

# RÉDUIRE LES PESTICIDES, UN PEU, BEAUCOUP, RÉSOLUMENT

La France s'est engagée depuis le Grenelle de l'environnement en 2008 dans une politique de réduction de l'usage des pesticides de synthèse, avec des avancées certaines, mais qui restent en deçà des ambitions initiales. Le Pacte vert européen fixe à son tour des objectifs ambitieux qui impliquent une reconception profonde des systèmes agricoles et alimentaires. Analyse des verrous qui freinent le changement et des leviers à actionner pour l'enclencher.

# Limiter l'usage des pesticides

Le modèle agroécologique est basé sur un ensemble de leviers, de l'échelle de l'exploitation au paysage, qui permettent de créer un écosystème auto-protecteur et de limiter l'usage de pesticides. Il met en œuvre de nouvelles formes d'occupation des sols pour maximiser la couverture du sol et diversifier les paysages : agriculture de conservation, relay-cropping, cultures en bandes. Adapté localement, il s'appuie sur la prévention et les régulations naturelles. Il est aussi favorable à la biodiversité, la gestion de l'eau et la lutte contre le changement climatique.

**1 Infrastructures paysagères**  
[haies, arbres, mares, fossés, bandes enherbées... soit 20 % de la surface agricole] favorisent la biodiversité, la qualité de l'eau, limitent le ruissellement.

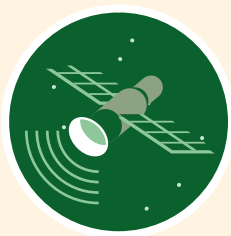
**2 Variétés génétiquement adaptées**  
aux cultures en mélange, résistantes aux bioagresseurs et à la sécheresse.

**3 Immunité renforcée**  
Favoriser le microbiote autour des racines, tiges, feuilles, utiliser des biostimulants pour lutter contre les stress nutritifs ou climatiques.

**4 Bioagresseurs**  
→ Epidémiologie pour une détection précoce.  
→ Biocontrôle (auxiliaires de culture, piégeage, confusion sexuelle, microorganismes, biocide).

**5 Numérique et agroéquipements**  
→ Outils d'aide à la décision.  
→ Capteurs et intelligence artificielle (IA) pour détecter les adventices et les bioagresseurs.  
→ Semoirs pour implanter des couverts pluri-spécifiques.  
→ Outils de désherbage mécanique intervenant sur le rang.  
→ Robots de désherbage.





**6 Diversification**  
Régulation des  
« mauvaises herbes »,  
des insectes ravageurs  
et des maladies :  
→ mélange de variétés  
[4 d'une même espèce]  
→ mélange d'espèces  
[céréale et légumineuse]  
→ rotations sur 4 ans  
minimum [alternance des  
cultures, avec introduction  
de légumineuses]  
→ introduction de cultures  
nouvelles [sarrasin,  
légumineuses à graines,  
fourragères].

**7 Plantes dites**  
« de service »  
[moutarde, fève, etc.]  
Plantées entre deux  
cultures de rente  
(interculture) ou en couvert  
pérenne, elles aident à  
maîtriser les ravageurs et  
les maladies. Elles piègent  
aussi le nitrate dans le sol  
et le protègent (limitent  
l'infiltration et le stockage  
de l'eau et apportent de la  
matière organique).

**8 Plantes « compagnes »**  
[œillet d'Inde, avoine  
rude, vesce, fenugrec].  
Plantées entre les rangs  
de la culture de rente ou  
en bordure de champ, elles  
repoussent les insectes ou  
attirent les auxiliaires de  
culture [coccinelle,  
chrysope].

**10 Fertilisation limitée**  
(diminution des engrais  
de synthèse). L'utilisation  
d'association avec les  
légumineuses permet  
d'assurer la nutrition  
azotée des cultures.

**11 Complémentarité  
avec l'élevage**  
Apport de matière  
organique et valorisation  
des sous-produits.

**9 Agroforesterie**  
En bordure ou au sein  
d'un champ, les arbres  
facilitent l'épuration de  
l'eau et le stockage de  
carbone dans les sols.



# INSTAURER UN NOUVEAU MODÈLE AGRO- ALIMENTAIRE

Pour protéger les cultures contre leurs ennemis, les systèmes agroalimentaires se sont construits autour de l'utilisation des pesticides de synthèse. Le modèle agroécologique offre une alternative cohérente et apparaît comme une vision d'avenir.

## Explications.

Protéger les cultures contre leurs ennemis est nécessaire pour assurer la production agricole. Actuellement, cette protection est basée majoritairement sur l'emploi de pesticides de synthèse efficaces et faciles à utiliser. Leurs ventes mondiales ont été multipliées par 20 à 30 entre les années 1960 et 1990, période pendant laquelle la production alimentaire a triplé. Cependant, l'emploi massif de pesticides et leur dispersion dans le milieu génèrent des impacts négatifs sur l'environnement et la santé animale ou humaine. Une expertise scientifique collective (2022) pilotée par INRAE<sup>1</sup> montre que tous les milieux sont concernés par la contamination : sols, air et cours d'eau jusqu'aux océans. En milieu agricole, cette contamination engendre une perte de biodiversité (invertébrés, amphibiens, microfaune du sol, etc.) et des services qui lui sont associés : pollinisation, régulation des bioagresseurs, structure et propriétés du sol. La présence généralisée de pesticides dans l'environnement provoque des impacts sur la santé humaine de plus en plus documentés. Une expertise collective de l'Inserm de 2021, s'appuyant sur l'analyse de plus de 5 000 publications scien-



PACTE VERT  
EUROPÉEN

2030  
**-50 %**  
de pesticides et  
d'antibiotiques

**-20 %**  
d'engrais azotés

**25 %**  
de la surface  
en agriculture  
biologique

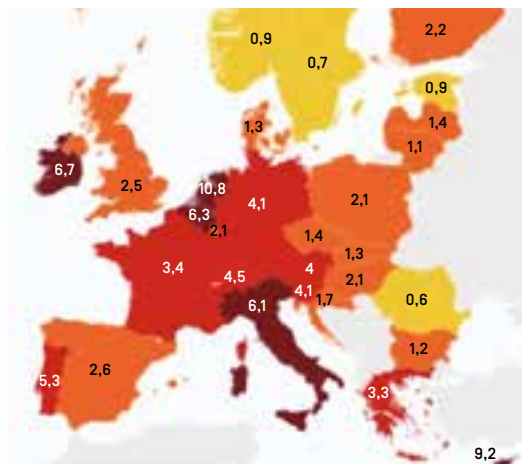
2050  
Neutralité  
carbone

tifiques, confirme la présomption forte d'un lien entre l'exposition professionnelle aux pesticides et plusieurs pathologies, dont la maladie de Parkinson et certains cancers<sup>2</sup>.

Il est parfois difficile de démontrer un lien de cause à effet et donc d'évaluer les « coûts cachés » des pesticides en termes de santé et de dommages à l'environnement. Une étude<sup>3</sup> récente donne une fourchette d'estimation très large pour la France en 2017 : elle va de 372 millions d'euros, si on considère les coûts attribuables sans ambiguïté aux pesticides (soit plus de 10 % du budget du ministère de l'Agriculture en 2017), à 8 milliards si on élargit aux dommages liés aux pesticides avec moins de certitude, par exemple certains cancers ou les atteintes à la biodiversité.

Des politiques publiques ambitieuses sont aujourd'hui en place en France et en Europe pour mieux réguler l'usage des pesticides de synthèse et pour encourager des solutions alternatives. Malgré ces intentions, la vente de pesticides en France est restée importante entre 2009 et 2018 : 51 000 à 63 000 tonnes de substances actives (hors biocontrôle et produits autorisés en agriculture biologique, AB). Il faut toutefois souligner →

**USAGE EUROPÉEN DES PESTICIDES EN KG DE SUBSTANCES ACTIVES / HECTARES DE SURFACE AGRICOLE UTILISÉE, EN 2020**



● > 6 kg/ha ● 3-6 kg/ha  
● 1-3 kg/ha ● <1 kg/ha

Moyenne UE - 27: 3,3 kg/ha

Sélection : pays de l'UE et Suisse, Royaume-Uni, Norvège. Données arrondies. Source : FAO

CHIFFRES CLÉS

# Usages des pesticides

Substances actives utilisées en 2021



- 40% Herbicides
- 45% Fongicides
- 9% Insecticides
- 6% Autres

En tonnage, source Agreste 2022

**468** substances actives autorisées en Europe pesticides de synthèse et biocontrôle, avril 2021

**391** substances actives autorisées en France sous 2944 formulations différentes, avril 2021

**+13%** Augmentation des ventes de produits de biocontrôle entre 2020 et 2021

**2 ans** Temps nécessaire à l'évaluation d'une substance active par l'EFSA et l'ANSES

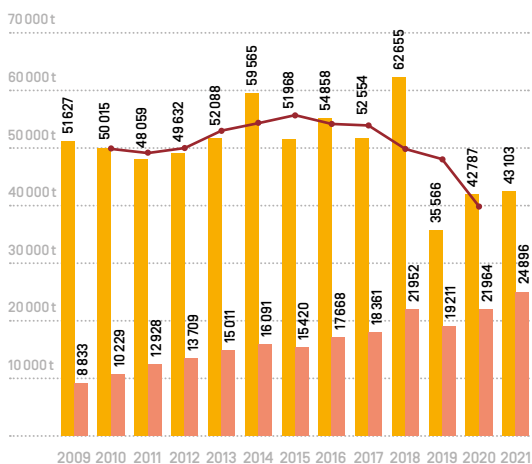
**50 000 €** Coût moyen d'une demande d'autorisation de mise sur le marché (AMM)

**2 000 €** Coût d'une demande pour les produits de biocontrôle

2008-2025

# Les plans Écophyto

**ÉVOLUTION DES QUANTITÉS TOTALES DE SUBSTANCES ACTIVES VENDUES EN FRANCE PAR TYPE D'USAGES**



● Substances actives hors usages en agriculture biologique et hors produits de biocontrôle  
● Substances actives en produits de biocontrôle et/ou utilisables en agriculture biologique  
— Moyenne triennale [années N-1; N; N+1] des quantités totales de substances actives hors usages en agriculture bio et hors biocontrôle

Source : BNVD - ventes au code commune Insee des distributeurs, extraites le 17 mai 2022. Traitements : OFB, 2022; SDES, 2022.

En France, le premier plan Écophyto (2008-2015) visait une réduction de l'utilisation de pesticides de 50% « si possible » en 2018. Le plan Écophyto II (2015-2025) repousse ce même objectif à l'horizon 2025. En 2018, le plan Écophyto II+ intègre les objectifs de sortie du glyphosate. Les certificats d'économie de produits phytosanitaires (CEPP) constituent l'un des dispositifs réglementaires du plan. Ils incitent les distributeurs de pesticides à diminuer leurs ventes en proposant des alternatives aux agriculteurs. Pour chaque alternative mise en œuvre (variétés résistantes, produits de biocontrôle,

outils de désherbage mécanique, etc.), les distributeurs reçoivent des certificats dont le nombre dépend de la réduction d'usage de pesticides permise. Ce nombre est déterminé par une commission d'experts présidée par Christian Huyghe, directeur scientifique Agriculture d'INRAE. 120 fiches-actions et plus de 3 000 références sont aujourd'hui disponibles<sup>1</sup>. Malgré une montée en puissance, de nombreux distributeurs n'ont pas atteint leurs quotas en 2021 : 5,1 millions de CEPP collectés contre 16,6 millions attendus.

1. <https://url.inrae.fr/41UC8kn>

depuis 2019 une tendance à la diminution des ventes de pesticides hors produits de biocontrôle, tandis que les ventes de ces derniers ont été multipliées par 2,8 entre 2009 et 2021 (voir graphique p. 17). D'autre part, les produits les plus dangereux classés CMR1 (cancérogènes-mutagènes-reprotoxiques) ont été retirés, et les ventes des produits classés CMR2 ont diminué de 57% entre 2016 et 2020<sup>4</sup>. Mais cette trajectoire ne permet pas d'atteindre les objectifs fixés en 2019 par le Pacte vert européen (European Green Deal), rendu public en décembre 2019 par la Commission européenne, et ce malgré les moyens conséquents mis en place tels que les plans nationaux Écophyto (voir encadré p. 17).

