

Colloque de restitution de l'Expertise scientifique collective

20 octobre 2022

➤ Protéger les cultures  
en augmentant  
la diversité végétale  
des espaces agricoles

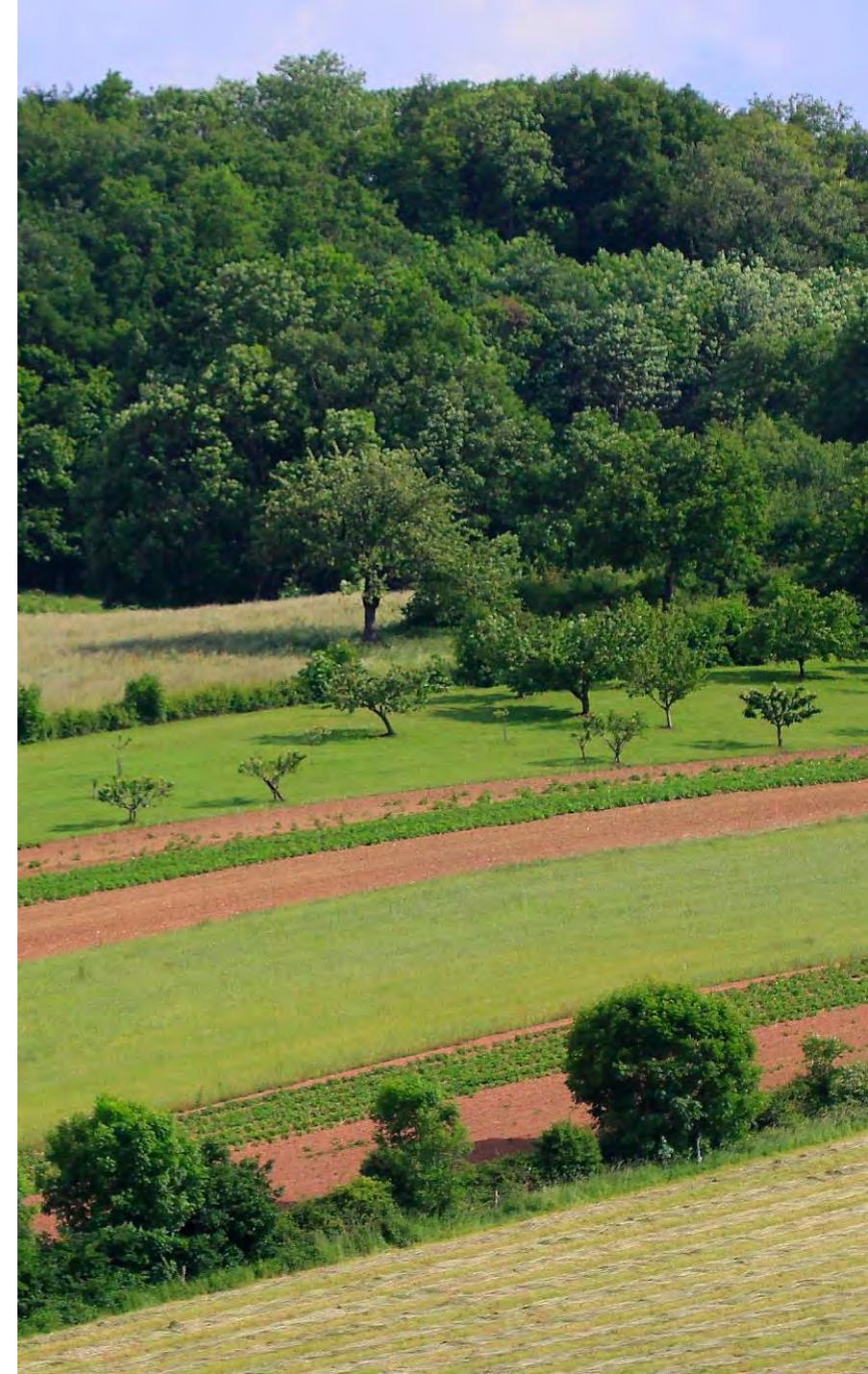


INRAE

ÉCOPHYTO  
RÉDUIRE ET AMÉLIORER  
L'UTILISATION DES PHYTOS



Direction de l'Expertise,  
de la Prospective  
et des Études



➤ Contexte de la demande et objectifs  
de l'Expertise scientifique collective (ESCo)

Anais Tibi (INRAE)

*Coordinatrice de l'expertise scientifique collective*

## > Contexte de la demande

Une demande d'expertise scientifique collective qui s'inscrit dans la recherche de **stratégies de protection des cultures alternatives à l'usage des pesticides de synthèse**



## > Contexte de la demande

Une demande d'expertise scientifique collective qui s'inscrit dans la recherche de **stratégies de protection des cultures alternatives à l'usage des pesticides de synthèse**

- **Systèmes agricoles dominants = hauts niveaux de production mais simplifiés**

Spécialisation des exploitations permise par l'avènement des **engrais et des pesticides de synthèse** pour conduire les cultures

- ⇒ **perte progressive de diversité végétale cultivée** (raccourcissement des rotations, uniformisation des parcelles) et **semi-naturelle** (suppression des haies)
- ⇒ **Impacts environnementaux et sanitaires**



## > Contexte de la demande

Une demande d'expertise scientifique collective qui s'inscrit dans la recherche de **stratégies de protection des cultures alternatives à l'usage des pesticides de synthèse**

- **Systèmes agricoles dominants = hauts niveaux de production mais simplifiés**

Spécialisation des exploitations permise par l'avènement des **engrais et des pesticides de synthèse** pour conduire les cultures

- ⇒ **perte progressive de diversité végétale cultivée** (raccourcissement des rotations, uniformisation des parcelles) et **semi-naturelle** (suppression des haies)
- ⇒ **Impacts environnementaux et sanitaires**



- Une **demande sociétale** forte pour une agriculture plus respectueuse de l'environnement et de la santé

Politiques de réduction des pesticides, popularisation de l' "agro-écologie" (2012)...

... Mais une **transition des systèmes agricoles insuffisamment engagée** pour atteindre les cibles européennes et nationales



## > Objectifs de l'ESCo

La **diversification végétale** des parcelles et des paysages agricoles mise en avant comme pilier de la transition agro-écologique...

... mais **manque de recul critique et de vision d'ensemble sur son efficacité « au champ »**, malgré une **littérature scientifique de plus en plus abondante**

## > Objectifs de l'ESCo

La **diversification végétale** des parcelles et des paysages agricoles mise en avant comme pilier de la transition agro-écologique...

... mais **manque de recul critique et de vision d'ensemble sur son efficacité « au champ »**, malgré une **littérature scientifique de plus en plus abondante**

⇒ **Un état des lieux des connaissances scientifiques publiées pour :**

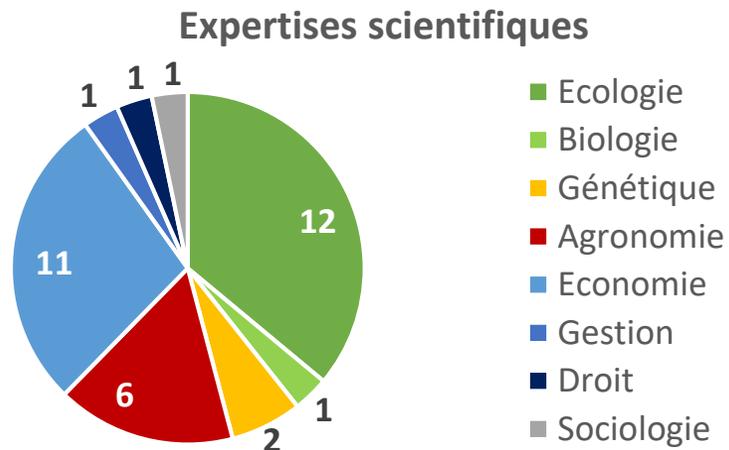
- Quels **bénéfices de la diversité végétale** des espaces agricoles **vis-à-vis de la protection des cultures** ?
- Quels **freins et leviers du développement** de stratégies de protection des cultures fondées sur la diversification végétale ?
- Quels **autres services écosystémiques rendus** par la diversité végétale **à la société** ?

## > L'ESCo : principes et démarche

- Une **synthèse des connaissances scientifiques internationales** pour **éclairer l'action et le débat publics...**
  - **Acquis, incertitudes, controverses, lacunes** de connaissances  $\Rightarrow$  *besoins de recherche*
  - **Pas d'avis ni de recommandations**

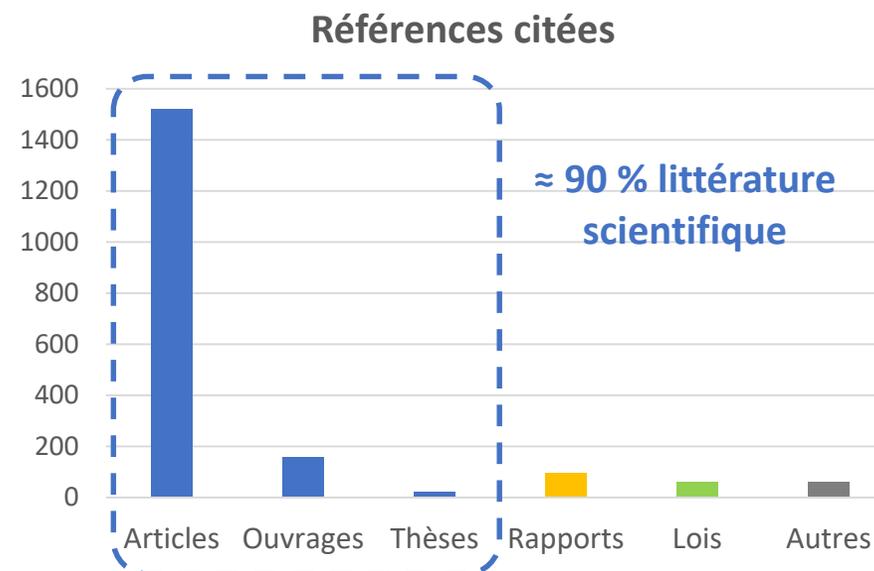
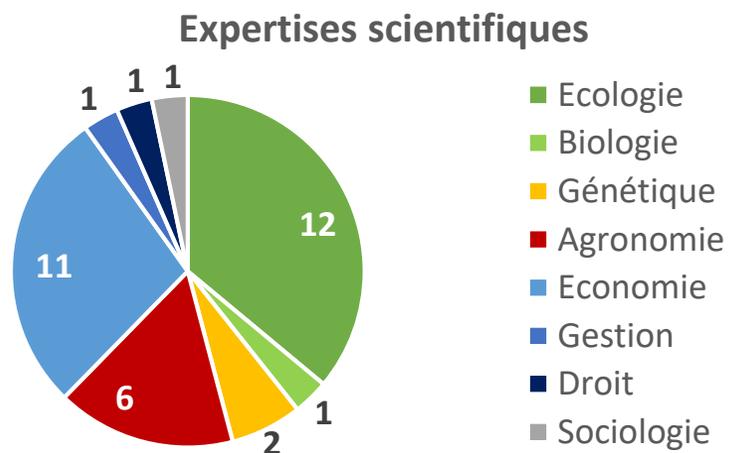
## > L'ESCo : principes et démarche

- Une **synthèse des connaissances scientifiques internationales** pour éclairer l'action et le débat publics...
  - Acquis, incertitudes, controverses, lacunes de connaissances ⇒ *besoins de recherche*
  - Pas d'avis ni de recommandations
- réalisée par un **comité pluridisciplinaire de 32 experts et 2 chargés de mission...**
  - Pluralité, impartialité, transparence, traçabilité



# > L'ESCo : principes et démarche

- Une **synthèse des connaissances scientifiques internationales pour éclairer l'action et le débat publics...**
  - Acquis, incertitudes, controverses, lacunes de connaissances  $\Rightarrow$  *besoins de recherche*
  - Pas d'avis ni de recommandations
- réalisée par un **comité pluridisciplinaire de 32 experts et 2 chargés de mission...**
  - Pluralité, impartialité, transparence, traçabilité
  - 1 900 références citées dont 225 reviews



## > L'ESCo : principes et démarche

- Une **synthèse des connaissances scientifiques internationales** pour **éclairer l'action et le débat publics...**
  - **Acquis, incertitudes, controverses, lacunes** de connaissances  $\Rightarrow$  *besoins de recherche*
  - **Pas d'avis ni de recommandations**
- réalisée par un **comité pluridisciplinaire de 32 experts et 2 chargés de mission...**
  - **Pluralité, impartialité, transparence, traçabilité**
  - **1 900 références citées** dont 225 reviews
- sous le pilotage d'une **équipe projet...**
  - Coordination méthodologique et scientifique
  - **Appui documentaire**
  - Gestion logistique et financière

# > L'ESCo : principes et démarche

- Une **synthèse des connaissances scientifiques internationales** pour **éclairer l'action et le débat publics...**
  - **Acquis, incertitudes, controverses, lacunes** de connaissances  $\Rightarrow$  *besoins de recherche*
  - **Pas d'avis ni de recommandations**
- réalisée par un **comité pluridisciplinaire de 32 experts et 2 chargés de mission...**
  - **Pluralité, impartialité, transparence, traçabilité**
  - **1 900 références citées** dont 225 reviews
- sous le pilotage d'une **équipe projet...**
  - Coordination méthodologique et scientifique
  - **Appui documentaire**
  - Gestion logistique et financière

