposaient de plus de temps libre...

l'archéozoologue Jean-Denis Vigne, directeur de recherche au CNRS. Dans de nombreuses régions du globe, plantes et animaux domestiqués ont formé très tôt un système intégré ; les seconds étant nourris avec des déchets agricoles, menés sur les champs après les récoltes pour les régénérer grâce à leur fumier, et fournissant viande, graisse, poils et produits laitiers. La force motrice des bovins, elle, n'est devenue utile à l'agriculture que tardivement, vers le V^e-IV^e millénaire. » Par ailleurs, une longue phase de contrôle des animaux sauvages, entre -12 000 et -9 000 s'agissant

espèce. « Cette "erreur" vient de ce que la transition vers l'agriculture n'a pas été brutale, mais a mis plusieurs millénaires, conclut Jean-Renaud Garel. Ce processus s'est fait en plusieurs étapes, chacune ayant constitué un point de non-retour. Certaines plantes sont d'abord devenues indispensables pour certains groupes humains et ont fait augmenter leur population. Ces groupes n'ont ensuite pu nourrir cette population croissante qu'en apprenant à maîtriser la reproduction de ces plantes et ont été ainsi amenés à l'agriculture sans l'avoir réellement choisi... »

Le meilleur présent pour l'avenir.



Janvier 2016 / Conception : Insigne / Crédits photos : Nicolas Diamant / Thinkstock / Document non contractuel



LaSalle Beauvais et l'Esitpa s'unissent aujourd'hui pour créer un pôle d'enseignement supérieur de référence nationale et internationale dans les domaines des sciences de la Terre, du vivant et de l'environnement.

LaSalle[★]

Beauvais - Institut Polytechnique
Sciences de la Terre, du Vivant et de l'Environnement

ESITPA
ÉCOLE D'INGÉNIEURS
EN AGRICULTURE
NORMANDIE

AGRONOMIE • AGROALIMENTAIRE • ALIMENTATION & SANTÉ
• EAU • ÉNERGIE • ENVIRONNEMENT • GÉOLOGIE

ÉVEILLEZ VOTRE CÔTÉ NOBLE



NOUVEAU SUBARU OUTBACK

Racé et tout en souplesse avec sa boîte Lineartronic, l'Outback se révèle d'une douceur féline en toutes circonstances. Avec son moteur boxer Essence ou Diesel et ses 4 roues motrices permanentes, la puissance est là, disponible à tout moment. En ajoutant son système EyeSight, vous bénéficiez d'un dispositif de repérage des obstacles incroyable. L'œil du tigre en plus rapide...

 **EyeSight**
Driver Assist Technology



REJOIGNEZ-NOUS SUR FACEBOOK

Gamma Outback à partir de 38 350 €. Modèle présenté : Outback 2.0D Luxury Eyesight (PM incluse) : 43 900 €. Tarif public au 1^{er} octobre 2015. Consommations et émissions de CO₂ (sur parcours mixtes) de la gamme Outback : de 5,6 à 7 l/100 km et de 145 à 161 g/km.



RETRouvez la gamme sur SUBARU.FR



SUBARU XV



FORESTER SPORT



OUTBACK

NOUVEAUTÉ 2016



LEVORG



WRX STI



SUBARU BRZ