#### Un système verrouillé

Si le système évolue difficilement malgré des moyens importants, c'est qu'il subit un phénomène de verrouillage sociotechnique. Selon ce concept, les systèmes dominants s'autorenforcent par des effets de réseau, d'apprentissage, de normes et d'économies d'échelle. Le phénomène de verrouillage s'applique en agriculture, où les acteurs se sont organisés autour d'un modèle dépendant des pesticides. En grandes cultures par exemple, l'intensification et la spécialisation autour des espèces les plus rentables, blé, colza, maïs, avec des rotations courtes, favorisent les adventices et les bioagresseurs, qui bénéficient de ces milieux homogènes. Le recours aux pesticides est alors inévitable. Les tentatives d'introduction d'autres espèces dans les rotations, en particulier des légumineuses (luzerne, pois protéagineux...) se heurtent à la difficulté de créer de nouvelles filières. De leur côté, les semenciers investissent peu dans

**PESTICIDE**  
Ce terme désigne les produits destinés à lutter contre les organismes indésirables. Dans ce dossier, il fait essentiellement référence aux produits de protection des cultures, insecticides, fongicides et herbicides de synthèse.

**ADVENTICE**  
Plante présente dans un champ sans y être intentionnellement introduite.

**BIOAGRESSEUR**  
Organisme susceptible de nuire aux cultures : plante adventice ; virus, bactérie ou champignon pathogènes ; insecte, acarien ou nématode ravageurs.

la sélection d'espèces mineures et les équipements ont adapté le matériel agricole à ces systèmes simplifiés. On retrouve dans ce système les effets d'économie d'échelle liés à une production de masse, mais aussi le poids des normes sociales qui valorisent plutôt l'image d'un champ de blé homogène et sans adventices. Enfin, ce verrouillage est renforcé par la difficulté pour les agriculteurs de renoncer à la simplicité d'utilisation des pesticides pour aller vers des systèmes plus complexes nécessitant un investissement en temps, en connaissances et en matériel, et pouvant se traduire par une perte de rentabilité pendant la phase de transition. En bout de chaîne, le cahier des charges des distributeurs impose souvent des critères contraignants correspondant aux exigences des consommateurs : fruits sans défauts par exemple. Jean-Marc Meynard, agronome au centre INRAE de Versailles et co-auteur du rapport Écophyto R&D<sup>5</sup> paru en 2010, a contribué à diffuser ce concept en France. Pour lui, « déverrouiller le système équivaut à changer tout le système agricole ».

#### L'agriculture biologique, pionnière du « sans pesticides de synthèse »

Apparue dans les années 1950, l'agriculture biologique (AB) est une forme historique d'agriculture sans intrants de synthèse (engrais et pesticides). Elle est néanmoins dépendante de l'utilisation de cuivre pour maîtriser des maladies bactériennes ou fongiques comme le mildiou de la vigne et de la pomme de terre, ou la tavelure de la pomme. Face aux effets néfastes des excès de cuivre sur la croissance des plantes et la vie des sols, certains pays restreignent, voire interdisent son usage (Pays-Bas et Danemark par exemple). L'AB n'échappe donc pas à la question de la sortie des pesticides. Une expertise scientifique collective conduite par INRAE<sup>6</sup> identifie des alternatives à l'usage du cuivre : combiner des variétés résistantes avec l'usage de biocides ou de stimulateurs naturels de défense des plantes et des mesures prophylactiques. Mais la mise en place de ces alternatives reste lente, en particulier parce que le cuivre reste disponible.

#### Le biocontrôle : un plafond de verre malgré des succès

Devenu quasiment la norme en serres, le biocontrôle, reconnu comme l'un des piliers de →

**Au moins  
19 pesticides  
interdits depuis de  
nombreuses années  
sont encore présents  
aujourd'hui dans  
l'environnement.**

# AVENIR

## Le modèle agroécologique

**Pour répondre aux enjeux environnementaux et favoriser l'autonomie alimentaire, un nouveau modèle agricole est possible.**

Si l'agriculture conventionnelle utilisatrice de pesticides représente un système cohérent, l'agroécologie propose un modèle différent tout aussi cohérent. Au lieu de viser l'éradication des bioagresseurs au moyen de pesticides de synthèse, l'agroécologie préconise de les contenir à un seuil acceptable, c'est-à-dire sans conséquences négatives majeures, en favorisant les régulations naturelles : organismes auxiliaires de culture, mécanismes de défense de la plante, diversité fonctionnelle, de la parcelle au paysage. En résumé, il s'agit de créer un écosystème résilient, autoprotecteur, dans lequel il devient possible de cohabiter avec un certain niveau de ravageurs et de maladies. Il s'agit aussi de surveiller l'émergence des bioagresseurs (voir page 31) pour intervenir le plus tôt possible (épidémiosurveillance, piégeage des ravageurs), et, lorsqu'il faut intervenir, utiliser des produits de biocontrôle moins dommageables pour l'environnement.

### Sortir de la dépendance aux pesticides

Ce modèle, dont le maître mot est la prophylaxie, permet non seulement de sortir de la dépendance aux pesticides, mais offre d'autres bénéfices, en matière de préservation de la biodiversité et de lutte contre le changement climatique, avec un

meilleur stockage de carbone dans le sol et une meilleure gestion de l'eau (lire *Ressources* n°2). L'agroécologie et l'agriculture biologique ont beaucoup en commun et bénéficient de leurs avancées mutuelles.

Basées toutes deux sur les vertus des régulations naturelles, elles peuvent mobiliser les mêmes leviers : prophylaxie, diversification, variétés résistantes, etc. L'agriculture biologique gagnerait à développer des systèmes encore plus diversifiés avec des variétés adaptées, tandis que l'agroécologie gagnerait à adopter le modèle économique de l'agriculture biologique, dont la viabilité repose en partie sur le consentement à payer des consommateurs grâce à un label bien identifié.

### Productivité et rentabilité du système agroécologique

Les systèmes agroécologiques, une fois installés et maîtrisés, peuvent être aussi productifs et aussi rentables que les systèmes conventionnels. Au niveau d'une exploitation, la rentabilité est la résultante de plusieurs facteurs.

**rentabilité =**  
**production** (rendement x surface)  
 x **prix de vente** (débouchés)  
 – **coût des intrants** (engrais, pesticides...)  
 – **équipements** (semis, récoltes, tri...)  
 – **autres frais** (assurances, services...)  
 – **travail**

Les leviers de l'agroécologie, par exemple la diversification végétale, ont des effets contrastés sur ces facteurs. Parmi les effets favorables, les associations de cultures [céréales-légumineuses en particulier] constituent un puissant levier pour augmenter et stabiliser le rendement des cultures. Les économies d'intrants jouent aussi favorablement sur la rentabilité. Parmi les effets défavorables, figurent le coût des agroéquipements à acquérir

pour les semis en mélange, le tri des récoltes, etc. De même, l'implantation d'éléments semi-naturels (haies, bandes enherbées, etc.) peut faire perdre de la surface et doit être soutenue financièrement. Les techniques alternatives de lutte contre les bioagresseurs sont en général également plus coûteuses en main-d'œuvre. La rentabilité peut varier d'une année sur l'autre. Elle doit s'améliorer pendant la phase de transition jusqu'à la maîtrise du système. Elle dépend aussi du développement de filières pour valoriser la diversité des productions au niveau des territoires.

À l'instar de l'agriculture biologique, les systèmes agroécologiques devraient être soutenus par une certification et des prix de vente plus élevés, répercutés au niveau du consommateur, et par des politiques publiques adaptées, et ce d'autant plus que les bénéfices environnementaux des systèmes agroécologiques, bien que difficiles à chiffrer, profitent à l'ensemble de la société (moins de pollution, plus de biodiversité, meilleure gestion de l'eau, lutte contre le changement climatique)<sup>1</sup>.

**Les systèmes agroécologiques, une fois installés et maîtrisés, peuvent être aussi productifs et aussi rentables que les systèmes conventionnels.**

1. Lire article : [url.inrae.fr/3Z9Z03R](http://url.inrae.fr/3Z9Z03R)

l'agroécologie (voir focus p. 19) reste limité en grandes cultures. Le soufre, substance naturelle classée parmi les produits de biocontrôle en France, est très largement utilisé en viticulture contre l'oïdium et progressivement en blé tendre contre la septoriose. Dans les vergers, la carpovirusine contre le carpocapse de la pomme, et, en viticulture, des phéromones sexuelles contre les vers de la grappe sont employées avec efficacité mais sur des surfaces réduites (10-15 %). Contre les insectes invasifs, la lutte biologique par introduction d'auxiliaires des cultures peut être efficace, mais seulement un tiers des auxiliaires parvient à s'établir, et seuls 10 % d'entre eux induisent un contrôle suffisamment efficace de leur cible. Un indéniable succès concerne néanmoins la lutte contre le cynips du châtaignier, un ravageur originaire de Chine qui peut faire chuter la production fruitière de 80 %. L'introduction de son ennemi naturel, *Torymus sinensis*, une microguêpe parasitoïde, a été testée comme moyen de biocontrôle par des scientifiques d'INRAE, avant d'être déployée largement dans les zones castanéicoles et de permettre à la production de redémarrer. Cette réussite a nécessité la coordination des producteurs pour opérer les lâchers à une échelle régionale<sup>7</sup>.

### Une transition agroécologique et alimentaire

L'agroécologie propose un modèle (voir focus page 19) qui vise à minimiser l'usage de pesticides et fertilisants de synthèse sans les interdire. En admettant l'utilisation – modérée – d'engrais de synthèse forts en azote, phosphore, potassium, les systèmes agroécologiques sont en général plus productifs que les systèmes en agriculture biologique (AB). Cette nouvelle agriculture prônée par le Pacte vert européen ne peut s'envisager sans une reconception globale à la fois des systèmes agricoles et des régimes alimentaires. C'est ce qu'ont souligné des experts d'INRAE et d'Agro-ParisTech en réponse à un rapport de l'United States Department of Agriculture (USDA)<sup>8</sup>. Ce rapport, paru en 2020, pointe les risques du Pacte vert concernant la productivité, en estimant une diminution potentielle de la production agricole de 12 et 7 %, selon que les préconisations du Pacte vert s'appliquent au niveau européen ou mondial<sup>9</sup>. D'après cette modélisation, il s'ensuivrait une augmentation des prix des denrées alimentaires

### PROPHYLAXIE Ensemble de pratiques pour prévenir l'apparition et la propagation de bioagresseurs.

et une aggravation de l'insécurité alimentaire mondiale (voir encadré p.48). Cependant, cette analyse considère les systèmes de culture tels qu'ils sont actuellement et ne tient pas compte de leur évolution vers des systèmes agroécologiques optimisés. Ainsi, une étude internationale récente impliquant INRAE montre que l'association de deux espèces (céréale et légumineuse) sur une même parcelle donne un rendement en protéines dans les grains souvent supérieur à celui de la culture la plus performante cultivée isolément<sup>10</sup>.