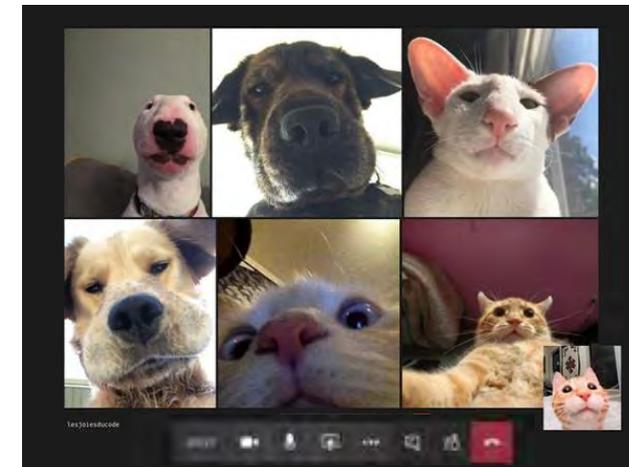
**2 ans ½  $\Rightarrow$  3 livrables :**



**Rapport scientifique** (~1000 p)

**Synthèse** (86 p)

**Résumé** (12 p)



INRAE

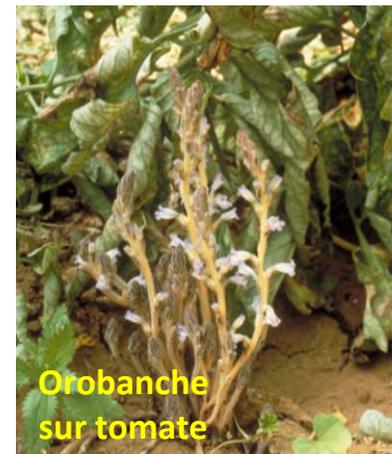
## ➤ Éléments de définition et de cadrage de l'ESCo

# > Les bioagresseurs des cultures

- **Bioagresseur = organisme vivant causant des dégâts (symptômes) sur les plantes cultivées**

Focus sur les types de bioagresseurs faisant l'objet d'une lutte chimique : plantes adventices et parasites, microorganismes pathogènes, et invertébrés de la micro-méso-macrofaune (arthropodes, nématodes, mollusques)

⇒ **Altération de la croissance / vigueur** de la plante cultivée, de sa **morphologie** et/ou de la **composition chimique** des organes

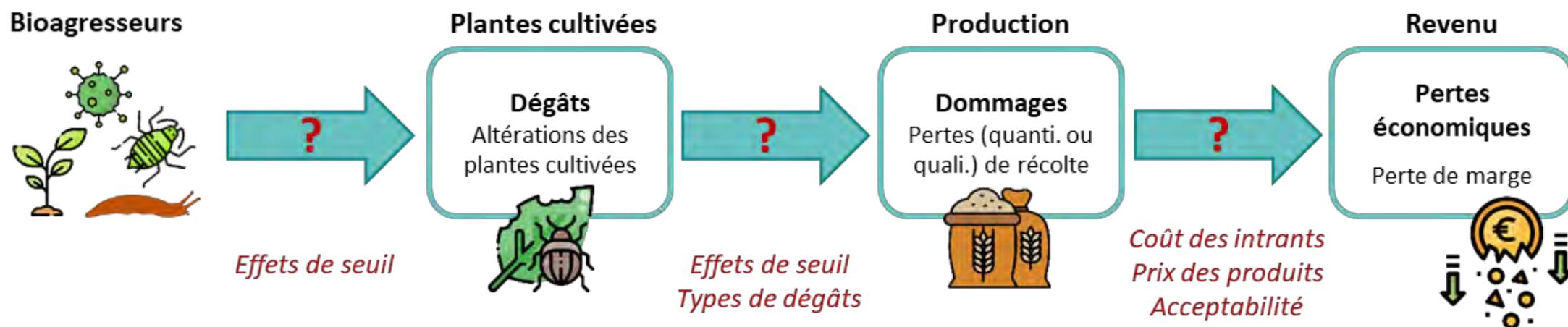


# > Les bioagresseurs des cultures

- **Bioagresseur = organisme vivant causant des dégâts (symptômes) sur les plantes cultivées**

Focus sur les types de bioagresseurs faisant l'objet d'une lutte chimique : plantes adventices et parasites, microorganismes pathogènes, et invertébrés de la micro-méso-macrofaune (arthropodes, nématodes, mollusques)

⇒ **Altération de la croissance / vigueur** de la plante cultivée, de sa **morphologie** et/ou de la **composition chimique** des organes



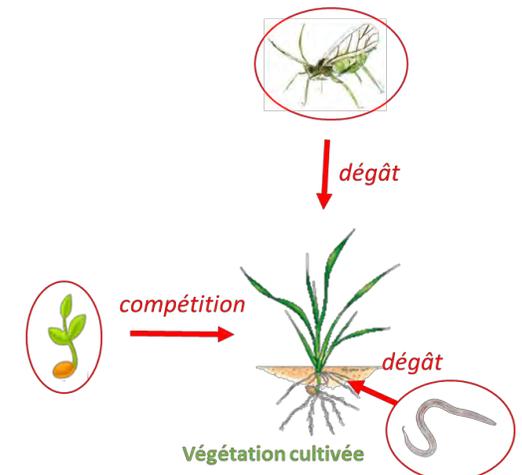
## > Stratégies de protection des cultures

- **Stratégies mises en œuvre pour empêcher ou réduire les pertes de récoltes causées par les bioagresseurs**
  - Moyens de lutte les plus fréquemment utilisés aujourd'hui = **lutte chimique pour maîtriser les bioagresseurs** + choix de **variétés peu sensibles / résistantes** au bioagresseur + certaines méthodes de **lutte culturale** (rotation culturale, densité de semis, travail du sol)
  - **Protection agroécologique des cultures** = priorité aux **méthodes préventives pour réguler les bioagresseurs**, s'appuie sur la **biodiversité** végétale et animale et le **fonctionnement naturel de l'écosystème agricole**  
⇒ **approche systémique**

## > Stratégies de protection des cultures

- **Stratégies mises en œuvre pour empêcher ou réduire les pertes de récoltes causées par les bioagresseurs**
  - Moyens de lutte les plus fréquemment utilisés aujourd'hui = **lutte chimique pour maîtriser les bioagresseurs + choix de variétés peu sensibles / résistantes** au bioagresseur + certaines méthodes de **lutte culturale** (rotation culturale, densité de semis, travail du sol)
  - **Protection agroécologique** des cultures = priorité aux **méthodes préventives pour réguler les bioagresseurs**, s'appuie sur la **biodiversité** végétale et animale et le **fonctionnement naturel de l'écosystème agricole**  
⇒ **approche systémique**

**Régulation naturelle des bioagresseurs = résultante des processus naturellement à l'œuvre au sein de l'écosystème**



# > Stratégies de protection des cultures

- **Stratégies mises en œuvre pour empêcher ou réduire les pertes de récoltes causées par les bioagresseurs**

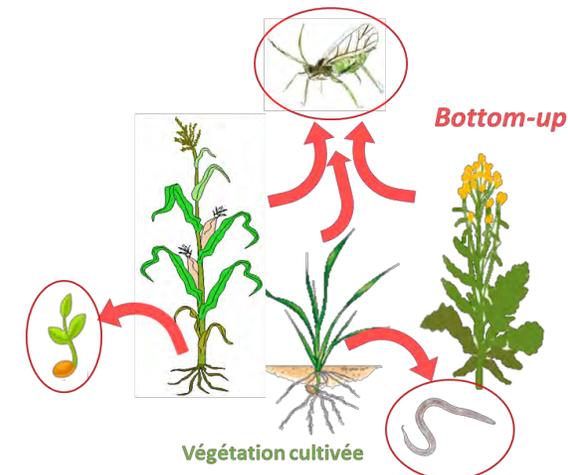
- Moyens de lutte les plus fréquemment utilisés aujourd'hui = **lutte chimique pour maîtriser les bioagresseurs + choix de variétés peu sensibles / résistantes** au bioagresseur + certaines méthodes de **lutte culturale** (rotation culturale, densité de semis, travail du sol)

- **Protection agroécologique** des cultures = priorité aux **méthodes préventives pour réguler les bioagresseurs**, s'appuie sur la **biodiversité** végétale et animale et le **fonctionnement naturel de l'écosystème agricole**  
⇒ **approche systémique**

## Régulation naturelle des bioagresseurs = résultante des processus naturellement à l'œuvre au sein de l'écosystème

Augmentation de la diversité végétale :

- ⇒ **"Dilution" de la plante-hôte** du bioagresseur dans un couvert / paysage de plantes non hôtes, environnement plus **concurrentiel** (adventices)



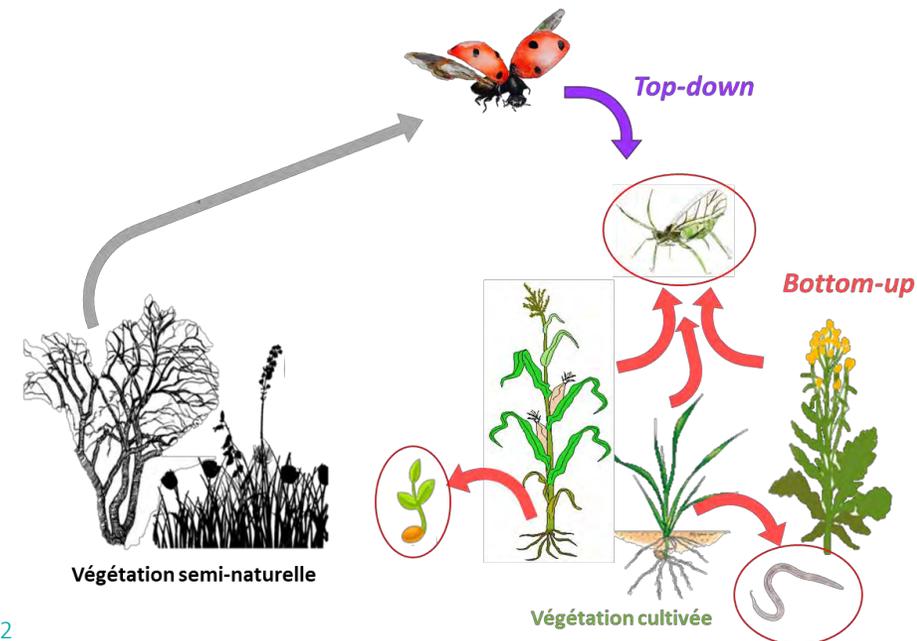
# > Stratégies de protection des cultures

- **Stratégies mises en œuvre pour empêcher ou réduire les pertes de récoltes causées par les bioagresseurs**
  - Moyens de lutte les plus fréquemment utilisés aujourd'hui = **lutte chimique pour maîtriser les bioagresseurs + choix de variétés peu sensibles / résistantes** au bioagresseur + certaines méthodes de **lutte culturale** (rotation culturale, densité de semis, travail du sol)
  - **Protection agroécologique** des cultures = priorité aux **méthodes préventives pour réguler les bioagresseurs**, s'appuie sur la **biodiversité végétale et animale** et le **fonctionnement naturel de l'écosystème agricole**  
⇒ **approche systémique**

**Régulation naturelle des bioagresseurs = résultante des processus naturellement à l'œuvre au sein de l'écosystème**

Augmentation de la diversité végétale :

- ⇒ **"Dilution" de la plante-hôte** du bioagresseur dans un couvert / paysage de plantes non hôtes, environnement plus **concurrentiel** (adventices)
- ⇒ Ressources et habitats pour les **ennemis naturels des bioagresseurs**

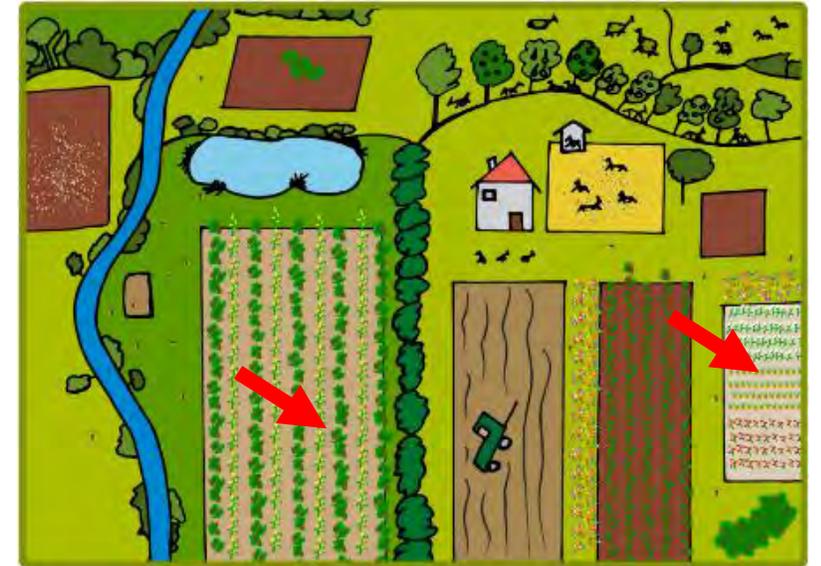


## > "Diversification végétale" : quésaco ?

- **Diversifier = augmenter le niveau de diversité végétale dans la parcelle / paysage**

## > "Diversification végétale" : quésaco ?

- **Diversifier = augmenter le niveau de diversité végétale dans la parcelle / paysage**
  - **Végétation cultivée = plantes cultivées par l'agriculteur à des fins de production de biomasse ou de services**