D'autre part, la stratégie européenne « De la ferme à la table »<sup>11</sup> incite à actionner un levier majeur : modifier le régime alimentaire dans les pays occidentaux, avec moins de calories, moins de produits animaux, moins de pertes post-récolte et moins de gaspillage alimentaire qui représente en Europe 20 % de la nourriture. Comme le montre la prospective Agrimonde Terra de 2016<sup>12</sup>, cette évolution alimentaire permettrait de mieux répartir les ressources avec les pays du Sud et de nourrir 9,7 milliards d'habitants en 2050 sans augmentation notable des surfaces cultivées et pâturées<sup>13</sup>. Le changement doit donc être systémique et inclure non seulement une reconception des systèmes agricoles à grande échelle mais aussi une évolution significative des régimes alimentaires. ●

1. Lire l'article : [url.inrae.fr/3sIP3qG](http://url.inrae.fr/3sIP3qG)

de presse : [url.inrae.fr/38p8Z5H](http://url.inrae.fr/38p8Z5H)

2. Expertise collective « Pesticides & santé – Nouvelles données », Inserm, 2021 : <https://bit.ly/3Wb1qzG>

8. Lire le rapport USDA : <https://bit.ly/3BwbseM> et l'étude INRAE/AgroParisTech [url.inrae.fr/3hbAPtM](http://url.inrae.fr/3hbAPtM)

3. Alliot C. et al. (2022.) - [doi.org/10.3389/fsufs.2022.1027583](https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1027583)

9. Lire l'article : [url.inrae.fr/2JJEb93](http://url.inrae.fr/2JJEb93)

4. Classement CRM1 ou CRM2 selon le niveau de risque, certain ou probable, règlement CE n° 1272/2008

10. Lire le communiqué de presse : [url.inrae.fr/3jWtNwf](http://url.inrae.fr/3jWtNwf)

5. Lire l'article : [url.inrae.fr/3nWcOME](http://url.inrae.fr/3nWcOME)

11. Stratégie européenne « De la ferme à la table » : [url.inrae.fr/3KHBTnk](http://url.inrae.fr/3KHBTnk)

6. Lire l'article : [url.inrae.fr/2HrWGx2](http://url.inrae.fr/2HrWGx2)

12. Lire l'article : [url.inrae.fr/2AMMSLc](http://url.inrae.fr/2AMMSLc)

7. Lire l'article : [url.inrae.fr/3mjOBn8](http://url.inrae.fr/3mjOBn8) & le dossier

13. Voir l'infographie : [url.inrae.fr/3zDaN8K](http://url.inrae.fr/3zDaN8K)



# TOUS CONCERNÉS

Identifier les leviers techniques ne suffit pas à enclencher la transition agroécologique à la hauteur des ambitions. Réduire de 50 % l'usage des pesticides implique des innovations sociales et organisationnelles qui doivent être portées par l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur agroalimentaire, du producteur au consommateur. **Explications.**

© INRAE - Christophe Maître. Filière locale de farines, pâtes et pains bios issus de variétés de céréales sélectionnées pour ces fins.

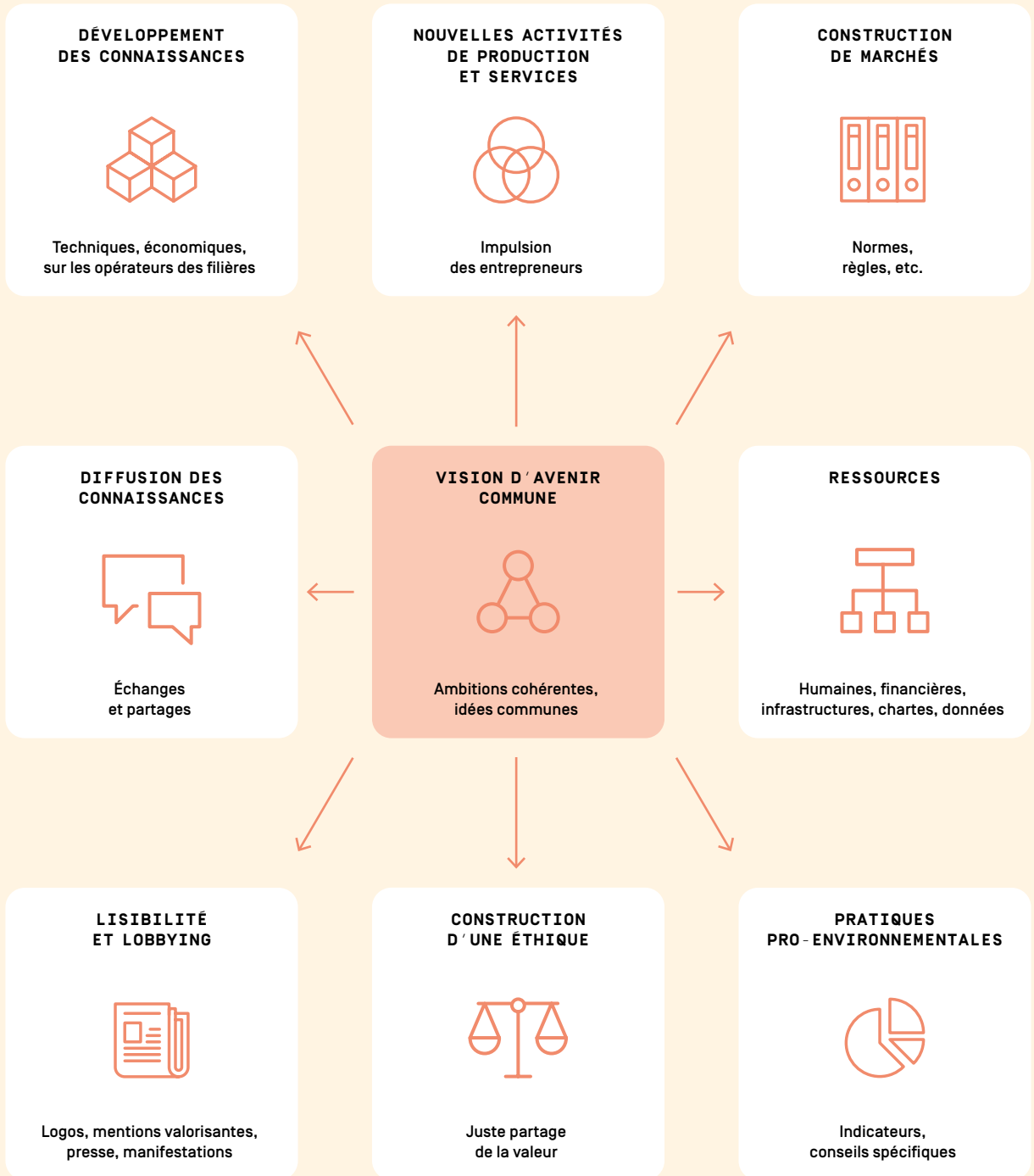


# NEUF FONCTIONS POUR DÉVELOPPER UNE FILIÈRE

À partir d'analyses de cas a posteriori, Marie-Benoit Magrini, ingénieure de recherche en sciences économiques à INRAE, propose

un outil de pilotage pour structurer des filières qui intègrent un objectif de durabilité, comme dans le cas des filières de légumineuses.

Il s'agit de 9 fonctions clés permettant de développer une filière en tant que système d'innovation responsable :



L'innovation sociale pourrait être une clé majeure pour déverrouiller le système actuel et réussir sa transformation. Elle inclut la définition de nouvelles valeurs et de nouveaux mécanismes de coordination.

**L'intérêt de la coordination des acteurs sur le terrain**

Plusieurs études indiquent que les innovations environnementales demandent plus de coopération entre les acteurs. Les travaux de Mourad Hannachi, chercheur en sciences de gestion à INRAE AgroParisTech, montrent l'efficacité de l'organisation collective avec l'exemple du déploiement coordonné dans le territoire de variétés de colza porteuses de deux gènes de résistance au phoma, un champignon pathogène. La coordination de tous les acteurs (sélectionneurs, distributeurs de variétés, coopératives d'agriculteurs, institut technique) est nécessaire pour éviter d'utiliser ces résistances de manière continue au même endroit, ce qui aboutit inévitablement à un contournement très rapide de la résistance par le bioagresseur. « Une telle coordination n'allait pas de soi, rapporte Mourad Hannachi, car il n'y a pas de bénéfices immédiats à en attendre. » En effet, il s'agissait de gérer un bien commun avec un bénéfice à long terme. En 2016, un atelier de recherche-action a pourtant été organisé. Il a permis aux acteurs de prendre conscience de ces enjeux. Dès lors, ils ont accepté de partager leurs informations sur le déploiement des variétés résistantes, tandis que la recherche leur fournissait des outils pour surveiller l'évolution du pathogène. « Ensemble, on a toutes les pièces du puzzle pour gérer durablement la santé des plantes sans pesticides de synthèse », conclut le chercheur.

Forts de ces résultats, les chercheurs ont développé un jeu de rôle pour appliquer cette démarche dans les Hauts-de-France, un territoire pilote fortement utilisateur de pesticides. Ce jeu, construit avec l'ensemble des acteurs, y compris les industriels de l'agroalimentaire, simule les conséquences de l'utilisation de variétés résistantes, de pesticides et de produits de biocontrôle dans plusieurs scénarios. Selon le comportement des acteurs, on peut aboutir à des situations de contournement des résistances ou de perte d'efficacité des pesticides. En simulant plusieurs campagnes agricoles, les acteurs comprennent

**LÉGUMINEUSE**  
Plante dont le fruit riche en protéines est une gousse. Elle a la particularité de fixer, via une symbiose racinaire, l'azote atmosphérique, ce qui permet de réduire l'apport d'engrais azotés.

les situations d'impasse phytosanitaire et l'intérêt de se coordonner, alors que, spontanément, ils commencent souvent par s'opposer en faisant valoir leurs propres intérêts à court terme. « Faire de la pédagogie permet de recréer du dialogue et des visions partagées qui dépassent les postures individuelles », souligne Mourad Hannachi.

**Innover en amont et en aval**

La diversification végétale, un des leviers de l'agroécologie, implique de cultiver en mélange des variétés et des espèces, d'utiliser des cultures intermédiaires et d'introduire de nouvelles cultures, donc de développer de nouvelles filières. Or, l'innovation est souvent bloquée côté amont et/ou aval. Par exemple, l'utilisation de mélanges de variétés de blé, qui réduit la dépendance aux pesticides, est freinée en amont par la pauvreté des mélanges disponibles, et en aval par les standards de la meunerie française, souvent en faveur d'un nombre limité de variétés pures, à l'exception des mélanges meuniers Soufflet, associant 5 variétés de blé<sup>1</sup>. Pour favoriser des innovations de rupture, il faut donc faire bouger à la fois l'amont et l'aval.

Un exemple concerne le développement de filières de légumineuses pour l'alimentation humaine. Les légumineuses sont des cultures de diversification particulièrement intéressantes par leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et à réduire ainsi le besoin d'engrais azotés. La complémentarité des compétences à INRAE a permis à plusieurs équipes de concevoir des innovations à la fois en amont, avec des cultures associées de céréales et de légumineuses, et en aval avec des produits innovants de haute valeur nutritionnelle tels que des pâtes aux légumineuses précuites ou des génoises céréales-légumineuses<sup>2</sup>.

**Aider à l'émergence de nouvelles filières**

Une filière se crée quand les acteurs parviennent à s'organiser tout au long de la chaîne de valeur, de l'amont à l'aval, autour d'une production. Des filières commencent à se structurer dans plusieurs régions pour les légumineuses à graines, mais leur culture est encore peu développée (seulement 3% de la surface agricole utilisée) et 70% des légumes secs consommés en France sont importés. Pour encourager la culture de légumineuses à graines françaises, des outils tels que les contrats →

# CÉPAGES RÉSISTANTS

## La vigne en marche vers la transition agroécologique

**La recherche autour de nouveaux cépages résistants au mildiou et à l'oïdium permettra de réduire la consommation de pesticides.**

Avec 18 traitements annuels en moyenne (en 2019 en France), la viticulture est l'un des secteurs les plus consommateurs de pesticides, depuis que la vigne doit faire face à des maladies introduites depuis les États-Unis au XIX<sup>e</sup> siècle, en particulier le mildiou et l'oïdium. C'est pourquoi l'obtention et le déploiement de variétés de vigne résistantes à ces deux maladies simultanément constituent un indéniable succès de recherche et de coopération avec la filière. Ces variétés permettent de réduire de plus de 80 % les traitements fongicides, qui représentent eux-mêmes 80 % des pesticides utilisés sur la vigne. « *L'atout majeur de ces variétés est de cumuler plusieurs facteurs de résistance, ce qui permet de ralentir l'adaptation des bioagresseurs. Ces travaux ont été initiés à INRAE dès les années 1970* », explique François Delmotte, pathologiste à INRAE<sup>1</sup> Bordeaux.