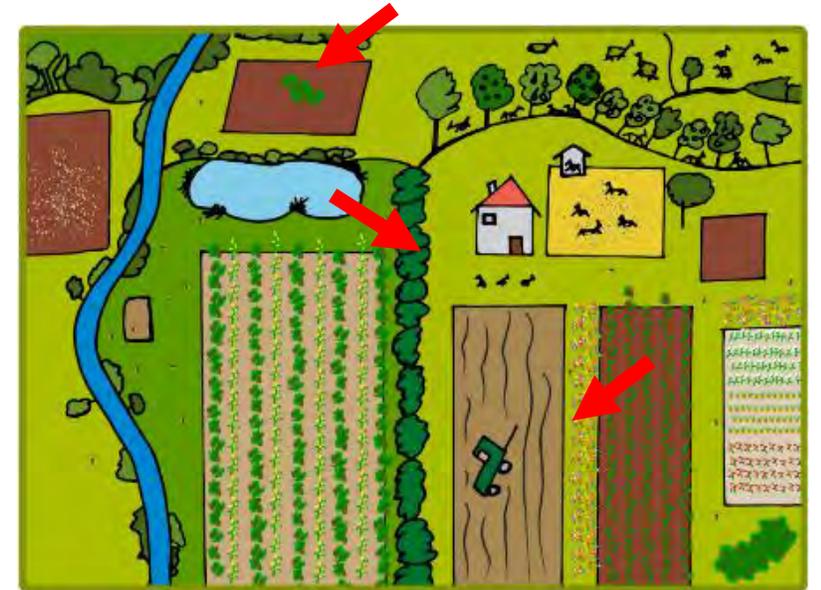
Rosa-Schleich et al., 2019

## > "Diversification végétale" : quésaco ?

- **Diversifier = augmenter le niveau de diversité végétale dans la parcelle / paysage**

- Végétation **cultivée** = plantes cultivées par l'agriculteur à des fins de production de biomasse ou de services
- Végétation **semi-naturelle** = **spontanée**, dans ou hors des parcelles, pouvant faire l'objet de pratiques de gestion

→ prairies permanentes, haies, bosquets, arbres isolés, jachères, bandes enherbées ou fleuries, bordures de champ...  
et flore adventice



Rosa-Schleich et al., 2019

## ➤ "Diversification végétale" : quésaco ?

- **Diversifier = augmenter le niveau de diversité végétale dans la parcelle / paysage**

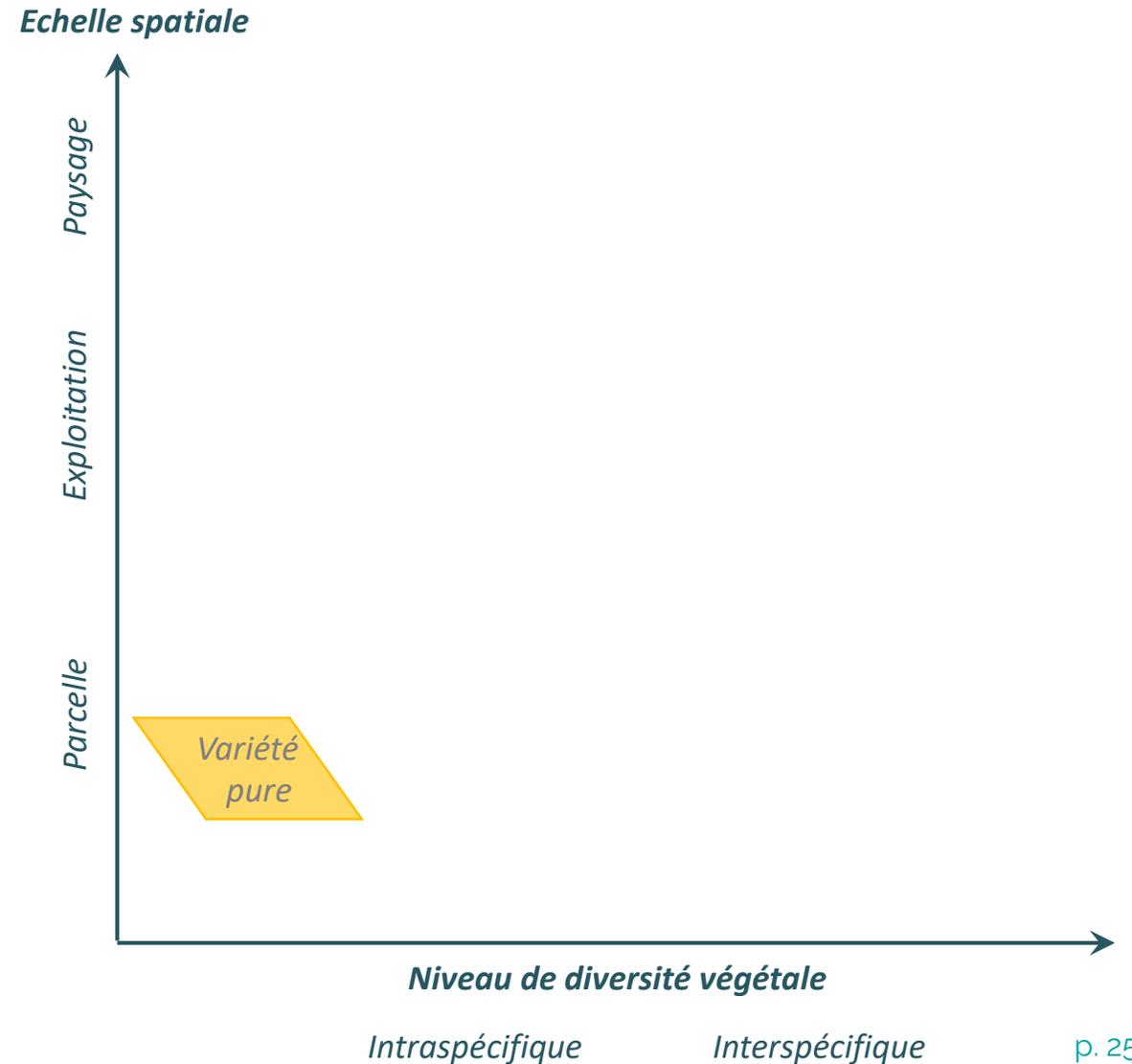
- Végétation **cultivée** = plantes cultivées par l'agriculteur à des fins de **production de biomasse ou de services**
- Végétation **semi-naturelle** = **spontanée**, dans ou hors des parcelles, pouvant faire l'objet de pratiques de gestion
  - *prairies permanentes, haies, bosquets, arbres isolés, jachères, bandes enherbées ou fleuries, bordures de champ... et flore adventice*



Rosa-Schleich et al., 2019

- ⇒ **Diversification spatiale** : intra-parcellaire → paysage
- ⇒ **Diversification temporelle** : saison culturale → pluriannuelle

# > ⇒ Large gamme de pratiques de diversification



# > ⇒ Large gamme de pratiques de diversification

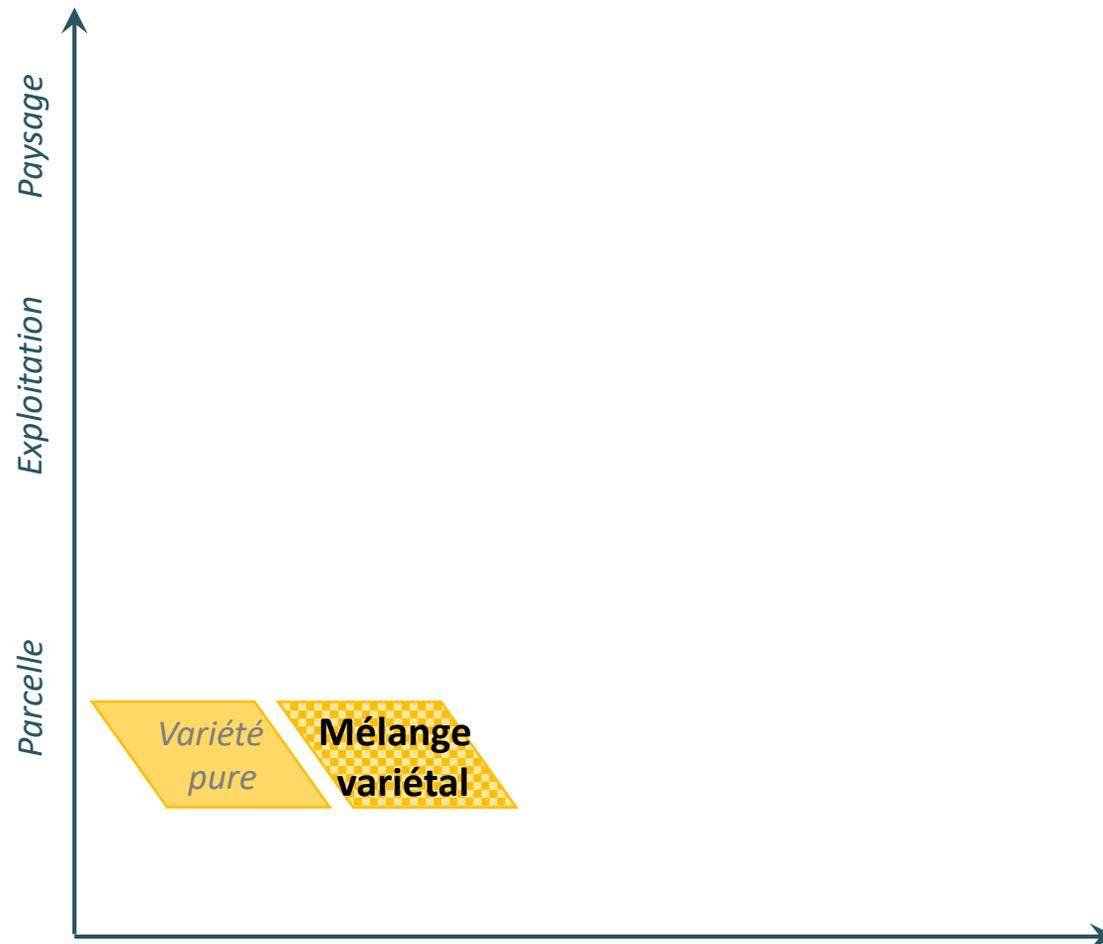
## ↗ diversité intra-spécifique de la culture

Mélange variétal de blé



© Hélène Fréville

Echelle spatiale



Niveau de diversité végétale

Intraspécifique

Interspécifique

p. 26

# > ⇒ Large gamme de pratiques de diversification

↗ diversité intra-spécifique de la culture

↗ diversité interspécifique du couvert cultivé

Association blé-pois



© Audrey Alignier

Enherbement inter-rang (vigne)



© INRAE

Agroforesterie orge/noyers



© INRAE

Echelle spatiale

Paysage

Exploitation

Parcelle

Variété pure

Mélange variétal

Plantes de services

Cultures associées

Agroforesterie

Niveau de diversité végétale

Intraspécifique

Interspécifique

# > ⇒ Large gamme de pratiques de diversification

↗ diversité intra-spécifique de la culture

↗ diversité interspécifique du couvert cultivé

Intégrer des **éléments semi-naturels** dans/en pourtour de parcelle

**Bande fleurie** en bordure de maïs



Jeune **haie**



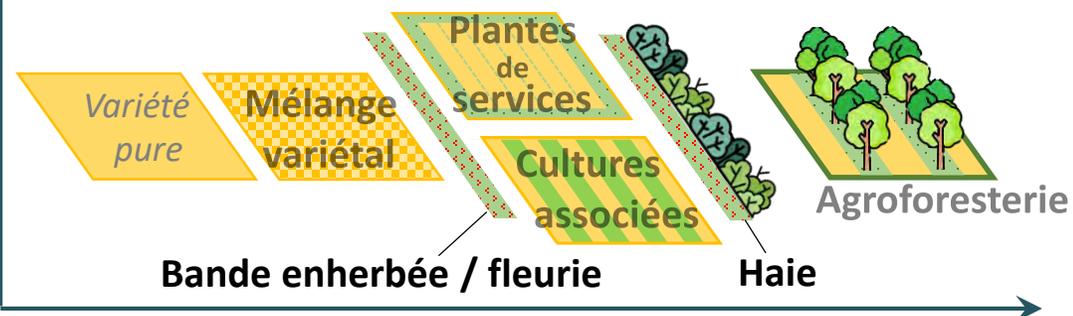
**Arbre isolé** dans une parcelle de céréales



© INRAE

*Echelle spatiale*

Paysage  
Exploitation  
Parcelle



*Niveau de diversité végétale*

*Intraspécifique*

*Interspécifique*

# > ⇒ Large gamme de pratiques de diversification

↗ diversité intra-spécifique de la culture

↗ diversité interspécifique du couvert cultivé

Intégrer des éléments semi-naturels dans/en pourtour de parcelle

↗ diversité temporelle de la végétation cultivée

luzerne (x3) - avoine - épeautre – féverole - tournesol - orge



Echelle spatiale

Paysage

Exploitation

Parcelle

monoculture



Rotation



Variété pure

Mélange variétal

Plantes de services

Cultures associées

Agroforesterie

Bande enherbée / fleurie

Haie

Niveau de diversité végétale

Intraspécifique

Interspécifique

© INRAE

p. 29

# > ⇒ Large gamme de pratiques de diversification

↗ diversité intra-spécifique de la culture

↗ diversité interspécifique du couvert cultivé

Intégrer des éléments semi-naturels dans/en pourtour de parcelle

↗ diversité temporelle de la végétation cultivée

↗ diversité de l'assolement de l'exploitation

Verger circulaire de Gotheron



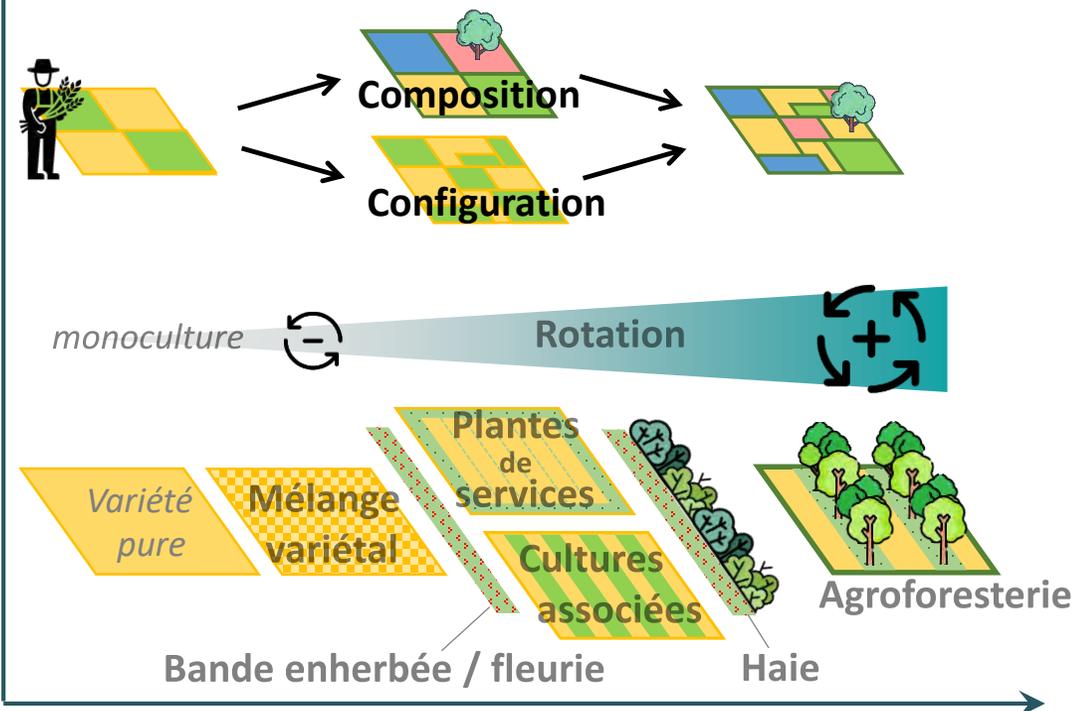
© INRAE

Echelle spatiale

Paysage

Exploitation

Parcelle



Niveau de diversité végétale

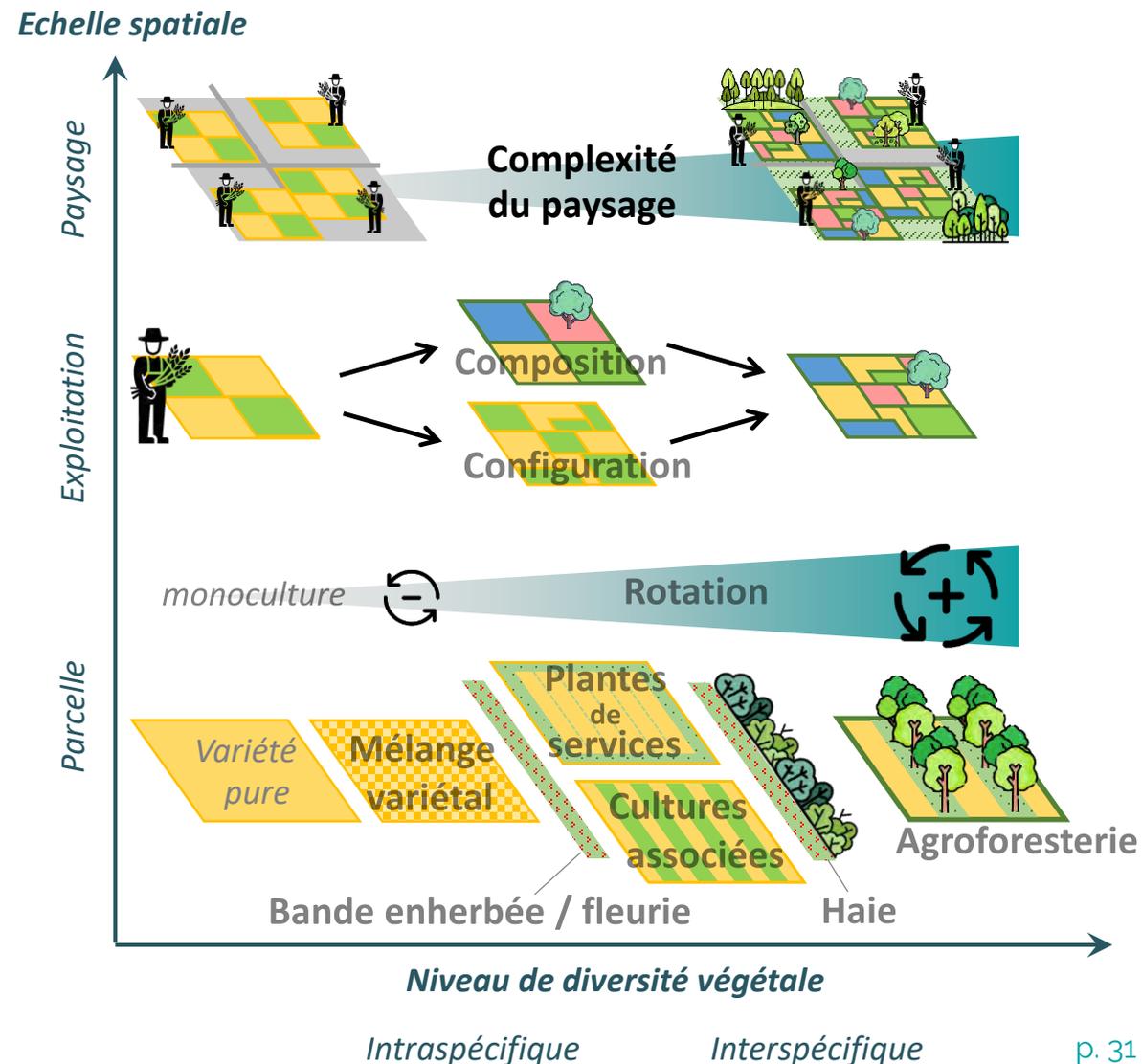
Intraspécifique

Interspécifique

p. 30

# > ⇒ Large gamme de pratiques de diversification

- ↗ diversité intra-spécifique de la culture
- ↗ diversité interspécifique du couvert cultivé
- Intégrer des éléments semi-naturels dans/en pourtour de parcelle
- ↗ diversité temporelle de la végétation cultivée
- ↗ diversité de l'assolement
- ↗ complexité du paysage



## > Plan de la présentation

- Introduction générale
- Effets de la diversité végétale des espaces agricoles sur la **régulation des bioagresseurs**, la **biodiversité associée**, la fourniture de **services écosystémiques** et le **rendement**
- **Facteurs d'adoption des pratiques de diversification** pour protéger les cultures
- **Perspectives et besoins de recherche** pour combler les lacunes de connaissances

➤ Diversifier la végétation des parcelles et des paysages est un levier pour protéger les cultures

Aude Vialatte (INRAE)

*Agroécologue des paysages*

*Co-pilote scientifique de l'ESCo*

# ➤ Synthèse qualitative des effets de la diversité végétale sur les bioagresseurs

## Modalités de diversification

↗ diversité cultivée durant l'année n

↗ diversité cultivée dans le temps

↗ diversité cultivée et semi-naturelle dans l'espace

		Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
PARCELLE	Mélanges variétaux	positif		?				?	?
	Cultures associées				?			?	?
	Agroforesterie			?	?		?		 
	↗ diversité rotations				?				?
PAYSAGE	↘ part d'une culture / paysage	?		?	positif		?	?	
	↗ diversité de l'assolement			?	positif		?	?	  
	↘ taille des parcelles			?	ambigu			ambigu	?
	↗ distance entre cultures	ambigu		positif	positif			positif	?
	↗ éléments semi-naturels	positif		?				?	 positif



# ➤ Synthèse qualitative des effets de la diversité végétale sur les bioagresseurs

- Effets sur les populations de bioag. (versus dégâts, dommages) ⇨ "capacité" de régulation

## Modalités de diversification

## Catégories de bioagresseurs

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif		?				?	?
Cultures associées				?			?	?
Agroforesterie			?	?		?		 
↗ diversité rotations				?				?
↘ part d'une culture / paysage	?		?	positif		?	?	
↗ diversité de l'assolement			?	positif		?	?	  
↘ taille des parcelles			?	ambigu			ambigu	?
↗ distance entre cultures	ambigu		positif	positif			positif	?
↗ éléments semi-naturels	positif		?				?	 positif



# ➤ Synthèse qualitative des effets de la diversité végétale sur les bioagresseurs

- Effets sur les populations de bioag. (versus dégâts, dommages) ⇨ "capacité" de régulation

Environ 950 références analysées couvrant toutes les conditions agricoles du monde

## Modalités de diversification

## Catégories de bioagresseurs

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Aggravation	Regulation	Regulation	Regulation
Cultures associées	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation
Agroforesterie	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation
↗ diversité rotations	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation
↘ part d'une culture / paysage	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation
↗ diversité de l'assolement	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation
↘ taille des parcelles	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation
↗ distance entre cultures	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation
↗ éléments semi-naturels	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation	Regulation

Case =  
Effet majoritaire d'une **modalité de diversification** sur une **catégorie de bioagresseur**

Code couleur :  
Régulation (↓ bioag.) / Aggravation (↑ bioag.)  
Pas de consensus (↓↑)  
Effets théoriques mais non observés  
Lacunes de connaissance (?)



## > Une grande diversité de mécanismes sous jacents

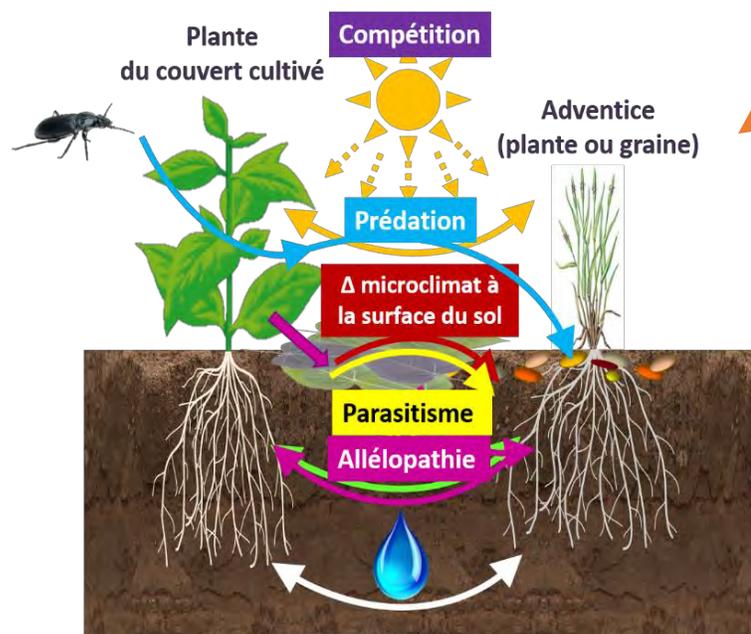
	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorielles	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif		?				?	?
Cultures associées				?			?	?
Agroforesterie			?	?		?		
↗ diversité rotations				?				?
↘ part d'une culture / paysage	?		?	positif		?	?	
↗ diversité de l'assolement			?	positif		?	?	
↘ taille des parcelles			?	ambigu		ambigu		?
↗ distance entre cultures	ambigu		positif	positif		positif		?
↗ éléments semi-naturels	positif		?				?	

La régulation naturelle des bioagresseurs est la résultante d'une **multitude de mécanismes**

# ➤ Une grande diversité de mécanismes sous jacents

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	?	?	?	?	?	?	?	?
Cultures associées	?	?	?	?	?	?	?	?
Agroforesterie	?	?	?	?	?	?	?	?
↗️ part d'une culture / paysage	?	?	?	peut	?	?	?	?
↗️ diversité de l'assolement	?	?	?	peut	?	?	?	?
↗️ taille des parcelles	?	?	?	ambigu	ambigu	ambigu	?	?
↗️ distance entre cultures	ambigu	peut	peut	peut	peut	peut	?	?
↗️ éléments semi-naturels	peut	?	?	?	?	?	?	peut

La régulation naturelle des bioagresseurs est la résultante d'une **multitude de mécanismes**



Mécanismes de régulation des **adventices** par les **associations de culture**

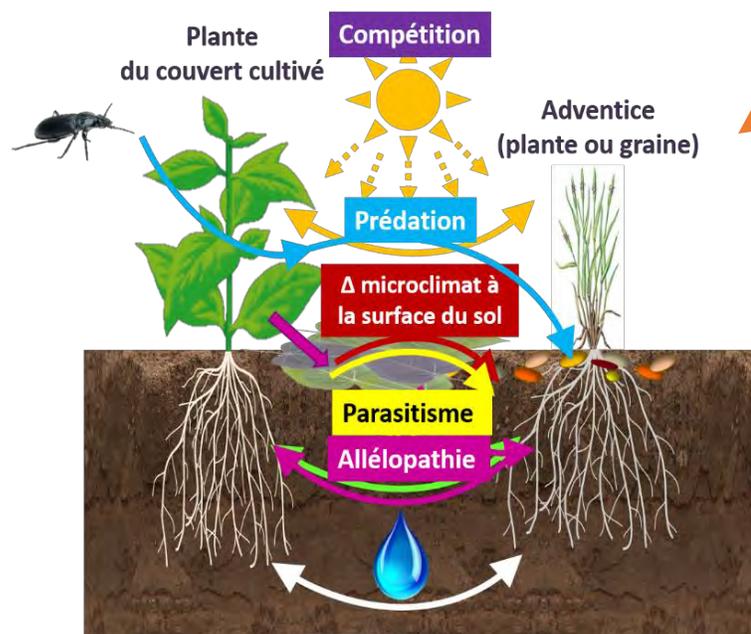
(d'après Moreau et al. 2022)