### Neuf nouvelles variétés résistances cultivées

En 2022, 9 variétés résistantes obtenues par INRAE sont inscrites au Catalogue officiel des espèces et variétés de plantes cultivées en

France : 5 variétés résistantes en vin rouge (Artaban, Vidoc, Coliris, Lilaro, Sirano) et 4 en vin blanc (Floréal, Voltis, Opalor, Selenor). Même si elle est a priori robuste, il faut s'assurer que la résistance obtenue est durable dans le temps. C'est l'objectif de l'Observatoire du déploiement national des cépages résistants (OSCAR), un dispositif participatif créé par INRAE et l'Institut français de la vigne et du vin (IFV) en 2017<sup>2</sup>. Les variétés résistantes françaises, mais aussi européennes, sont cultivées par des viticulteurs volontaires en conditions de production, sur différents sites<sup>3</sup>. Des prélèvements de mildiou et d'oïdium sont régulièrement analysés en laboratoire pour détecter un éventuel phénomène de contournement. Le dispositif permet aussi de surveiller l'émergence d'autres maladies, qui pourrait être favorisée par la diminution drastique des fongicides, comme par exemple le black rot, une maladie liée à un champignon qui entraîne un dessèchement des grappes de raisin.

### Des cépages mieux adaptés au changement climatique

La sélection se poursuit car les variétés résistantes peuvent encore être améliorées pour d'autres critères. En particulier, des variétés plus tardives seront mieux adaptées au changement climatique car moins sensibles aux gels de printemps et moins chargées en sucre, la maturation du raisin se faisant après la saison la plus chaude. La résistance au black rot est aussi recherchée. Enfin, les qualités gustatives sont essentielles. Ces améliorations motivent des programmes de sélection régionaux, qui consistent à croiser des variétés résistantes avec des cépages emblématiques des appellations d'origine protégée (AOP) choisis par l'interprofession dans chaque région : cabernet

franc, chardonnay, etc.

Les nouvelles variétés combinant au mieux ces qualités devraient apparaître aux alentours de 2030. En attendant, les variétés résistantes actuelles sont commercialisées sous l'étiquette Vin de France ou IGP (Vin de pays). En accord avec la réglementation européenne, elles sont aussi introduites dans les domaines bénéficiant de l'AOP au titre expérimental de VIFA (variétés d'intérêt à fin d'adaptation) : elles peuvent être cultivées sur 5 % de la surface et commercialisées à hauteur de 10 % en mélange dans le vin d'appellation. « *Ce dispositif permet aux viticulteurs de tester ces variétés et de les valoriser dans le commerce* », précise François Delmotte. Elles présentent également un intérêt majeur pour la plantation à proximité des habitations (respect de zones non traitées).

### Un déploiement à long terme

Plusieurs atouts sont donc réunis pour le déploiement des variétés résistantes : une résistance efficace et surveillée, une réglementation en évolution pour leur intégration dans les AOP et une demande des consommateurs pour des vins sans pesticides. Néanmoins, ce déploiement est lent car la plantation de nouveaux cépages est coûteuse et engage pour de nombreuses années. Les variétés résistantes représentent actuellement 2 000 ha sur les quelque 840 000 ha de vignes françaises.

1. Lire l'article : [url.inrae.fr/3GMH3wB](http://url.inrae.fr/3GMH3wB) ou voir la vidéo : [youtu.be/90QE\\_GF6Nfw](https://youtu.be/90QE_GF6Nfw)

2. [observatoire-cepages-resistants.fr](http://observatoire-cepages-resistants.fr)

3. Voir cartes OSCAR : [u.osmf.org/m/165218](http://u.osmf.org/m/165218)

de production sont très intéressants. Les industriels s'engagent à acheter une part de la production aux coopératives, qui peuvent ainsi investir dans le soutien aux agriculteurs et dans des infrastructures de tri et stockage. « Grâce à ces contrats renouvelés sur le long terme, les industriels économisent des coûts de transaction (coûts de la négociation, coûts d'acheminement, risques de marché) et sécurisent leurs investissements », explique Marie-Benoit Magrini, économiste au centre INRAE de Toulouse.

Mais comment naissent ces collectifs d'acteurs qui s'engagent pour développer de nouvelles filières ? « Au départ, les relations sont souvent informelles et basées sur la confiance », analyse Marie-Benoit Magrini. Les acteurs se rencontrent lors de séminaires autour d'enjeux de durabilité, tels que les rencontres francophones sur les légumineuses initiées par INRAE depuis 2016. Ils s'accordent peu à peu sur une vision commune et sur des pistes d'action. Parallèlement, les innovations s'affinent, les processus s'améliorent, d'abord à petite échelle. Des chefs étoilés créent des recettes innovantes, des artisans boulangers testent différentes moutures de farine de légumineuses... Lorsque les produits sont bien définis, on peut établir un cahier des charges et passer à la phase de contractualisation. Ce processus prend du temps. Un projet initié dès 2017 pour développer les légumineuses en Occitanie a débouché sur la création en 2022 d'une association appelée Fileg qui vise à soutenir la création de filières à travers plusieurs instruments : observatoire des cultures, guide de contractualisation, outil de veille des marchés. Cette association fédère aujourd'hui plus de 80 partenaires de l'agrochaîne<sup>3</sup>.

### Facteurs d'extension des filières

Une filière émergente à l'état de niche peut prendre de l'ampleur et avoir un effet d'entraînement dans la transition agroécologique. Par exemple, la filière Bleu-Blanc-Cœur (BBC), créée en 2000, fédère aujourd'hui plus de 7000 exploitations. Elle promeut des cultures de diversification permettant de réduire l'usage des pesticides. Parmi elles, le lin utilisé pour l'alimentation animale bénéficie d'une mention valorisante reconnue car ses graines sont riches en acides gras oméga-3, bénéfiques pour la santé. BBC s'est développée grâce à des contrats avec les éleveurs et étend son réseau en s'associant à deux autres filières axées sur le



↑  
Sélection des variétés de blés adaptées aux filières locales de production de pâtes et de pain, sans pesticides de synthèse.

© INRAE -  
Christophe Maitre

développement durable, « Pour une agriculture du vivant » et « Demain la Terre », pour former le collectif appelé « Troisième voie des filières agricoles responsables ». « La construction de niches est un passage obligé pour déverrouiller le système dominant, confirme Jean-Marc Meynard, agronome au centre INRAE de Versailles. *L'agriculture biologique est un exemple de niche qui a réussi : elle concerne aujourd'hui 9 % de la surface agricole utile française, contre 3 % il y a 10 ans* ».

Certains acteurs peuvent être moteur dans la création de filières innovantes, à l'instar de l'industriel Valorex dans le cas de la filière BBC, ou de la coopérative Qualisol, qui valorise toute une gamme de légumes secs sous sa propre marque. Les interprofessions ont aussi un rôle clé d'accompagnement, comme Terres Univia qui anime aujourd'hui une démarche nationale de suivi des filières légumineuses dans les régions, dont Fileg.

### Au bout de la chaîne, le consommateur est-il moteur ?

Il faut distinguer la demande sociétale pour des produits avec moins de pesticides et l'acte d'achat →



© Centre INRAE Grand Est-Colmar

réel des consommateurs, qui obéit à des mécanismes complexes. « *Le choix d'un produit résulte d'un compromis entre différents critères, explique Yann Raineau, économiste au centre INRAE de Bordeaux. Ainsi, nos expérimentations sur le vin montrent que le consommateur est sensible aux informations environnementales, mais que cela peut ne pas suffire par rapport à d'autres critères comme le prix, le goût, et surtout la santé.* » Ainsi, dans le cas du vin, la qualification "sans sulfites", porteuse d'une image de naturalité, entre en compétition avec la qualification "bio", alors même qu'elles portent l'une et l'autre sur des aspects tout à fait différents. Dans tous les cas, des politiques publiques favorisant des informations sanitaires et environnementales claires pourraient guider utilement les choix des consommateurs.

Actuellement, cette information aurait tendance à être à la fois pléthorique, au vu de la multitude de qualifications et labels existants, et peu lisibles en termes de méthodes d'évaluation. Des initiatives visent cependant à créer des labels intégratifs et transparents, à l'instar du Planet-score<sup>®4</sup>. Apposé sur les emballages des produits alimentaires, le Planet-score classe les aliments sur une échelle de A à E (du vert au rouge) pour trois com-

↑  
Vinification de raisin issu de vignes résistantes au mildiou et à l'oïdium.  
Centre INRAE Grand Est-Colmar.

posantes : pesticides, biodiversité et climat, avec une appréciation supplémentaire pour les produits animaux.

Le surplus payé par le consommateur pour des aliments bio ou labellisés agroécologiques pourrait être en partie compensé par une évolution de son panier vers moins de quantité, moins de viande, moins de gaspillage.

La loi Egalim s'appuie sur la restauration collective comme levier pour le changement : elle impose un taux d'approvisionnement de 50 % de produits durables et de qualité, dont 20 % de produits issus de l'agriculture biologique, et, depuis novembre 2019, au moins un repas végétarien par semaine. Dans le cadre du Territoire d'innovation « Dijon, alimentation durable 2030 », Sophie Nicklaus, spécialiste du comportement alimentaire au centre INRAE de Dijon, analyse l'acceptation de ce repas végétarien à base de légumineuses : des bornes de satisfaction installées dans les cantines montrent que les plats végétariens recueillent auprès des enfants un score en moyenne aussi bon, voire meilleur, que les plats carnés, lorsqu'on mobilise la pédagogie et le plaisir des cinq sens. Un deuxième repas végétarien hebdomadaire sera proposé en 2023 (voir encadré p. 58).

**En amont de la chaîne :  
la recherche et le conseil**

Pour Marie-Hélène Jeuffroy, agronome au centre INRAE de Versailles, le conseil agricole gagnerait à évoluer dans deux directions. Premièrement, en aidant les agriculteurs à concevoir leur propre trajectoire, plutôt qu'en dispensant des conseils standardisés. Deuxièmement, et c'est aussi le rôle de la recherche, en dépassant la simple description pour analyser les mécanismes à l'œuvre dans les systèmes de culture et gagner ainsi en généralité. « *C'est ce que nous avons fait par exemple en étudiant les associations céréales-légumineuses dans le cadre du Programme européen Remix conduit entre 2027 et 2021.* » À partir de l'expérience des agriculteurs dans plusieurs pays, le projet propose 52 fiches qui fournissent des informations précises sur la mise en culture de différentes associations. « *Nous nourrissons ces connaissances en recherchant les agriculteurs innovants, par le réseau des conseillers, par le bouche-à-oreille ou en remontant la filière de produits innovants repérés dans le commerce, c'est ce que nous appelons la traque aux innovations.* »

Ainsi, la transition vers une agriculture réduisant fortement l'usage des pesticides mobilise des innovations organisationnelles, au-delà des leviers techniques ou technologiques. Dans une société à tendance individualiste, cela implique de restaurer le dialogue et de recréer un tissu social autour des agriculteurs. La sortie du verrouillage sociotechnique actuel peut passer par des initiatives privées, telles que la structuration de nouvelles filières embarquant tous les maillons de la chaîne de valeur. La réglementation et une aide publique ciblée représentent des leviers essentiels pour soutenir ces initiatives. ●

1. Labarthe P. et al. (2021), doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121028

2. Lire les articles : url.inrae.fr/5Kr0ifM & url.inrae.fr/36wkkBd

3. Fileg, avec l'appui de la DRAAF Occitanie, l'Agence de l'eau Adour-Garonne, l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse et la Région Occitanie - fileg.org

4. planet-score.org

DEPHY FERME

## Des résultats encourageants

L'expérience du réseau Fermes Dephy (un dispositif du plan gouvernemental Écophyto) qui rassemble quelque 3 000 exploitations agricoles engagées dans une démarche volontaire de réduction de l'usage de pesticides, montre que l'accompagnement technique peut favoriser la transition agroécologique. Les agriculteurs volontaires, organisés en groupes animés par un ingénieur réseau, ont diminué leur utilisation de pesticides de 18 à 40 % en moyenne en 10 ans, sachant que certains d'entre eux en utilisaient déjà peu au

moment de leur entrée dans le réseau. Dans 78 % des situations, la rentabilité économique des fermes économes en pesticides est équivalente, voire meilleure que celles de leurs voisines. « *Ces agriculteurs ont vérifié l'efficacité des leviers de l'agroécologie : rotations diversifiées, cultures robustes, labour non systématique, modération de la fertilisation* », analyse Nicolas Munier-Jolain, agronome au centre INRAE de Dijon, qui a contribué à la mise en place du système d'information Agrosyst sur les résultats de Dephy.