# ➤ Une grande diversité de mécanismes sous jacents

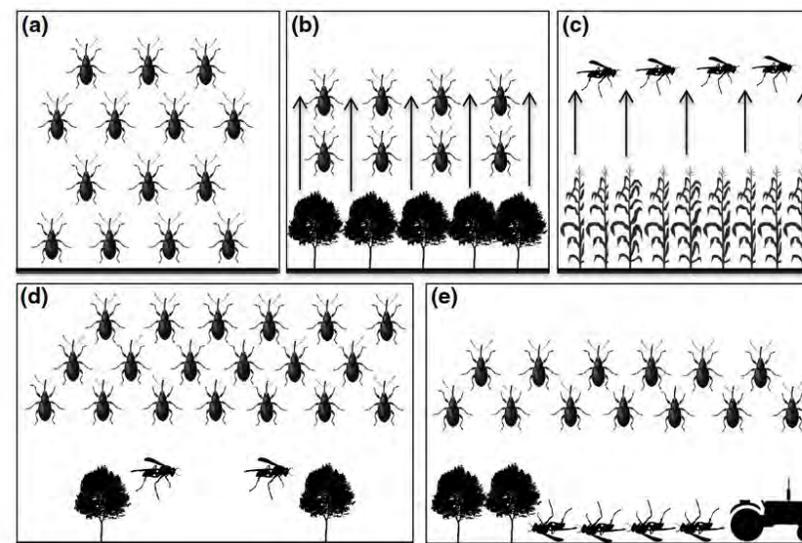
	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	?	?	?	?	?	?	?	?
Cultures associées	?	?	?	?	?	?	?	?
Agroforesterie	?	?	?	?	?	?	?	?
↗️ diversité de l'assolement	?	?	?	peut-être	?	?	?	?
↗️ taille des parcelles	?	?	?	ambigu	?	ambigu	?	?
↗️ distance entre cultures	ambigu	peut-être	peut-être	peut-être	peut-être	?	?	?
↗️ éléments semi-naturels	peut-être	?	?	?	?	?	?	peut-être

La régulation naturelle des bioagresseurs est la résultante d'une **multitude de mécanismes**



Mécanismes de régulation des **adventices** par les **associations de culture**

(d'après Moreau et al. 2022)



Mécanismes de régulation des **insectes ravageurs** par les **éléments semi-naturels**

(d'après Tschamntke et al. 2016)

# > Grandes tendances issues des études scientifiques

- Des effets positifs de la diversité végétale (régulation) décrits pour chaque catégorie de bioagresseurs

- Adventices : cultures associées (ex. ci-dessous), agroforesterie et rotations
- Insectes aériens : cultures associées, taille des parcelles et distance entre parcelles de même culture
- Agents pathogènes aériens : mélanges variétaux et cultures associées

effet positif  
≠ effet fort

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif	?	?	?	?	?	?	?
Cultures associées	positif	positif	?	?	?	?	?	?
Agroforesterie	positif	positif	?	?	?	?	?	?
∇ diversité rotations	?	?	?	positif	?	?	?	?
∇ part d'une culture / paysage	?	?	?	positif	?	?	?	?
∇ diversité de l'assolement	?	?	?	positif	?	?	?	?
∇ taille des parcelles	?	?	?	ambigu	ambigu	ambigu	ambigu	?
∇ distance entre cultures	ambigu	positif	positif	positif	positif	positif	positif	?
∇ éléments semi-naturels	positif	?	?	positif	positif	positif	positif	positif



Chongtham IR

cultures associées d'orge et de pois



Teagasc

Orge pur

*Galium aparine L.*

# > Grandes tendances issues des études scientifiques

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorielles	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif	?	?	?	?	?	?	?
Cultures associées	?	?	?	?	?	?	?	?
Agroforesterie	?	?	?	?	?	?	?	?
∇ diversité rotations	?	?	?	?	?	?	?	?
∇ part d'une culture / paysage	?	?	?	positif	?	?	?	?
∇ diversité de l'assolement	?	?	?	positif	?	?	?	?
∇ taille des parcelles	?	?	?	ambigu	ambigu	ambigu	?	?
∇ distance entre cultures	ambigu	ambigu	positif	positif	positif	positif	?	?
∇ éléments semi-naturels	positif	?	?	?	?	?	?	positif

- Des effets positifs de la diversité végétale (régulation) décrits pour chaque catégorie de bioagresseurs

- Adventices : cultures associées (ex. ci-dessous), agroforesterie et rotations
- Insectes aériens : cultures associées, taille des parcelles et distance entre parcelles de même culture
- Agents pathogènes aériens : mélanges variétaux et cultures associées

effet positif  
≠ effet fort

- 1 seul cas de consensus témoignant d'une aggravation de la pullulation par la diversité végétale

- Gastéropodes en système agroforestier

# ➤ Grandes tendances issues des études scientifiques

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif	?	?	?	?	?	?	?
Cultures associées	?	?	?	?	?	?	?	?
Agroforesterie	?	?	?	?	?	?	?	?
↗ diversité rotations	?	?	?	?	?	?	?	?
↗ diversité de l'assolement	?	?	?	positif	?	?	?	?
↗ taille des parcelles	?	?	?	ambigu	ambigu	ambigu	?	?
↗ distance entre cultures	ambigu	positif	positif	positif	positif	positif	?	?
↗ éléments semi-naturels	positif	?	?	?	?	?	?	positif

- Des effets positifs de la diversité végétale (régulation) décrits pour chaque catégorie de bioagresseurs
    - Adventices : cultures associées (ex. ci-dessous), agroforesterie et rotations
    - Insectes aériens : cultures associées, taille des parcelles et distance entre parcelles de même culture
    - Agents pathogènes aériens : mélanges variétaux et cultures associées
- } *effet positif*  
*≠ effet fort*
- 1 seul cas de **consensus** témoignant d'une aggravation de la pullulation par la diversité végétale
    - Gastéropodes en système agroforestier
  - Des effets ambigus surtout associés à la végétation semi-naturelle, dus à des effets opposés entre mécanismes écologiques sous-jacents (mécanismes taxon-dépendants)
    - Ex. : effet + des lisières de bois sur les mélégièthes du colza mais aussi sur leurs parasitoïdes (hivernation)



# ➤ Grandes tendances issues des études scientifiques

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif	?	?	?	?	?	?	?
Cultures associées			?	?		?	?	?
Agroforesterie			?	?	?	?		
↗ diversité rotations				?				?
↘ part d'une culture / paysage	?		?	positif	?	?		
↗ diversité de l'assolement		?	?	positif	?	?		
↘ taille des parcelles			?	ambigu		ambigu		?
↗ distance entre cultures	ambigu		positif	positif		positif		?
↗ éléments semi-naturels	positif		?			?		positif

- Des effets positifs de la diversité végétale (régulation) décrits pour chaque catégorie de bioagresseurs
    - Adventices : cultures associées (ex. ci-dessous), agroforesterie et rotations
    - Insectes aériens : cultures associées, taille des parcelles et distance entre parcelles de même culture
    - Agents pathogènes aériens : mélanges variétaux et cultures associées
- } effet positif  
≠ effet fort
- 1 seul cas de **consensus** témoignant d'une aggravation de la pullulation par la diversité végétale
    - Gastéropodes en système agroforestier
  - Des effets ambigus surtout associés à la végétation semi-naturelle, dus à des effets opposés entre mécanismes écologiques sous-jacents (mécanismes taxon-dépendants)
    - Ex. : effet + des lisières de bois sur les méligèthes du colza mais aussi sur leurs parasitoïdes (hivernation)
  - Modalités de diversification paysagère surtout associées à des hypothèses théoriques (attendus plutôt +)



# > Grandes tendances issues des études scientifiques

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorielles	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif	?	?	?	?	?	?	?
Cultures associées	positif	positif	?	?	?	?	?	?
Agroforesterie	positif	positif	?	?	?	?	?	?
↗ diversité rotations	?	?	?	positif	?	?	?	?
↗ diversité de l'assolement	?	?	?	positif	?	?	?	?
↗ taille des parcelles	?	?	?	ambigu	ambigu	ambigu	?	?
↗ distance entre cultures	ambigu	positif	positif	positif	positif	positif	?	?
↗ éléments semi-naturels	positif	?	?	positif	positif	positif	?	positif

- **Dépendance au contexte, qui module l'expression des mécanismes**
  - **traits de vie** des bioagresseurs et des ennemis naturels (Ex. dispersion) ;
  - **pratiques agricoles** (Ex. travail du sol / bioag et ennemis) ;
  - **conditions climatiques** locales et saisonnières (ex. humidité / maladies)

→ Pas de préconisation générique possible, une analyse de chaque situation doit être menée pour déployer avec succès les modalités de diversification végétale

## > Lacunes des connaissances scientifiques

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif		?				?	?
Cultures associées			?	?			?	?
Agroforesterie			?	?		?		
° diversité rotation				?				?
° part d'une culture / paysage	?		?	positif		?	?	
° diversité de l'assolement			?	positif		?	?	
° taille des parcelles			?	combiné		combiné		?
° distance entre cultures	combiné		positif	positif		positif		?
° éléments semi-naturels	positif		?				?	positif



- Pas ou rares études (?) sur certaines catégories de bioagresseurs : **insectes telluriques, maladies vectorisées et autres bioagresseurs** (gastéropodes, acariens, plantes parasites)
- Absence d'information sur les **combinaisons de modalités de diversification** et la régulation de **multiples bioagresseurs**

**NB : non additivité des lignes et des colonnes du tableau pour en inférer des effets "multi-modalités" / "multi-pestes"**  
**→ besoin d'analyser les mécanismes sous-jacents**

## ➤ Lacunes des connaissances scientifiques

	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif		?				?	?
Cultures associées				?			?	?
Agroforesterie			?	?		?		
↗ diversité rotations				?				?
↘ part d'une culture / paysage	?		?	positif		?	?	
↗ diversité de l'assolement			?	positif		?	?	
↘ taille des parcelles			?	ambigu		ambigu		?
↗ distance entre cultures	ambigu		positif	positif		positif		?
↗ éléments semi-naturels	positif		?				?	ambigu

- Pas ou rares études (?) sur certaines catégories de bioagresseurs : **insectes telluriques, maladies vectorisées et autres bioagresseurs** (gastéropodes, acariens, plantes parasites)
- Absence d'information sur les **combinaisons de modalités de diversification** et la régulation de **multiples bioagresseurs**

***NB : non additivité des lignes et des colonnes du tableau pour en inférer des effets "multi-modalités" / "multi-pestes"  
→ besoin d'analyser les mécanismes sous-jacents***

- Possible **biais de publication scientifique en faveur de certains effets positifs** de régulation
  - Ex. effets des mélanges variétaux dominés par l'abondante littérature sur les pathogènes des céréales à paille

# > Influence des conditions d'étude sur les effets observés ?

**Une grande majorité de la bibliographie s'inscrit dans des systèmes de culture conventionnels**

- ⇒ Les **variétés** sont **sélectionnées pour être conduites avec un usage important d'intrants de synthèse**
- ⇒ Il y a / il y a eu souvent **recours aux pesticides dans les parcelles étudiées** et dans les paysages environnants



**Hyp. Appauvrissement du potentiel de régulation**  
effets délétères des pesticides sur les réseaux trophiques  
liés aux bioagresseurs

≠



**Hyp. « Effet parapluie chimique »**  
protection des parcelles étudiées

# > Influence des conditions d'étude sur les effets observés ?

**Une grande majorité de la bibliographie s'inscrit dans des systèmes de culture conventionnels**

- ⇒ Les **variétés** sont **sélectionnées** pour être conduites avec un usage important d'intrants de synthèse
- ⇒ Il y a / il y a eu souvent **recours aux pesticides** dans les **parcelles étudiées** et dans les paysages environnants



**Hyp. Appauvrissement du potentiel de régulation**

**Hyp. « Effet parapluie chimique »**

La théorie écologique et les études empiriques tendent à défendre l'idée que le **potentiel de régulation serait plus important en systèmes agroécologiques**



- La diversification végétale est favorable à la biodiversité associée et rend d'autres services écosystémiques à la société

# > Deux méta-synthèses analysent les corrélations entre diversité végétale, biodiversité associée et services écosystémiques

Beillouin *et al.* 2021, Tamburini *et al.* 2020 = méta-analyses de méta-analyses

≈ 5000 études primaires chacune



Liens significatifs +  
liens significatifs –  
Liens non significatifs

Modalité de diversification	Biodiv. associée	Reg. bioag	Pollinisation	Qualité du sol	Qualité de l'eau	Régul. de l'eau	GES	Stockage de C
Mélange de variétés								
Agroforesterie - Tous types								
<i>Cultures en allées</i>								
<i>Cultures pérennes sous ombrage</i>								
<i>Haies</i>								
<i>Prairies-parks</i>								
Culture de couverture								
Cultures associées et plantes de services								
Rotation								
Végétation non-cultivée								



# > Deux méta-synthèses analysent les corrélations entre diversité végétale, biodiversité associée et services écosystémiques

Beillouin *et al.* 2021, Tamburini *et al.* 2020 = méta-analyses de méta-analyses

≈ 5000 études primaires chacune



Liens significatifs +  
liens significatifs –  
Liens non significatifs

Modalités de diversification différentes de l'analyse précédente:

- Agroforesterie détaillée
- Absence des assolements

Modalité de diversification	Biodiv. associée	Reg. bioag	Pollinisation	Qualité du sol	Qualité de l'eau	Régul. de l'eau	GES	Stockage de C
Mélange de variétés								
Agroforesterie - Tous types								
<i>Cultures en allées</i>								
<i>Cultures pérennes sous ombrage</i>								
<i>Haies</i>								
<i>Prairies-parks</i>								
Culture de couverture								
Cultures associées et plantes de services								
Rotation								
Végétation non-cultivée								



## > Grandes tendances à retenir

- Liens entre **diversité végétale** et **biodiversité** tous **positifs** mais avec une intensité différente selon les modalités de diversification (ns à +86%)

Modalité de diversification	Biodiv. associée	Reg. bioag	Pollinisation	Qualité du sol	Qualité de l'eau	Régul. de l'eau	GES	Stockage de C
Mélange de variétés								
<b>Agroforesterie - Tous types</b>								
<i>Cultures en allées</i>								
<i>Cultures pérennes sous ombrage</i>								
<i>Haies</i>								
<i>Prairies-parks</i>								
<b>Culture de couverture</b>								
<b>Cultures associées et plantes de services</b>								
<b>Rotation</b>								
<b>Végétation non-cultivée</b>								



## > Grandes tendances à retenir

- Liens entre **diversité végétale** et **fourniture de services écosystémiques** majoritairement **positifs**

- Quelques liens neutres (gris)

- 1 lien **néгатif** = cultures de couvertures X GES

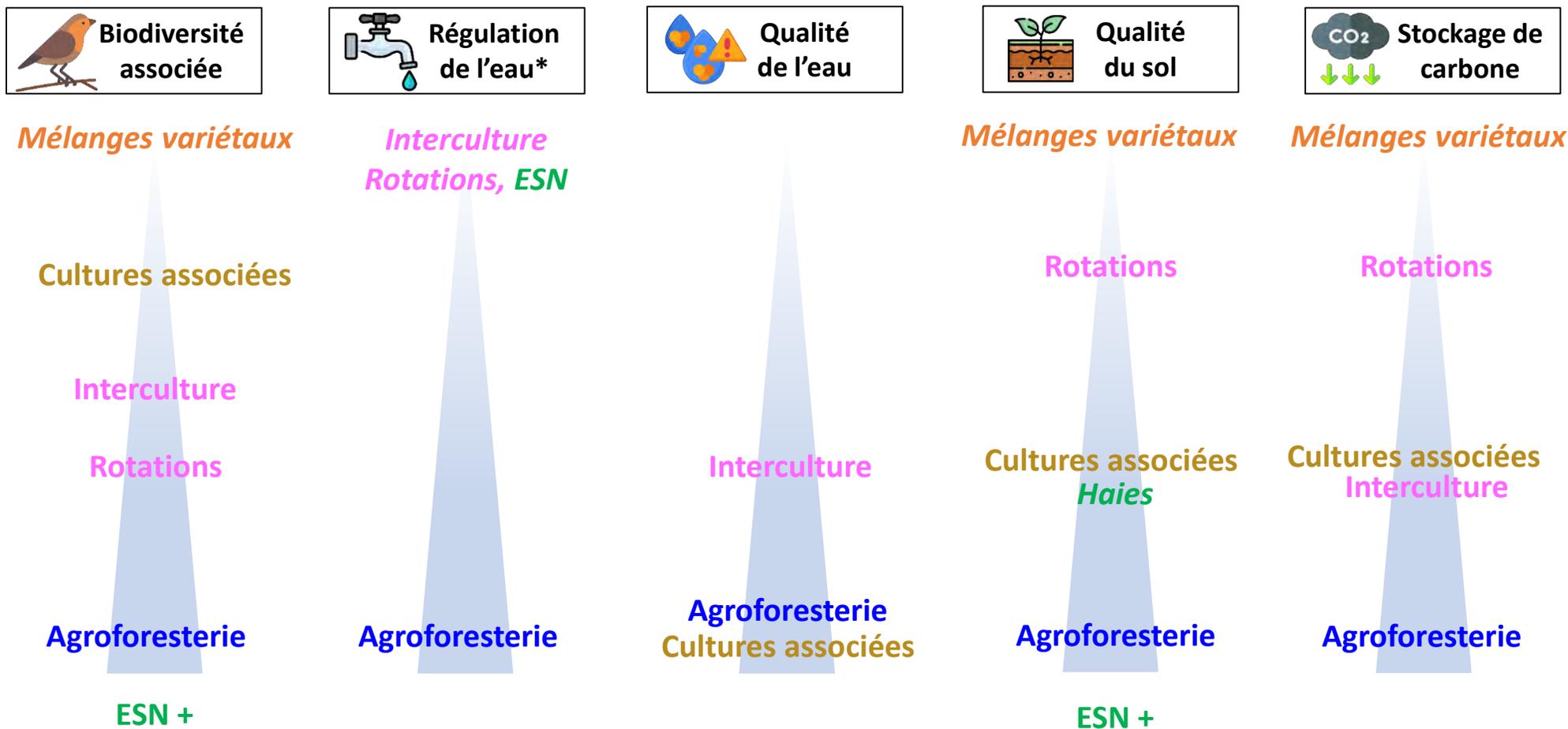
- De nombreux cas non analysés (cases blanches)

Modalité de diversification	Biodiv. associée	Reg. bioag	Pollinisation	Qualité du sol	Qualité de l'eau	Régul. de l'eau	GES	Stockage de C
Mélange de variétés								
Agroforesterie - Tous types								
<i>Cultures en allées</i>								
<i>Cultures pérennes sous ombrage</i>								
<i>Haies</i>								
<i>Prairies-parks</i>								
Culture de couverture								
Cultures associées et plantes de services								
Rotation								
Végétation non-cultivée								



# > Grandes tendances issues des études scientifiques

⇒ Des modalités de diversification plus ou moins intéressantes vis-à-vis de la biodiversité associée et de la fourniture de services écosystémiques (tailles d'effet)



- Les systèmes diversifiés présentent des rendements souvent supérieurs aux systèmes peu diversifiés

# > Lien positif entre diversification végétale et rendement

Beillouin *et al.* 2021, Tamburini *et al.* 2020 → **corrélation** entre diversité végétale et rendement

*A noter : Rendement = variable composite multifactorielle ne dépendant pas que des dégâts causés par les bioagresseurs*

*La comparaison est faite avec des systèmes moins diversifiés, les évaluations pouvant être réalisées avec ou sans usage de pesticides.*



## > Lien positif entre diversification végétale et rendement

Beillouin *et al.* 2021, Tamburini *et al.* 2020 → **corrélation** entre diversité végétale et rendement

- mélanges de variétés = faibles gains de rendement (env. +3%) mais **stabilisation** interannuelle des rendements
  - associations de cultures
  - rotations diversifiées
  - agroforesterie
- } **gains de rendement notables à forts (+10-40%)**
- éléments semi-naturels = ne modifient pas les rendements (liens neutres)

## > Lien positif entre diversification végétale et rendement

Beillouin *et al.* 2021, Tamburini *et al.* 2020 → **corrélation** entre diversité végétale et rendement

- mélanges de variétés = faibles gains de rendement (env. +3%) mais **stabilisation** interannuelle des rendements
  - associations de cultures
  - rotations diversifiées
  - agroforesterie
- } **gains de rendement notables à forts (+10-40%)**
- éléments semi-naturels = ne modifient pas les rendements (liens neutres)

La littérature agronomique et économique souligne que l'effet sur le rendement dépend fortement de **l'objectif pour lequel la diversification est mise en place** (pas toujours la protection des cultures; ex des rotations)

INRAE

➤ Focus : Les mélanges variétaux  
Les rotations

➤ Focus : Les mélanges variétaux  
Les rotations

Frédéric Suffert (INRAE)

*Épidémiologie en santé végétale*

*Membre du comité d'experts*

## > Effets des mélanges variétaux sur les bioagresseurs

**Régulation : effets significatifs** mais **variables** (année, culture)

Bien documenté (méta-analyses) ; **maladies fongiques aériennes des céréales** (zones tempérées)

# > Effets des mélanges variétaux sur les bioagresseurs

## Régulation : effets significatifs mais variables (année, culture)

Bien documenté (méta-analyses) ; maladies fongiques aériennes des céréales (zones tempérées)

(1) Ex. historique : **orge / oïdium (RDA 1980s)**, multi-lignées



(2) Ex. actuel : **riz / pyriculariose (Yunnan, Chine)**, variétés traditionnelles génétiquement diversifiées



# > Effets des mélanges variétaux sur les bioagresseurs

## Régulation : effets significatifs mais variables (année, culture)

Bien documenté (méta-analyses) ; **maladies fongiques aériennes des céréales** (zones tempérées)

(1) Ex. historique : **orge / oïdium (RDA 1980s)**, multi-lignées



(2) Ex. actuel : **riz / pyriculariose (Yunnan, Chine)**, variétés traditionnelles génétiquement diversifiées



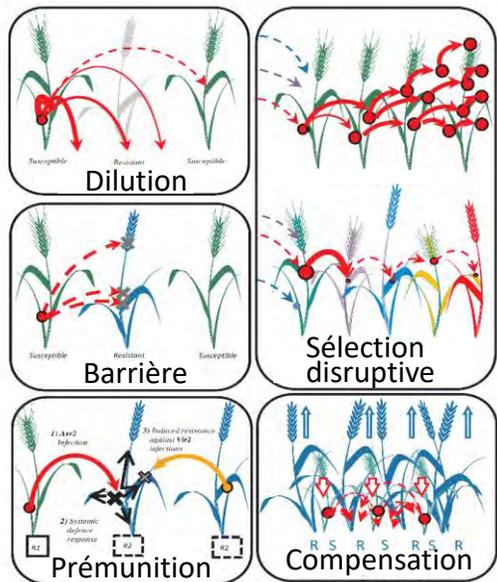
Autres situations : **arboriculture** et **maraichage**

+ **systèmes sub-tropicaux** (soja, maïs, sorgho) incluant des **systèmes agroforestiers** (café, banane)

# > Mécanismes de régulation

**Maladies** : nombreux mécanismes,  
évalués en systèmes cultivés

limite = faible diversité de mélanges testés



Moins efficaces  
si dispersion limitée  
(ex. nématode, maladies du sol)

**Front de Science** : induction  
de défense / résistance  
(interactions plante-plante *via*  
exsudats racinaires ou COV ;  
microbiote)

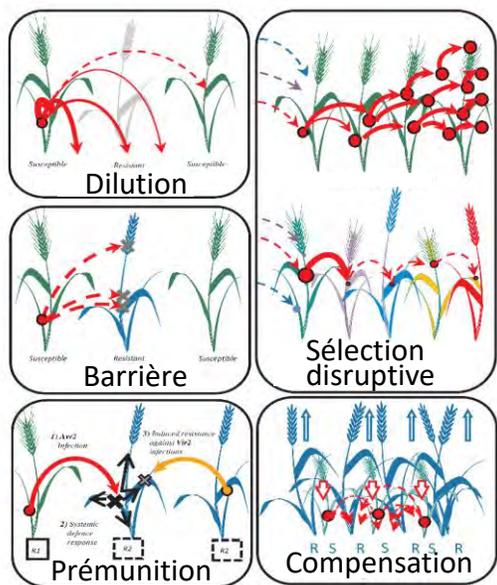
Borg et al. (2018)



# ➤ Mécanismes de régulation

**Maladies** : nombreux mécanismes, évalués en systèmes cultivés

limite = faible diversité de mélanges testés



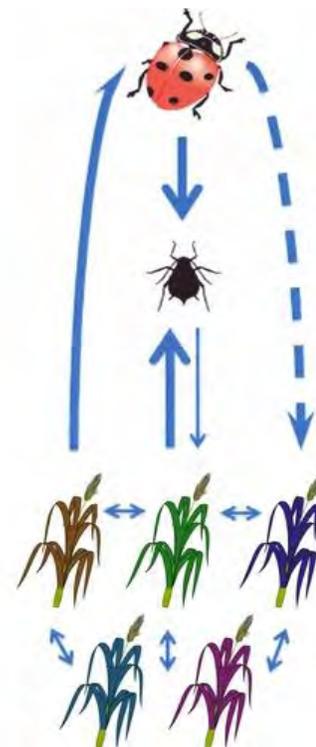
Moins efficaces si dispersion limitée (ex. nématode, maladies du sol)

**Front de Science** : induction de défense / résistance (interactions plante-plante *via* exsudats racinaires ou COV ; microbiote)

Borg et al. (2018)

**Insectes phytophages** : mécanismes plus complexes, identifiés en systèmes naturels

limite = transposabilité/exploitabilité des résultats



Liés à des niveaux trophiques multiples

**Enjeu** : lier approches écologiques et agronomiques

Tooker et Frank (2012)

## > Enjeux et perspectives

### Effet sur le levier « résistance aux maladies » (immunité végétale)



Ex. Septoriose du blé



## > Enjeux et perspectives

### Effet sur le levier « résistance aux maladies » (immunité végétale)



Ex. Septoriose du blé



Hausse modérée (+3%)  
et stabilisation des rendements

Kristoffersen et al. (2020)

Comparaison mélange vs moyenne purs (nt) :  
sévérité -10,6% / rendement +1,4%

#### A creuser : Lien sévérité-dégâts ?

Mieux caractériser la nuisibilité, pour concilier perception écologique vs agronomique des effets.

## > Enjeux et perspectives

### Effet sur le levier « résistance aux maladies » (immunité végétale)



Hausse modérée (+3%)  
et stabilisation des rendements

Kristoffersen et al. (2020)

Comparaison mélange vs moyenne purs (nt) :  
sévérité -10,6% / rendement +1,4%

#### A creuser : Lien sévérité-dégâts ?

Mieux caractériser la nuisibilité, pour concilier perception écologique vs agronomique des effets.



Modification des fréquences de souches virulentes dans les populations via différents mécanismes

Orellana-Torrejón et al., 2022

#### Place des mélanges ?

Effets modestes, mais pratique opérationnelle (pas de modification structurelle du système) et de gestion des résistances variétales.