DIMINUTION MOYENNE DES INDICES DE FRÉQUENCE DE TRAITEMENT (IFT) SELON LES FILIÈRES\*, POUR LES AGRICULTEURS ENGAGÉS DANS LE RÉSEAU DEPHY



**Maraîchage**  
(159 fermes)  
**-34 %**  
3,5 → 2,3



**Cultures tropicales**  
(56 fermes)  
**-19 %**  
4,7 → 3,8



**Arboriculture**  
(145 fermes)  
**-35 %**  
15,3 → 10



**Horticulture**  
(52 fermes)  
**-38 %**  
6 → 3,7



**Viticulture**  
(415 fermes)  
**-24 %**  
10,4 → 7,9



**Grandes cultures**  
(774 fermes)  
**-27 %**  
2,6 → 1,9

IFT initial moyen\*\* (en 2010 - 2012 ou 2015 - 2016) IFT moyen sur 2018/2019/2020

\* Valeur qui cumule tous les pesticides appliqués. Un IFT de 3,5 signifiera que la parcelle a reçu l'équivalent de trois traitements et demi à taux plein à l'hectare.

\*\* Les IFT moyens initiaux sont souvent inférieurs aux moyennes nationales.

Se placer dans une optique « zéro pesticide » permet aux scientifiques d'INRAE d'explorer des fronts de science très novateurs. Parmi les pistes : mobiliser des actions préventives, détecter au plus tôt l'apparition des maladies et ravageurs, stimuler l'immunité de la plante, sélectionner des variétés aptes à la cohabitation, démultiplier le biocontrôle...

**Le point sur les solutions.**

# UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE SOLUTIONS

Pour atteindre les objectifs de réduction de 50 % de l'usage des pesticides prônés par le Pacte vert européen, il faut concevoir des innovations de rupture. C'est pourquoi les chercheurs se sont fixé un objectif extrême, à savoir une protection des cultures efficace avec « zéro pesticide », afin de produire les connaissances fondamentales nécessaires à un véritable changement de système. C'est en particulier l'ambition du programme « Cultiver et protéger autrement » (PPR CPA), lancé en 2019<sup>1</sup>. Illustration avec quelques projets.

1. Programme prioritaire de recherche (PPR) piloté par INRAE et financé par France 2030 (PIA3). 10 projets de recherche sélectionnés sur 6 ans (30 millions d'euros), [www6.inrae.fr/cultiver-protoger-autrement](http://www6.inrae.fr/cultiver-protoger-autrement)

## ÉPIDÉMIOLOGIE

### Prévenir au plus tôt

Intelligence artificielle, fouille de textes, génétique des populations, télédétection, flux commerciaux mais aussi chiens renifleurs... L'épidémiologie permet d'anticiper les prémices de problèmes sanitaires majeurs pour mieux les gérer et éviter des tensions sur la sécurité alimentaire. Cindy Morris, écologue à l'unité Pathologie végétale, coporteuse du projet Beyond, explique : « Nous cherchons les indicateurs les plus précoces possibles. Nous croisons les données pour mieux prédire les mouvements des insectes ravageurs et agents pathogènes, et les zones à risque majeur ». Un schéma de diffusion de maladie peut être lié à la circulation du vent ou de l'eau dans l'environnement, ainsi qu'à l'état de

stress de la plante. « Nous élaborons un système d'information ouvert à tous, pour un conseil agricole beaucoup plus préventif. »

Cette veille pourra bénéficier d'innovations mises au point dans le projet Phérosensor. « Nos capteurs détectent les insectes, via les phéromones qu'ils émettent pour communiquer », explique Philippe Lucas, neurobiologiste à l'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris et porteur du projet. Emmanuelle Jacquin-Joly, directrice de recherche dans le même laboratoire, poursuit : « Nous visons en premier lieu les espèces invasives pour agir au plus tôt ». Le capteur codéveloppé par INRAE et le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) est un dispositif hybride, biologique et physique. Son système ultra-sensible de détection d'odeurs réagit à des molécules émises par les insectes à hauteur de seulement quelques nanogrammes par heure.



IMMUNITÉ DE LA PLANTE

## Des leviers à combiner

La sélection de variétés résistantes et la diffusion de leurs semences et plants sont un moyen de protéger de nombreuses espèces sans utiliser de pesticides (voir page 24). Les cultures de légumineuses, partenaires privilégiées des associations végétales, sont encore très impactées par les maladies et ravageurs. Le projet Specifics, mené au sein du PPR CPA, sélectionne des légumineuses à la fois plus résistantes, adaptées aux cultures associées et compétitives vis-à-vis des adventices. D'autres leviers novateurs peuvent être associés à ces résistances génétiques. Ils jouent sur l'immunité des plantes et sur leur microbiote. Comme les animaux, les plantes ont une immunité faisant barrière aux ravageurs et pathogènes, qui est innée. La difficulté est que l'expression de cette immunité est fortement conditionnée par les pratiques culturales et les conditions climatiques. Les pratiques visant une productivité maximale peuvent se révéler particulièrement défavorables à la pleine expression des défenses immunitaires. « *Nous étudions différentes combinaisons de*

*facteurs: application de stimulateurs de défense des plantes (SDP) et de flashes d'UV-C, gestion de la fertilisation azotée, utilisation de variétés à résistance partielle... Nous mesurons leur effet sur leurs principaux bioagresseurs de la pomme et de la tomate, nos deux modèles.* », explique Marie-Noëlle Brisset, pathologiste à l'Institut de recherche en horticulture et semences, coporteuse du projet Cap Zéro Phyto. Le but est de fiabiliser l'utilisation de ces leviers sur le terrain, tout en assurant une productivité économiquement acceptable. Le projet prévoit également d'intégrer des plantes de service dans les cultures pour repousser les ravageurs ou attirer et alimenter les auxiliaires de culture. Nous évaluons comment ces services sont affectés par les différents facteurs. Le projet Sucseed, piloté par Matthieu Barret microbiologiste à l'IRHS, étudie comment induire l'immunité dès le développement des graines. Les semences peuvent en effet transporter des agents pathogènes nuisibles à leur croissance et qui font l'objet de contrôles sanitaires stricts. Le traitement des plantes porte-graines avec des stimulateurs de défense des plantes (SDP) en conditions contrôlées permet de réduire de moitié la transmission des agents phytopathogènes sur haricot et colza. Ces solutions seront testées au champ en 2024.

FRANCE

**1<sup>er</sup>**  
producteur européen de semences, leader mondial à l'exportation.  
source : SEMAE

**CERTIFICATION SANITAIRE DES SEMENCES**

**250**  
agents pathogènes de différentes espèces, véhiculés par les graines, sont surveillés.  
source : GEVES-SNES 2021

↓  
Récolte de pommes dans un verger expérimental pour des systèmes de production durable en arboriculture, centre INRAE d'Angers.



© INRAE - Christophe Maître



© Jeanne Daumal

## COUVERTS ET AGROÉQUIPEMENTS

## Vers des alternatives au glyphosate

Le glyphosate est l'herbicide le plus utilisé dans le monde et en France et il fait toujours débat quant à ses impacts sur la santé humaine. La Commission européenne devait statuer sur son interdiction fin 2022, mais cette échéance a été repoussée mi-2023 afin d'examiner les compléments d'études produits récemment. Sur demande ministérielle, INRAE a rendu en 2017 un rapport sur les alternatives au glyphosate en agriculture, puis en 2019-2020 une évaluation économique des conséquences de sa suppression en arboriculture, viticulture et grandes cultures. Son interdiction apparaît actuellement comme une impasse pour l'agriculture de conservation des sols car, sans travail du sol et sans herbicide, il est difficile de contrôler certaines adventices ou d'éliminer un couvert végétal avant les semis suivants. Des leviers sont néanmoins prometteurs : désherbage mécanique ou thermique, relay-cropping (voir page 38), couverts sensibles au gel<sup>2</sup>.

2. Lire l'article : [url.inrae.fr/33tsIAI](http://url.inrae.fr/33tsIAI)

## GÉNOMES

## Que pourraient apporter les nouvelles techniques de sélection variétale (NBT) ?

Parmi les NBT (new breeding techniques), les techniques dites d'édition opèrent des modifications ciblées du génome. Elles pourraient permettre de sélectionner plus vite des plantes résistantes en créant de la variabilité. Mais utiliser ces techniques suppose au préalable une connaissance fine des génomes et une maîtrise de la technologie sur une grande diversité d'espèces. Il faut aussi évaluer les éventuels effets non anticipés et leur perception par la société.

Et enfin, bien sûr, qu'elles soient autorisées par la réglementation. Recruter des micro-organismes bénéfiques, s'associer à d'autres plantes... Autant de caractéristiques valorisées en agroécologie auxquelles les travaux de sélection ne s'étaient pas intéressés jusqu'alors. Mieux les caractériser est le préalable de tout travail de sélection, qu'elle soit classique, participative ou fondée sur les biotechnologies. La question des NBT est un sujet complexe que nous prévoyons d'aborder dans l'un de nos prochains dossiers.

↑  
Punaise auxiliaire des cultures [*Perillus bioculatus*] se nourrissant d'œufs de doryphore [*Leptinotarsa decemlineata*], insecte ravageur de la pomme de terre.

## SYMBIOSES

## La protection par le microbiote

«*Le microbiote*, explique Christophe Mougel, chercheur en écologie à l'Institut de génétique, environnement et protection des plantes, et pilote du projet DeepImpact, *c'est toute la scène microbienne autour d'une plante. Il facilite l'alimentation hydrique des racines, fournit des nutriments à la plante et agit sur son immunité. Le dialogue plante-microorganismes s'instaure au semis avec les microorganismes présents dans le sol.*»

Pourrait-on choisir d'implanter les cultures dans les sols où les microbes leur seraient les plus favorables ? À cette fin, le projet caractérise les « terroirs microbiens », identifie des bio-indicateurs de l'état microbien d'un sol et évalue l'effet des pratiques agricoles sur les équilibres entre plantes et microbes. Ensuite, les scientifiques testent des assemblages de microorganismes afin de recréer un microbiote apte à barrer la route aux épidémies ou aux attaques de ravageurs.

De tels assemblages pourraient par la suite être commercialisés pour faire du biocontrôle en cultures de blé ou de colza. Sucseed explore aussi cette voie pour protéger les semences, sans nuire à leur croissance. Son défi est d'opérer les bons choix parmi plus de 1500 souches bactériennes et 500 souches fongiques identifiées dans le microbiote des graines de tomate, haricot, colza ou blé. Ces deux projets ouvrent de nouvelles voies pour la sélection variétale, en caractérisant les aptitudes et la manière dont la plante recrute son microbiome.

**« Le microbiote [...] facilite l'alimentation hydrique des racines, fournit des nutriments à la plante et agit sur son immunité. »**

## PROPHYLAXIE ET BIOCONTRÔLE

## Des paysages odorants pour vaincre la jaunisse de la betterave

En 2020, une invasion précoce de pucerons vecteurs des virus de la jaunisse a fortement impacté la production française de betterave sucrière [-27,4 % en moyenne]. Cet impact a été d'autant plus brutal que la protection de cette culture se trouve très dépendante de l'utilisation d'insecticides de la famille des néonicotinoïdes, qui sont interdits depuis 2018.

À la suite de cette crise, la France a autorisé à titre dérogatoire l'usage préventif des néonicotinoïdes

en enrobage de semences pour la betterave en 2021 et 2022. À la demande des pouvoirs publics, INRAE, l'Institut technique de la betterave et leurs partenaires conduisent un programme de recherche et innovation sur les alternatives. L'utilisation de plantes compagnes constitue une des pistes les plus novatrices : ces plantes brouillent le paysage olfactif et visuel des pucerons et freinent leur attaque. D'autres pistes sont explorées : variétés de betterave résistantes au virus, produits de biocontrôle, réduction des réservoirs viraux, etc.

## ASSOCIATIONS DE CULTURES

## Une stratégie durable contre les bioagresseurs

Associer des espèces ou des variétés dans une même parcelle permet d'activer des complémentarités et des interactions entre les plantes, les rendant plus résistantes ou tolérantes aux bioagresseurs. Ces mélanges apportent aussi une stabilité face aux aléas : dans une association blé-pois, en année défavorable au pois, on récoltera au minimum du blé. Le projet MoBiDiv coporté par Jérôme Enjalbert, généticien à l'unité Génétique quantitative et évolution, et Aline Fugerey-Scarbel, économiste au laboratoire d'Économie appliquée de Grenoble, étudie ces associations et recherche les plus efficaces pour contrôler les bioagresseurs. Pour cela, le blé est cultivé en mélange de différentes variétés, ou en association avec une légumineuse, ou encore en bandes insérées. Le projet développe des méthodes de sélection classique ou participative pour identifier des variétés adaptées à une utilisation en mélange. Il met au point des outils d'aide à l'assemblage des mélanges, selon les conditions climatiques, le système de culture et la région. Le développement de mélanges de variétés et d'espèces nécessite aussi de repenser les politiques publiques sur les semences, actuellement centrées sur les variétés pures. Comment garantir la qualité de semences hétérogènes et imaginer des systèmes de rémunération qui incitent les sélectionneurs à travailler sur des espèces intéressantes mais représentant de petits marchés ? L'adaptation des débouchés est aussi étudiée dans le projet. Actuellement, les mélanges se développent essentiellement dans les régions d'élevage où ils sont consommés sur l'exploitation. Mais s'ils se diffusent plus largement, comment faire évoluer les standards de marché ?

# Biocontrôle, du curatif au préventif

## LES PRODUITS



**Les substances naturelles**  
Elles sont issues d'organismes vivants (animal, végétal ou microbien) ou minérales.



**Les médiateurs chimiques**  
Odeurs naturellement émises par les insectes ou les plantes et qui vont déterminer le comportement sexuel des insectes ou leur comportement alimentaire.



**Les microorganismes**  
Champignons et bactéries non pathogènes, actifs vis-à-vis des bioagresseurs ou stimulant les défenses naturelles des plantes.



**Les macroorganismes**  
Auxiliaires de type insectes, acariens, ou encore oiseau, chauve-souris...



## AGROÉCOLOGIE

### Un Grand défi pour l'innovation en biocontrôle et biostimulation

Le projet de Grand défi Biocontrôle et biostimulation<sup>3</sup> pour l'agroécologie s'inscrit dans la stratégie d'accélération France 2030 qui vise à doper l'innovation. Il réunira la recherche publique académique et la recherche appliquée, le développement agricole et les industriels d'amont du biocontrôle et des biostimulants, avec de nouveaux acteurs qui s'intéressent aussi à ce domaine :

coopératives, industries de transformation... « Valoriser les productions pour leur qualité en lien avec la démarche agroécologique et rémunérer les différents acteurs de la chaîne pour cela, va tirer l'innovation, permettre de fixer des cahiers des charges pour l'amont, d'assurer les gens qui prennent les risques », souligne Thibaut Malausa, écologue à l'Institut Sophia-Agrobiotech, qui contribue à la construction du Grand défi Biocontrôle et biostimulation pour l'agroécologie [voir focus p. 19].

3. Le biocontrôle aide la plante à lutter contre ses bioagresseurs tandis que les biostimulants l'aident à surmonter les stress climatiques et nutritionnels, ou améliorent ses qualités, notamment organoleptiques.

## INNOVATION

### L'enjeu du déploiement du biocontrôle

Le marché du biocontrôle connaît une croissance annuelle à deux chiffres et atteint 13% des ventes de pesticides en France en 2021... Pour Thibaut Malausa, il faut sortir du modèle de l'agrochimie basé sur la commercialisation de produits pour aller vers des méthodes qui utilisent la prévention et les régulations naturelles, comme la lutte biologique par conservation. Cela demande beaucoup d'innovation organisation-

## LES ACTIONS SUR LES POPULATIONS D'INSECTES

### 1 Lâchers

Introduction d'un auxiliaire pour contrôler un bioagresseur.

### 2 Confusion sexuelle

Empêche la reconnaissance entre mâles et femelles des bioagresseurs et donc leur reproduction.

### 3 Lutte autocide

Utilisation du bioagresseur contre lui-même, par exemple en lâchant des mâles stériles qui vont empêcher sa reproduction.

### 4 Lutte biologique par acclimatation

Introduction et acclimatation d'un auxiliaire spécifique d'un bioagresseur non originaire de la région.

### 5 Lutte biologique par conservation

Aménagement des cultures et éléments naturels du paysage pour maximiser les régulations naturelles.



nelle pour agir collectivement à l'échelle d'un territoire. Mais cette régulation à long terme est infiniment plus durable économiquement que l'utilisation récurrente d'un produit. C'est l'objet des réflexions du consortium Biocontrôle, opérationnel depuis 2016, qui réunit une cinquantaine d'acteurs de la recherche et des entreprises, pour innover et contribuer à l'essor du biocontrôle à travers l'identification des infrastructures et compétences en France et en Europe et la conduite de projets de recherche communs.

Le PPR CPA sera un apport précieux pour l'innovation de rupture en biocontrôle, parfois associée aux nouvelles solutions en agroéquipements

et robotique. INRAE travaille également sur les médiateurs chimiques et les paysages olfactifs dans le but de brouiller la communication entre insectes et réduire ainsi leurs attaques, sur la lutte biologique par conservation, qui mobilise la diversité végétale et l'aménagement du paysage au bénéfice des auxiliaires des cultures, et sur de nouvelles stratégies de lutte autocide.

Le projet « Enfin! » vise à introduire des souches de microorganismes pouvant se croiser avec les souches naturelles et les rendre moins pathogènes, ou perturber leur reproduction et les rendre stériles. Il travaille sur la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*).

**INRAE travaille sur les médiateurs chimiques et les paysages olfactifs dans le but de brouiller la communication entre insectes et réduire ainsi leurs attaques.**

# DES EXPÉRIMENTATIONS PROMETTEUSES

INRAE conduit des expérimentations de culture sans pesticides depuis plus de 10 ans. Les systèmes étudiés sont conçus dès le départ dans cet objectif, en appliquant les principes de l'agroécologie, ce qui facilite leur réussite.

## Enjeux.

La recherche contribue à apporter des connaissances mobilisables par la profession agricole, aux avant-postes de l'innovation. INRAE développe également depuis 2008 des essais dans ses unités expérimentales pour explorer sur le terrain la faisabilité du zéro pesticide. Le réseau appelé RésOPest comporte 9 systèmes de grandes cultures conduits sans pesticides et répartis dans différentes régions<sup>1</sup>. Lors de la mise en place des premiers systèmes, certaines réserves ont été émises sur la faisabilité et les performances de tels systèmes. Mais avec un recul de 10 ans, le constat est clair : il est possible de conduire des systèmes de grandes cultures en allant jusqu'au bout de la démarche zéro pesticide, y compris avec des cultures réputées très dépendantes des produits phytosanitaires, comme le colza, sujet à de nombreuses bioagressions, ou la pomme de terre, dont l'indice de fréquence de traitements phytosanitaires (IFT) est très élevé à cause des traitements anti-mildiou. « Dans la majorité des cas, nous n'avons pas observé de dégradation des performances des systèmes de culture par les bioagresseurs ou de perte de fertilité des sols », explique Vincent Cellier, coordinateur national de RésOPest au centre INRAE de Dijon. Ces systèmes sont cependant plus complexes à mettre

en œuvre et plus exigeants en heures de travail. Ils se sont considérablement améliorés au fil des années, preuve de l'importance de l'apprentissage continu.

### Essai en grandes cultures à Grignon

À Grignon (78), l'expérimentation, initiée en 2008, visait à explorer la faisabilité d'un système zéro pesticide en grandes cultures, tout en réduisant fortement l'apport d'engrais azotés. N'étant pas focalisé sur la productivité, le système admet des objectifs de production réduits par rapport aux systèmes conventionnels. Il est basé sur 3 grands leviers : la rotation longue sur 6 ans, avec alternance de cultures d'hiver et de printemps : maïs, blé, féverole, blé, chanvre, triticales ; les intercultures avant toutes les cultures de printemps pour piéger le nitrate, réduire le pool d'adventices, augmenter la diversité des espèces ; le désherbage mécanique : labour, binage, hersage.

« En 12 ans (2008-2020), nous avons optimisé ce système zéro pesticide, maintenant techniquement viable, en maîtrisant la majorité des bioagresseurs (maladies, insectes et adventices) », résume Caroline Colnenne-David, agronome à INRAE, chargée de cet essai. Ce système est productif : le rendement



↑  
Vue aérienne  
du verger circulaire  
de Gotheron.

exprimé en valeur énergétique (Gjoule/ha) est équivalent à celui du système témoin<sup>2</sup>. La production de chanvre compense des rendements plus faibles pour le blé et le maïs : respectivement -22% et -31% par rapport au système témoin. Une augmentation du prix de vente du blé serait justifiée par la production de produits exempts de tout pesticide et permettrait d'atteindre la rentabilité du système témoin : +100 euros/tonne (soit 338 au lieu de 238 euros/tonne), ce qui reste inférieur au prix du blé bio (454 euros/tonne, prix en mai 2021). L'introduction du chanvre, l'un des atouts de ce système, nécessite aussi le développement de filières de valorisation. « *Nous avons choisi de diminuer les apports d'engrais azotés pour réduire la consommation d'énergie fossile liée à leur production et les émissions de gaz à effet de serre* », complète Caroline Colnenne-David. Ce choix explique en partie les diminutions de rendement du blé et du maïs. De nouvelles recherches sont en cours pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote des cultures dans des systèmes bas-pesticides. D'autres verrous techniques, comme l'absence de variétés de féverole résistantes aux maladies, restent à lever. La diminution de l'usage d'engrais et l'absence de pesticides confèrent au système un bon bilan

environnemental : moins d'émissions de gaz à effet de serre, moins de pollution par l'azote et les pesticides, et une biodiversité accrue.

#### Verger zéro pesticide à Gotheron

INRAE expérimente également un verger "zéro pesticide" à Gotheron depuis 2018<sup>3</sup>. Sa diversité végétale et sa forme originale en cercles concentriques visent à favoriser la présence d'auxiliaires prédateurs de ravageurs : carabes, araignées, syrphes, coccinelles... mais aussi oiseaux et chauves-souris. Les arbres fruitiers dont les variétés sont choisies pour leur tolérance aux bioagresseurs, sont situés au cœur du dispositif, →

**Avec un recul de dix ans, le constat est clair : il est possible de conduire des systèmes de grandes cultures zéro pesticide.**



© INRAE - Bertrand Nicolas

protégés par les cercles extérieurs composés d'arbustes et d'arbres à fruits à coque, ou encore de variétés pièges des ravageurs. « *Le projet est encore très jeune, comment Sylvaine Simon, en charge du dispositif, mais nous avons déjà mis en évidence de forts taux de prédation sur des ravageurs comme les pucerons.* » Le verger comporte 35 espèces et variétés d'arbres fruitiers sur 2 ha, ce qui veut dire de petits volumes de production, avec des fruits parfois déformés ou tachés, du fait de l'absence de traitements. « *Il sera intéressant d'étudier les débouchés de cette production dans la Drôme, un territoire favorable, pionnier de l'AB et des circuits courts. Les "cafés Agro" publics que nous organisons en hiver pour partager des expériences autour de la diversification du verger rencontrent un vif succès.* » Le dispositif CA-SYS, implanté depuis 2018 sur le domaine expérimental INRAE d'Époisses, près de Dijon, ajoute des défis supplémentaires à ceux de RésOPest<sup>4</sup>. Il vise à explorer des systèmes de grandes cultures sans pesticides, soit en mobilisant le travail du sol, soit en minimisant son recours. L'absence de travail du sol ajoutée à l'absence de pesticides rend la gestion des adventices particulièrement périlleuse, et à ce jour impossible. Elle correspond à la situation que connaîtrait l'agriculture de

↑  
Relevés de pots-pièges pour évaluer la biodiversité [carabes, araignées], à Gotheron.

conservation des sols en cas d'interdiction de tous les herbicides. CA-SYS expérimente 4 systèmes sur 125 ha, une échelle supérieure aux quelques hectares des systèmes RésOPest. À cette échelle, les stratégies mobilisant les infrastructures paysagères peuvent donner toute leur mesure. L'objectif est d'obtenir en 10 ans une rentabilité équivalente aux systèmes conventionnels ou biologiques pratiqués par les agriculteurs voisins.