➤ Focus : Les mélanges variétaux  
Les rotations

Manuel Plantegenest (L'Institut Agro)  
*Écologie des communautés d'arthropodes*  
*Membre du comité d'experts*

## > Une pratique ancienne...

La rotation est une pratique très ancienne adoptée par les agriculteurs pour maintenir la capacité productrice des sols (notamment par l'insertion de légumineuses) → Intrants de synthèse

En France, les rotations sont peu diversifiées et plus de 80 % des surfaces en grandes cultures comprennent au plus 3 cultures. La rotation Colza/Blé/Orge est la plus répandue.



## > Une pratique ancienne...

La rotation est une pratique très ancienne adoptée par les agriculteurs pour maintenir la capacité productrice des sols (notamment par l'insertion de légumineuses) → Intrants de synthèse

En France, les rotations sont peu diversifiées et plus de 80 % des surfaces en grandes cultures comprennent au plus 3 cultures. La rotation Colza/Blé/Orge est la plus répandue.



La littérature portant sur l'effet des rotations est assez ancienne.

La plupart des études portent sur des modifications limitées de rotations (simples) existantes.

## > Une pratique ancienne...

La rotation est une pratique très ancienne adoptée par les agriculteurs pour maintenir la capacité productrice des sols (notamment par l'insertion de légumineuses) → Intrants de synthèse

En France, les rotations sont peu diversifiées et plus de 80 % des surfaces en grandes cultures comprennent au plus 3 cultures. La rotation Colza/Blé/Orge est la plus répandue.



La littérature portant sur l'effet des rotations est assez ancienne.

La plupart des études portent sur des modifications limitées de rotations (simples) existantes.

**Etudes opportunistes portant sur des rotations complexes/innovantes**

## > ... avec des effets avérés sur les bioagresseurs

- Il existe un consensus sur la capacité des rotations à contrôler les adventices (Lundkvist *et al.*, 2008), les pathogènes telluriques fongiques et bactériens et les nématodes.



## > ... avec des effets avérés sur les bioagresseurs

- Il existe un consensus sur la capacité des rotations à contrôler les adventices (Lundkvist *et al.*, 2008), les pathogènes telluriques fongiques et bactériens et les nématodes.



- La littérature portant sur les insectes bioagresseurs est parcellaire mais des effets des rotations sont également documentés (e.g., taupins : Poggi *et al.*, 2021 ; doryphores : Weisz *et al.*, 1994).



## > ... avec des effets avérés sur les bioagresseurs

- Il existe un consensus sur la capacité des rotations à contrôler les adventices (Lundkvist *et al.*, 2008), les pathogènes telluriques fongiques et bactériens et les nématodes.



- La littérature portant sur les insectes bioagresseurs est parcellaire mais des effets des rotations sont également documentés (e.g., taupins : Poggi *et al.*, 2021 ; doryphores : Weisz *et al.*, 1994).



- La littérature montre également que le choix de rotation peut influencer l'abondance et la composition des communautés d'ennemis naturels, notamment, coléoptères carabiques (Marrec *et al.*, 2017 ; régulation de la banque de graines d'adventices : Carbonne *et al.*, 2020)



## > Mécanismes de régulation

### ➔ Effet de filtrage

La rotation contribue à déterminer les conditions environnementales (biotiques et abiotiques) favorables au maintien ou à l'exclusion des bioagresseurs (Seymour *et al.* 2012)

- Variation de la date de semis : e.g. adventices (Weisberger *et al.*, 2019)
- Introduction de cultures non-hôtes ou résistantes ⇨ réduction de l'inoculum



© INRAE

## > Mécanismes de régulation

### Effet de filtrage

La rotation contribue à déterminer les conditions environnementales (biotiques et abiotiques) favorables au maintien ou à l'exclusion des bioagresseurs (Seymour *et al.* 2012)

- Variation de la date de semis : e.g. adventices (Weisberger *et al.*, 2019)
- Introduction de cultures non-hôtes ou résistantes ⇨ réduction de l'inoculum

### Relargage de composés à effets toxiques (biofumigation, allélopathie)

Nématodes, pathogènes fongiques

e.g. *Brassica Juncea* contre *Sclerotinia sclerotorum* sur pomme de terre (Ojaghian *et al.*, 2012)



## > Mécanismes de régulation

### Effet de filtrage

La rotation contribue à déterminer les conditions environnementales (biotiques et abiotiques) favorables au maintien ou à l'exclusion des bioagresseurs (Seymour *et al.* 2012)

- Variation de la date de semis : e.g. adventices (Weisberger *et al.*, 2019)
- Introduction de cultures non-hôtes ou résistantes ⇒ réduction de l'inoculum

### Relargage de composés à effets toxiques (biofumigation, allélopathie)

Nématodes, pathogènes fongiques

e.g. *Brassica Juncea* contre *Sclerotinia sclerotorum* sur pomme de terre (Ojaghian *et al.*, 2012)



### Stimulation d'organismes antagonistes des bioagresseurs (Larkin, 2015 ; Vilar *et al.*, 2018)

↗ diversité végétale ⇒ ↗ activité microbienne ⇒ Effet suppressif (pathogènes telluriques)

## > Limites et fronts de sciences

### Elargissement du focus

**1 culture / 1 bioagresseur → Bioagresseurs multiples/Ensemble des cultures de la rotation**

e.g. relation adventices/nématodes (Chen *et al.*, 2009)

# > Limites et fronts de sciences

## Elargissement du focus

**1 culture / 1 bioagresseur → Bioagresseurs multiples/Ensemble des cultures de la rotation**

e.g. relation adventices/nématodes (Chen *et al.*, 2009)

## Conceptualisation/Approche générique

**Recherche empirique → Recherche théorique**

e.g. approche fondée sur des traits simples caractérisant les rotations : saison de semis, type de culture, type d'herbicide utilisé (Bohan *et al.*, 2011)

## Recours à la modélisation



## > Limites et fronts de sciences

### **Paysage Rotationnel : Agencement spatial des rotations.**

#### **Rôle de la dispersion**



## > Limites et fronts de sciences

### Paysage Rotationnel : Agencement spatial des rotations.

#### Rôle de la dispersion

- Doryphore et répartition des cultures dans le temps et l'espace (Boiteau *et al.*, 2008 ; Huseth *et al.*, 2012)



100 m  
Effet significatif

400 m  
Contrôle satisfaisant

1500 m  
Eradication

## > Limites et fronts de sciences

### Paysage Rotationnel : Agencement spatial des rotations.

#### Rôle de la dispersion

- **Doryphore et répartition des cultures dans le temps et l'espace** (Boiteau *et al.*, 2008 ; Huseth *et al.*, 2012)



100 m  
Effet significatif

400 m  
Contrôle satisfaisant

1500 m  
Eradication



**Importance de coordonner les rotations à l'échelle supra-parcellaire**  
Diversification - Synchronisation

Colloque de restitution de l'Expertise scientifique collective

20 octobre 2022

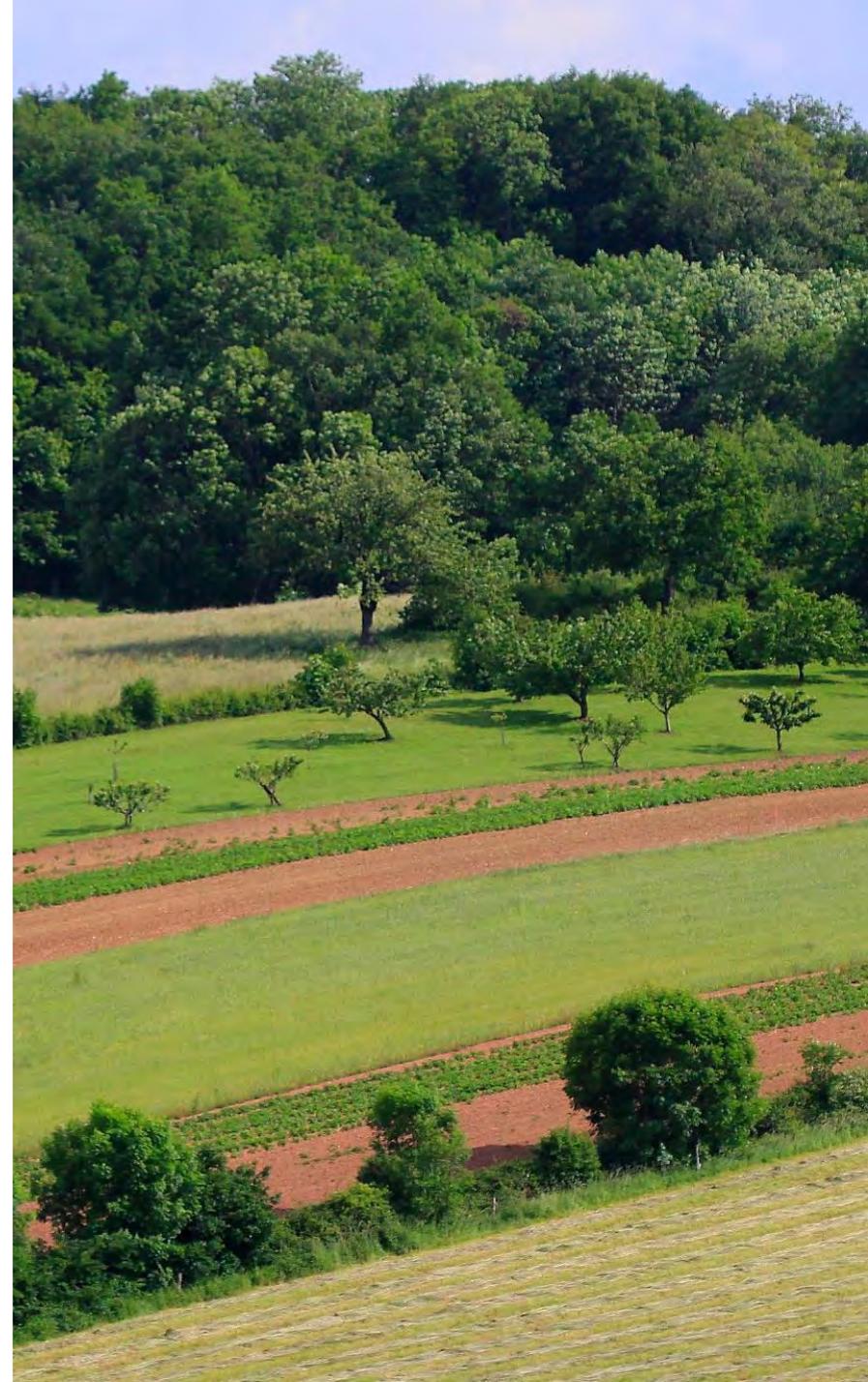
## ➤ Questions & Réponses



**INRAE**



Direction de l'Expertise,  
de la Prospective  
et des Études

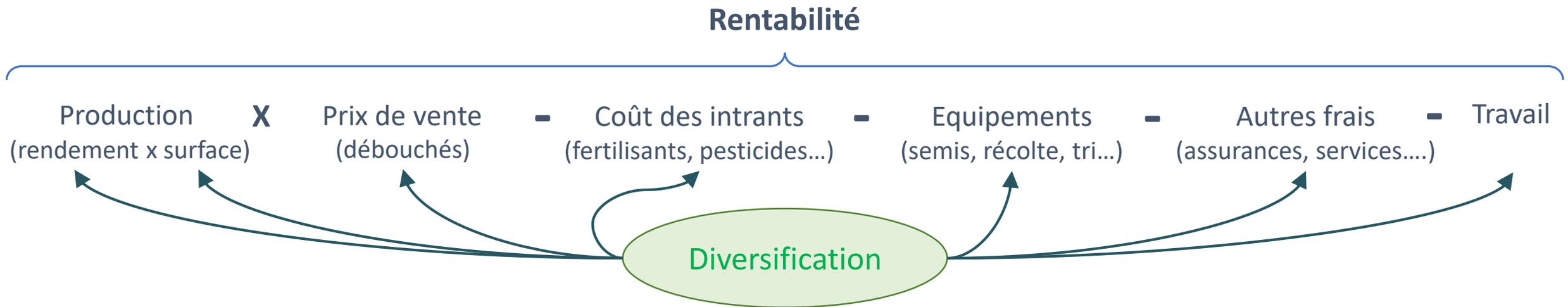


## ➤ La diversification végétale a des effets contrastés sur la rentabilité économique de l'exploitation à court terme

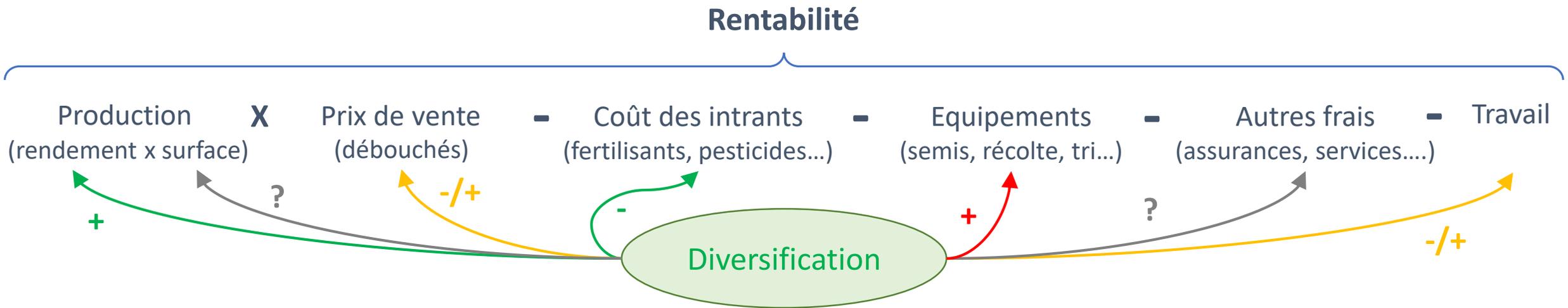
Vincent Martinet (INRAE)