#### Les scénarios pour 2050

Viser le zéro pesticide dans toute l'Europe en 2050, tel est le changement d'échelle considérable qu'explore une prospective coordonnée par INRAE<sup>5</sup>. Trois scénarios sont envisagés qui s'appuient à des degrés divers sur les régulations biologiques, depuis l'utilisation de facteurs externes en gardant le niveau de spécialisation et les infrastructures actuelles (stimulateurs de défense des plantes, variétés résistantes, biocontrôle, scénario 1) jusqu'à la diversification des cultures et la reconfiguration des paysages (associations de cultures, mosaïque de cultures, rotations longues, scénario 3). Le scénario 1 assure « seulement » des aliments sans pesticides, alors que le



scénario 3 va plus loin en ajoutant la santé environnementale, avec une réduction de 37% des gaz à effet de serre (contre -8% pour le scénario 1). Ce scénario le plus radical n'est pas pour autant le moins productif, car il bénéficie des avantages de la diversification. Chaque scénario s'accompagne d'une modification du régime alimentaire, plus marquée pour le scénario 3, avec une réduction des calories/personne/jour, une consommation de produits animaux divisée par 4 et une consommation de légumineuses 10 fois supérieure, par rapport à l'année 2010 prise comme référence. Cette «sobriété alimentaire» donnerait à l'Europe une marge de manœuvre pour équilibrer la production et les besoins alimentaires, en amortissant les fluctuations possibles de rendement.

En changeant son régime alimentaire, le consommateur est un moteur clé de cette transition. D'autres leviers très importants sont nécessaires et doivent être combinés dans tous les scénarios, pour atteindre un tel objectif sans dégrader la souveraineté alimentaire de l'Europe. Ce sont ceux qui ont été évoqués tout au long de ce dossier : recherche et innovation pour coconstruire des systèmes de culture sans pesticides, labels zéro pesticide, partage du risque pris par les agriculteurs, politiques alimentaires de transition vers des régimes sains, politiques publiques de soutien à la transition des systèmes agricoles et de régulation des pesticides, accords commerciaux internationaux.

Cette prospective fait partie intégrante du Programme prioritaire de recherche « Cultiver et protéger autrement » (PPR CPA)<sup>5</sup>. Elle a mobilisé pendant trois ans (2020-2023) une centaine de chercheurs de plusieurs pays, en lien avec l'Alliance européenne de recherche « Vers une agriculture sans pesticide de synthèse » regroupant aujourd'hui 36 organismes de 20 pays<sup>6</sup>. ●

1. <https://www6.inrae.fr/experimentations-systeme/Les-experimentations/Grandes-cultures/Res0Pest>

2. Système productif à hautes performances environnementales.

3. En savoir plus sur Gotheron : [url.inrae.fr/3CUsvqj](http://url.inrae.fr/3CUsvqj)

4. En savoir plus sur CA-SYS : [url.inrae.fr/37Caiih](http://url.inrae.fr/37Caiih)

5. Prospective « Agriculture européenne sans pesticides chimiques en 2050 » INRAE, 2023 : [url.inrae.fr/3ZCeYOF](http://url.inrae.fr/3ZCeYOF)

6. Lire le communiqué de presse : [url.inrae.fr/2I2xwIT](http://url.inrae.fr/2I2xwIT)

RENCONTRE

## Du maraîchage bio sur sol vivant

**Près de Toulouse [31], Pierre Besse, maraîcher depuis plus de 30 ans, et son épouse Nicole cultivent 35 espèces de légumes et aromates sur 4 000 m<sup>2</sup> de microparcelles très productives [3 kg de légumes par m<sup>2</sup> en moyenne]. Le système est conçu pour maximiser la surface occupée par les légumes, empêchant ainsi le développement des adventices, problème n°1 en absence de labour et d'herbicides. Certaines cultures se chevauchent dans le temps [courgette/oignon par exemple], d'autres se superposent [radis ou épinard dans poireau]. Le sol est protégé et fertilisé en permanence par la matière organique qui provient, soit des couverts d'hiver [radis, féverole, gaillet grateron], soit du**

**paillage des cultures en saison productive. « Ce sol riche s'autorégule et nous n'avons pas de bioagresseurs majeurs, résume Pierre Besse, mis à part des courtillères qui reviennent périodiquement et contre lesquelles il faudrait trouver des solutions autres qu'artisanales. »** La production de légumes est vendue à la ferme en système AMAP [Associations pour le maintien d'une agriculture paysanne], à un prix moyen tous légumes confondus d'environ 2,50 euros/kg. Le contrat AMAP procure une grande stabilité économique à la ferme, qui rémunère la totalité du travail effectué [1,5 équivalent temps plein au Smic] et dégage chaque année un surplus pour l'investissement.



© Pierre Besse



# Accélérer la transition agroécologique

Entretien avec Xavier Reboud,  
directeur de recherche, spécialiste en agroécologie

Chargé de mission auprès de la direction scientifique Agriculture d'INRAE sur l'articulation entre agro-écologie, technologie et numérique, Xavier Reboud pilote différents dossiers sur la sortie des pesticides.

## Comment rendre attractif le modèle agroécologique ?

La question se pose de savoir si les avantages de l'agroécologie font le poids face à la compétitivité économique de l'agriculture conventionnelle, qui provient essentiellement d'économies d'échelle : dans le cas du blé par exemple, de grandes surfaces de monoculture, des coopératives spécialisées et des cargos pour l'exportation. Dans la balance, les atouts du modèle agroécologique sont multiples. En premier lieu, son adoption peut considérablement réduire les

coûts cachés, énormes et croissants, des pollutions et des impacts sur la santé animale et humaine, ainsi que sur la biodiversité, avec de surcroît des économies d'énergie fossile et des avantages concernant la lutte contre le changement climatique. De plus, la productivité de ce modèle va augmenter avec une meilleure maîtrise et en occupant mieux l'espace par des mélanges de cultures, voire des chevauchements de cultures (relay cropping), qui maximisent la biomasse obtenue. Ce modèle agroécologique avec des cultures diversifiées présente enfin l'avantage de stabiliser les rendements et d'être plus résilient face aux aléas climatiques. Lorsqu'on pourra mieux chiffrer tous ces avantages différés ou non directement monnayables, la supériorité du modèle agroécologique s'imposera d'elle-même.

## Comment amorcer la transition agroécologique ?

Le changement s'opérera d'autant

mieux et d'autant plus vite que l'on maniera à la fois la réglementation et une reconnaissance, financière et/ou sociale, pour soutenir les actions qui vont dans le bon sens. La réglementation est l'un des principaux leviers actuels, avec l'interdiction d'un nombre croissant de pesticides. Mais force est de constater que l'on peine à anticiper ces interdictions, ce qui conduit à ne les traiter qu'en situation de crise, bien trop tardivement pour disposer de tous les leviers nécessaires à une transition douce (diversification, adaptation variétale, machinisme et numérique, biocontrôle, etc.). La crise de la jaunisse de la betterave (voir page 31) faisant suite au retrait des néonicotinoïdes aurait pu être minimisée si l'ensemble des acteurs privés et publics l'avaient mieux anticipée, par exemple en favorisant la sélection de variétés de betterave résistantes au virus, qui n'était pas un critère prioritaire pour les semenciers et la filière tant que les néonicotinoïdes étaient autorisés.

Pour sortir de ce couperet entre autorisation et interdiction, il faudrait expérimenter des modalités d'interdiction plus progressives et mieux anticipées. Ce temps de transition serait mis à profit pour explorer et améliorer des alternatives. On pourrait envisager un cycle allant graduellement d'une autorisation une année sur deux à une année sur cinq avant un retrait définitif. Pour faciliter la prise de risques, on pourrait aussi imaginer un système de « pesticides de secours sur ordonnance », à l'instar des médicaments. Ces pesticides seraient délivrés lors d'années particulièrement défavorables, sous l'autorité du préfet par exemple.

**Est-ce qu'une agriculture zéro pesticide est envisageable ?**

Il existe déjà des systèmes proches du zéro pesticide mais sur des pas de temps courts et dans des situations particulièrement faciles, notamment celles incluant l'élevage. En effet, comme nous l'avons observé dans le réseau Écophyto Dephy, les fermes en polyculture élevage ont plus de facilité à réduire drastiquement leur usage de pesticides que les fermes céréaliers pures, grâce à la présence, dans les rotations, de prairies et de cultures diversifiées destinées à l'alimentation des animaux, dont des légumineuses. INRAE expérimente sur tous les types de production [grandes cultures, arboriculture, maraîchage, etc.] pour concevoir des systèmes zéro pesticide fiables sur plusieurs saisons, en particulier dans des situations jugées trop risquées pour être développées chez les agriculteurs.

Les leviers à mettre en place pour se passer complètement de pesticides ne sont pas les mêmes que ceux qui permettent de simplement les réduire. Il faut donc se projeter volontairement dans un système où l'on accepte de ne pas recourir aux pesticides, car tant

« Le modèle agroécologique avec des cultures diversifiées présente l'avantage de stabiliser les rendements et d'être plus résilient face aux aléas climatiques. »

qu'il reste ce recours, on travaille plutôt sur les leviers de réduction, et pas assez sur les leviers de suppression. La reconception profonde nécessaire pour atteindre le zéro pesticide suppose d'introduire et de tester un ensemble de leviers à effets partiels qui se combinent pour façonner un écosystème cohérent capable de s'autoréguler sans pesticides (voir infographie sur l'agroécologie pages 14-15). Pendant cette phase de transition, qui peut prendre du temps, il serait préférable d'arrêter de se référer au modèle conventionnel optimisé. On ne peut faire la comparaison qu'une fois que le système agroécologique a, lui aussi, atteint un optimum.

**Quelle est la place du numérique dans cette transition agroécologique ?**

Pour moi, le numérique sera décisif pour envisager le changement de système, car parvenir à un optimum en agroécologie nécessite de maîtriser beaucoup d'informations : il s'agit en effet de gérer une grande diversité de plantes et d'autres organismes en interaction. L'agroécologie et le numérique sont déjà indissociables en recherche à travers la modélisation, qui

permet de savoir par exemple si les flux d'azote mesurés permettent de garantir la fertilité des sols, ou si les régulations biologiques sont en mesure de contenir rapidement une pullulation de pucerons. La modélisation va progressivement basculer d'un outil scientifique à un moyen de pilotage pour l'agriculteur. L'utilisation de capteurs et de drones, pour mesurer les composantes du système (azote, adventices, bioagresseurs etc.), adossée à un traitement numérique, indiquera les actions à mener. Demain, des robots désherbeurs pourront détruire mécaniquement des taches d'adventices sans recours aux herbicides. On peut imaginer aussi des outils d'aide à la décision qui permettront à l'agriculteur de comparer les stratégies utilisées par d'autres dans le même contexte que lui, ainsi que les performances obtenues, pour adapter sa propre stratégie. Ainsi, les compétences des agriculteurs, qui utilisent déjà les outils numériques, devraient s'élargir aux sciences des données et de l'environnement.

Une vraie révolution sera aussi de pouvoir récolter séparément chaque composante des cultures en mélange, ce qu'on ne sait pas encore faire à grand débit. Quand on aura levé ce frein, j'ai la conviction qu'on pourra conduire sans pesticides quasiment tous les systèmes de grandes cultures.

# L'INDISPENSABLE LEVIER DES POLITIQUES PUBLIQUES

Pour accompagner un changement de modèle agroalimentaire, les politiques publiques doivent être systémiques et ne pas s'adresser qu'aux seuls agriculteurs. Enrichies de nouveaux instruments, elles gagneraient à être coordonnées au niveau national et européen.

## Analyse.

Il existe déjà des leviers de politiques publiques nationales efficaces et favorables à des innovations incrémentales pour réduire l'usage des pesticides, tout en assurant la performance productive. En font partie: l'orientation de la création variétale par les travaux du Comité technique permanent de la sélection (CTPS), l'évaluation par le Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences (GEVES) des variétés candidates à une mise en marché, la certification des semences qui assure qu'elles sont indemnes de pathogènes et de bonne qualité physiologique, ou encore les CEPP déjà évoqués (voir page 17). Mais selon Christian Huyghe, directeur scientifique Agriculture d'INRAE, « pour forcer l'innovation, il faut aller au-delà de la démarche qui consiste à aménager de façon incrémentale le système conventionnel actuel pour réduire les pesticides ». Dans ce but, les travaux du PPR CPA (Cultiver et protéger autrement) conjuguent réflexion sur les politiques publiques, adoption par les filières économiques et fronts de science, avec une optique zéro pesticide. Le rôle des politiques publiques est déterminant pour initier des transitions à grande échelle. C'est pourquoi le projet FAST (Faciliter l'Action publique pour Sortir des

→  
Dialogue entre  
chercheur  
et agriculteur.

© INRAE -  
Nicolas Bertrand

pesticides) évalue l'intérêt de redéfinir et combiner différents leviers de l'action publique, qu'ils soient économiques, organisationnels ou réglementaires. Dans une première étape, il a mesuré l'efficacité des politiques publiques existantes. En France, les achats de pesticides ont très peu diminué pendant 10 ans, après la mise en œuvre des premiers dispositifs incitatifs. Pourtant, certains de ces dispositifs sont efficaces. Les fermes du réseau Dephy du plan Écophyto (voir page 27), par exemple, ont une performance environnementale avérée qui résulte bien de l'accompagnement des agriculteurs, si on les compare à celles qui n'en ont pas bénéficié. De même, l'amélioration des pratiques des agriculteurs engagés dans les mesures agroenvironnementales (MAE) de la Politique agricole commune est bien liée au soutien financier. « Cependant, Dephy ne concerne que 1% des fermes françaises, tandis que les MAE sont appliquées sur moins de 3% des surfaces agricoles en Europe. Il faut donc trouver les leviers qui permettront un véritable changement d'échelle de la transition agroenvironnementale amorcée », explique Julie Subervie, économiste au Centre d'économie de l'environnement et coordinatrice du projet FAST. →



### Utiliser tous les leviers du droit, en cohérence

Pour Benoît Grimonprez, chercheur en droit rural et de l'environnement à l'université de Poitiers et membre de FAST, il serait nécessaire de faire converger plusieurs branches du droit pour engager la transition agroécologique : droit concernant l'eau, le foncier, la biodiversité, etc. Par exemple, les baux ruraux qui s'appliquent sur 70% de la surface agricole utile française pourraient plus largement intégrer des clauses relatives aux pesticides, notamment dans les aires de captage. Les Sociétés d'aménagement foncier et d'établissement rural (Safer) pourraient également exercer une pression très forte en stipulant ce genre de clause dans leurs cahiers des charges. Dans le projet de territoire du bassin du Clain (Vienne) que le chercheur accompagne, les agriculteurs irrigants ont accepté un contrat qui conditionne leur accès à l'eau stockée pendant l'hiver à une réduction de leurs usages de pesticides de 50% en 6 ans. Cela concerne des milliers d'hectares. Ce type de contrats environnementaux collectifs ou toute autre formalisation juridique est absolument nécessaire pour rendre l'engagement crédible sur la durée. L'échelle territoriale est bien adaptée à leur mise en place.

Actuellement, les politiques nationales au sein de l'Europe sont en deçà des objectifs du Pacte vert européen, en raison de la crainte d'une perte de compétitivité sur le marché. C'est donc surtout à l'échelle européenne qu'il faudrait susciter des politiques plus ambitieuses, en imposant par exemple des règles communes sur l'usage des pesticides et un protectionnisme européen.

À l'échelle internationale, imposer des normes environnementales contraignantes est encore plus difficile. Pourtant, réformer en ce sens les accords de l'Organisation mondiale du commerce,

## Un système de taxation-redistribution pourrait constituer un levier pour réduire les pesticides.

### TAXATION DES PESTICIDES



France

**5-6 %**  
du prix des  
pesticides



Danemark

**33 %**  
du prix des  
herbicides et  
fongicides

**54 %**  
du prix des  
insecticides

Source Jacquet F.  
et al. Zéro Pesticide,  
Ed. Quae

qui régule tous les échanges, aurait une réelle portée. De fait, en France, 75% de l'empreinte environnementale liée aux pesticides dans les produits alimentaires provient des importations.

### Repenser les outils existants : taxes et subventions

Actuellement, la réglementation reste le levier privilégié des politiques publiques en France. Elle permet d'interdire un produit, ce qui envoie un signal fort à tous les acteurs de la filière : agriculteurs, innovateurs, firmes, conseil. La perspective de l'interdiction du glyphosate, par exemple, a favorisé des innovations comme les équipements de désherbage de précision. Cependant, interdire un pesticide sans compenser la perte transitoire de rentabilité ne permet pas d'accompagner les agriculteurs dans la reconception de leur système de production. Pour Alain Carpentier, économiste à l'unité Structures et marchés agricoles, ressources et territoires, et membre du projet FAST, un système de taxation-redistribution pourrait constituer un levier puissant de la transition, en combinant incitation à réduire les pesticides et préservation du revenu des agriculteurs. « *Mais pour être efficace, il faut que le montant de la taxe sur les pesticides soit élevé. À partir d'un exercice de modélisation, on étudie la réaction des agriculteurs à différents niveaux de taxe et ses conséquences sur la production agricole, sachant que le produit de la taxe leur serait redistribué.* »

Du côté des subventions, les travaux menés dans FAST s'orientent vers 2 types de MAE innovantes. Le premier, appelé « enchères agroenvironnementales », inspiré de systèmes en vigueur aux États-Unis ou en Australie, propose aux agriculteurs de formuler le montant de la subvention requise pour fournir un service environnemental donné. Les meilleures « offres environnementales » sont ensuite sélectionnées et subventionnées à leur « juste prix ». Le deuxième vise à inciter plusieurs agriculteurs à coordonner leur effort environnemental pour créer un effet de levier qui augmente l'efficacité de la subvention.

### L'assurance récolte subventionnée

Les pouvoirs publics peuvent également soutenir la transition des agriculteurs en subventionnant des contrats d'assurance récolte. L'assurance subventionnée est une compensation financière qui,

contrairement à la subvention, n'est versée qu'en cas de perte de récolte. Cécile Aubert, professeure à Bordeaux Sciences Économiques, explore cette piste dans un projet impliquant l'assureur Grou-pama, l'Institut français de la vigne et du vin (IFV) et deux coopératives viticoles au sein du projet Viti-rev. Un contrat d'assurance garantit aux viticulteurs le risque de pertes de récolte dues aux maladies, à condition qu'ils aient suivi un plan de traitement de la vigne minorant fortement les pesticides. Ce plan est défini par l'IFV avec l'appui d'un outil d'aide à la décision. Les résultats de ce projet exploratoire ont montré que, de 2018 à 2022, les viticulteurs ont, dans la majorité des cas, diminué les traitements de pesticides (IFT) de 30 à 70 % avec une perte de rendement moyenne de seulement 5 %, exception faite de pertes atteignant 80 %, mais limitées à quelques hectares, en 2022. Ces pertes ont pu être couvertes par l'assurance, sans surcoût pour les agriculteurs car leur prime d'assurance a été compensée par les économies réalisées sur les dépenses en pesticides (environ 200 à 250 euros par an). « *Ce dispositif est efficace pour encourager les viticulteurs à diminuer fortement l'usage des pesticides, alors que spontanément ils n'auraient pas parié sur des résultats techniques aussi satisfaisants* », conclut Cécile Aubert.

**Utiliser le levier de la consommation**

Au-delà des agriculteurs, ce sont tous les acteurs des filières agricoles et agroalimentaires qui doivent être mobilisés dans la transition. Les commandes publiques et la restauration collective pourraient par exemple encourager les aliments produits avec moins de pesticides et dépourvus de résidus. Pour François Dedieu, sociologue au laboratoire interdisciplinaire Sciences innovations société et membre du projet FAST, cette piste est insuffisamment exploitée: « *Le levier de la consommation permet de faire bouger tous les maillons de la chaîne, avec un outil central : le cahier des charges* ». Il s'est intéressé à une expérience aux États-Unis où l'ONG Pesticides Action Network passe des contrats avec la grande distribution (Tesco) pour distribuer des produits portant un label de réduction des pesticides. D'autres travaux menés dans FAST mobilisent l'économie expérimentale afin de mesurer le consentement à payer des consommateurs pour ces produits labellisés, avec la question de sa visibilité parmi les autres labels. ●

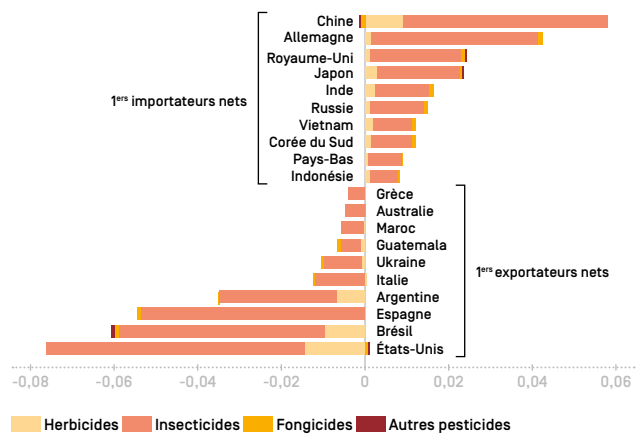
EUROPE

**Nouvelle réglementation ?**

L'approbation des substances actives est accordée au niveau européen, tandis que les autorisations de mise sur le marché des produits commerciaux relèvent de la compétence des États membres. Un pays européen peut interdire sur son territoire un produit autorisé ailleurs en Europe si cela se fait sans « dommages majeurs » sur la production. Un pays peut aussi importer un aliment cultivé avec un pesticide pourtant interdit sur son territoire. Ainsi, la réglementation européenne ne permet pas d'éviter les distorsions de concurrence au niveau du commerce international. La Commission européenne a proposé le 22 juin 2022 un

règlement très ambitieux [SUR : Sustainable use of pesticides regulation] qui fixe des objectifs contraignants en matière de réduction d'usage des pesticides, avec une normalisation des pratiques phytosanitaires : un itinéraire technique réglementaire de protection des cultures serait construit pour chaque type de territoire et de culture, à partir d'un conseil indépendant. Les agriculteurs seraient contrôlés sur la base de leur registre de pratiques [très restrictives pour les zones sensibles]. La proposition est en discussion auprès des États et du Parlement européen en vue d'aboutir à un accord avant les élections européennes de 2024.

EMPREINTE PESTICIDES DUES AUX IMPORTATIONS ET EXPORTATIONS DE PRODUITS AGRICOLES



L'« empreinte pesticides » vise à évaluer la part des pesticides qui n'est pas facilement assimilable par l'environnement, soit parce qu'elle tend à s'accumuler, soit parce que sa toxicité déséquilibre grandement les interactions entre les organismes. Unité : gigatonnes par poids corporel et par an. Source : Tang F.H.M. et al. (2022). *International demand for food and services drives environmental footprints of pesticides use*. In *Communications Earth and environment*.