*Economiste de l'environnement et des ressources naturelles  
Co-pilote scientifique de l'ESCo*

## > Les effets sur la rentabilité dépendent du contexte

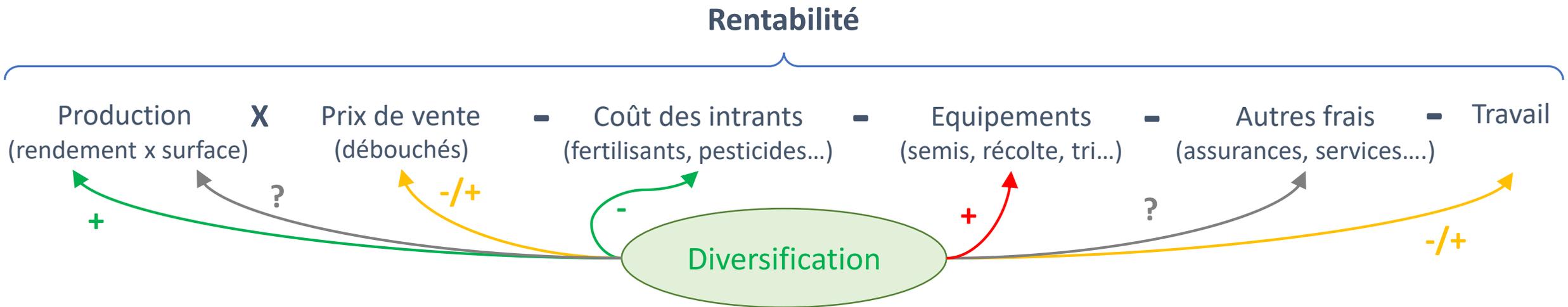


## > Les effets sur la rentabilité dépendent du contexte



- Rentabilité = déterminant clé de l'adoption mais **beaucoup moins d'études sur la performance économique** des systèmes diversifiés que sur leurs performances agroécologiques **320 références sur l'adoption**
  - **Effet complexe** de la diversification  $\Rightarrow$  **Difficulté à anticiper** la rentabilité des systèmes diversifiés
  - **Estimations ponctuelles** de rentabilité dans des contextes particuliers  $\Rightarrow$  **Pas de généralisation**

## > Les effets sur la rentabilité dépendent du contexte



- Rentabilité = déterminant clé de l'adoption mais **beaucoup moins d'études sur la performance économique** des systèmes diversifiés que sur leurs performances agroécologiques **320 références sur l'adoption**
  - **Effet complexe** de la diversification  $\Rightarrow$  **Difficulté à anticiper** la rentabilité des systèmes diversifiés
  - **Estimations ponctuelles** de rentabilité dans des contextes particuliers  $\Rightarrow$  **Pas de généralisation**
- Quelques tendances pour la diversification intra-parcellaire et les rotations, surtout en grande cultures
  - **mélanges de cultures de rente (+)** ; Mélanges variétaux ( $\sim$ , stabilisateur) ; semences paysannes (- en général, + sur niches) ; plantes de services (-) ; Rotations (? , stabilisateur)
- Rares études sur autres systèmes : Arboriculture ( $\sim/+$ ) ; Maraichage (+ en circuit court)

## > Quelques facteurs favorisant la rentabilité



- **La diversification est plus performante économiquement...**

## > Quelques facteurs favorisant la rentabilité



- **La diversification est plus performante économiquement...**

- En contexte de **forte pression de bioagresseurs**



- Ex: mélanges des variétés de blé, assolements de grandes cultures et jachères, enherbement inter-rang

## > Quelques facteurs favorisant la rentabilité



- **La diversification est plus performante économiquement...**

- En contexte de **forte pression de bioagresseurs**



- Ex: mélanges des variétés de blé, assolements de grandes cultures et jachères, enherbement inter-rang

- Dans les systèmes à bas niveaux d'intrants, notamment en **Agriculture Biologique**



- Ex: semences paysannes (blé), mélanges de cultures de rente (céréales et légumineuses ; maraichage), ...

## > Quelques facteurs favorisant la rentabilité



### • La diversification est plus performante économiquement...

#### • En contexte de forte pression de bioagresseurs



- Ex: mélanges des variétés de blé, assolements de grandes cultures et jachères, enherbement inter-rang

#### • Dans les systèmes à bas niveaux d'intrants, notamment en **Agriculture Biologique**



- Ex: semences paysannes (blé), mélanges de cultures de rente (céréales et légumineuses ; maraichage), ...

#### • Dans des contextes économiques de **prix de la production bas** ou de **coûts des intrants élevés**



- Ex: longueurs des rotations et insertion de légumineuses, mélanges de cultures de rente (blé dur et pois)

## > Quelques facteurs favorisant la rentabilité



### • La diversification est plus performante économiquement...

#### • En contexte de forte pression de bioagresseurs



- Ex: mélanges des variétés de blé, assolements de grandes cultures et jachères, enherbement inter-rang

#### • Dans les systèmes à bas niveaux d'intrants, notamment en **Agriculture Biologique**



- Ex: semences paysannes (blé), mélanges de cultures de rente (céréales et légumineuses ; maraichage), ...

#### • Dans des contextes économiques de **prix de la production bas** ou de **coûts des intrants élevés**



- Ex: longueurs des rotations et insertion de légumineuses, mélanges de cultures de rente (blé dur et pois)

#### • Lorsqu'il est possible de valoriser la production et ses caractéristiques dans des **niches économiques**

- Ex: mélanges de variété ou semences paysannes (blé) ; mélange de cultures de rentes en maraichage



## > Limites de l'évaluation de la rentabilité des stratégies étudiées



## > Limites de l'évaluation de la rentabilité des stratégies étudiées

- **Effets à long terme :**

Délai d'apparition des bénéfices de régulation (surtout pour les ESN) et effets intertemporels (cultures suivantes dans les rotations ; stabilité des rendements)

⇒ **Besoin d'une évaluation de la rentabilité pluriannuelle**



## > Limites de l'évaluation de la rentabilité des stratégies étudiées

- **Effets à long terme :**

Délai d'apparition des bénéfices de régulation (surtout pour les ESN) et effets intertemporels (cultures suivantes dans les rotations ; stabilité des rendements)



⇒ **Besoin d'une évaluation de la rentabilité pluriannuelle**

- **Multiplicité des effets :**

- **Au-delà de la régulation des bioagresseurs :** Effet systémique, sur fertilité des sols, pollinisation... mais aussi potentiellement sur l'organisation de l'exploitation et de son insertion dans les filières

⇒ **Effets économiques complexes et motivations d'adoption multiples**

- **Au-delà de l'exploitation :** Bénéfices pas seulement privés (exploitation) mais aussi collectifs (autres agriculteurs) et sociaux

⇒ **Intérêt à examiner la « rentabilité collective » à des échelles plus larges que l'exploitation agricole**

## > Limites de l'évaluation de la rentabilité des stratégies étudiées

- **Effets à long terme :**

Délai d'apparition des bénéfices de régulation (surtout pour les ESN) et effets intertemporels (cultures suivantes dans les rotations ; stabilité des rendements)



⇒ Besoin d'une évaluation de la rentabilité pluriannuelle

- **Multiplicité des effets :**

- **Au-delà de la régulation des bioagresseurs :** Effet systémique, sur fertilité des sols, pollinisation... mais aussi potentiellement sur l'organisation de l'exploitation et de son insertion dans les filières

⇒ Effets économiques complexes et motivations d'adoption multiples

- **Au-delà de l'exploitation :** Bénéfices pas seulement privés (exploitation) mais aussi collectifs (autres agriculteurs) et sociaux

⇒ Intérêt à examiner la « rentabilité collective » à des échelles plus larges que l'exploitation agricole

➔ **Besoin d'évaluations intertemporelles et à toutes les échelles**

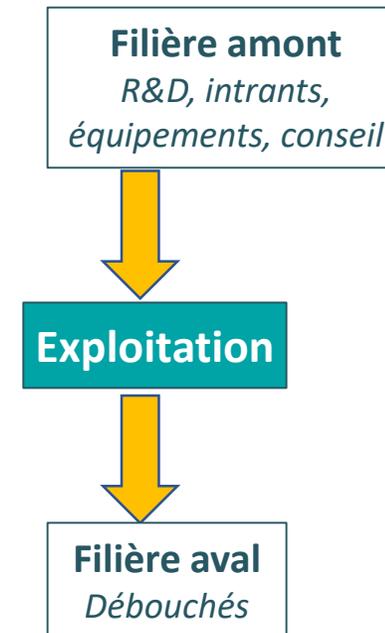


- Pour favoriser la diversification végétale, des verrous sont à lever au sein des filières agricoles et dans les territoires

# > Des verrous hérités de l'historique de spécialisation des filières agricoles

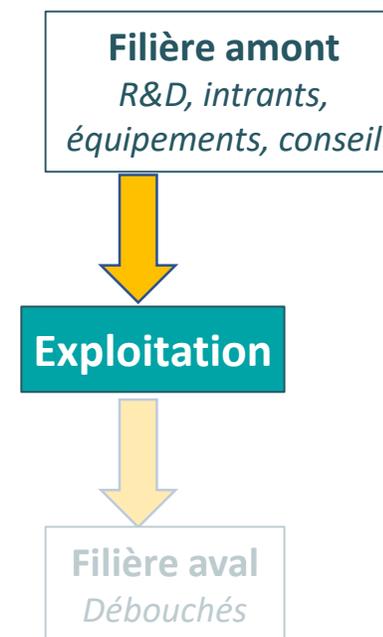
- Coévolution des différents niveaux d'organisation
  - Mécanismes d'auto-renforcement
  - Economies d'échelles
- ⇒ Verrouillage systémique

**Certains verrous sont critiques pour la diversification**



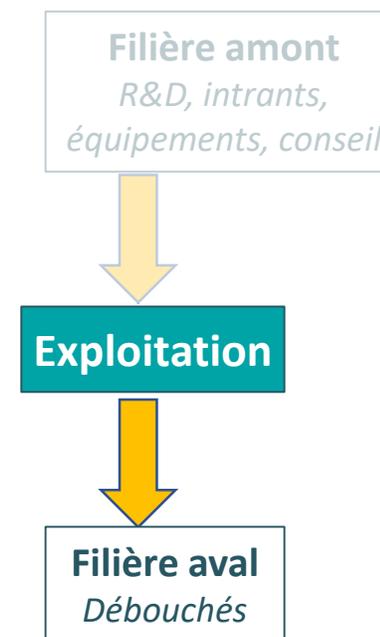
# > Des verrous hérités de l'historique de spécialisation des filières agricoles

- **En amont de l'exploitation agricole :** (cohérence avec l'étude INRA *Freins et leviers à la diversification des cultures*, 2013)
  - **Difficulté d'approvisionnement en semences et plants performants dans des systèmes diversifiés** (variétés sélectionnées sur des critères différents de ceux recherchés pour la diversification ; défaut de sélection sur les espèces mineures)
    - Effort de sélection ; Echange de semences entre agriculteurs
  - **Coût d'accès aux agroéquipements** nécessaires à certaines pratiques (conduite de mélanges d'espèces, cultures de niche...)
    - Auto-construction ; partage (CUMA) ; sous-traitance
  - **Déficit de connaissances** sur conduite et débouchés des cultures diversifiées
    - R&D sur les pratiques de diversification ; expérimentation à la ferme et partage d'expérience ; Outils d'Aide à la Décision



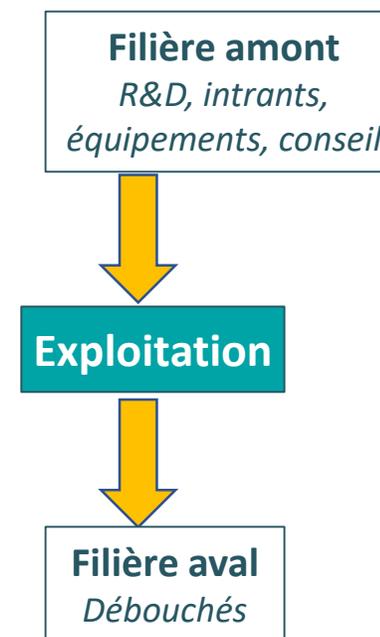
# ➤ Des verrous hérités de l'historique de spécialisation des filières agricoles

- **En amont de l'exploitation agricole :** (cohérence avec l'étude INRA *Freins et leviers à la diversification des cultures*, 2013)
  - **Difficulté d'approvisionnement en semences et plants performants dans des systèmes diversifiés** (variétés sélectionnées sur des critères différents de ceux recherchés pour la diversification ; défaut de sélection sur les espèces mineures)  
→ Effort de sélection ; Echange de semences entre agriculteurs
  - **Coût d'accès aux agroéquipements** nécessaires à certaines pratiques (conduite de mélanges d'espèces, cultures de niche...)  
→ Auto-construction ; partage (CUMA) ; sous-traitance
  - **Déficit de connaissances** sur conduite et débouchés des cultures diversifiées  
→ R&D sur les pratiques de diversification ; expérimentation à la ferme et partage d'expérience ; Outils d'Aide à la Décision
- **En aval de l'exploitation agricole :**
  - **manque de débouchés : demande insuffisante** (cultures de niche), **standards de production contraignants** (ex : blé et meunerie ; fruits et légumes et grande distribution)  
→ Transformation à la ferme ; Développement de circuits de distribution ; Certification / valorisation des qualités particulières



# ➤ Des verrous hérités de l'historique de spécialisation des filières agricoles

- **En amont de l'exploitation agricole :** (cohérence avec l'étude INRA *Freins et leviers à la diversification des cultures*, 2013)
  - **Difficulté d'approvisionnement en semences et plants performants dans des systèmes diversifiés** (variétés sélectionnées sur des critères différents de ceux recherchés pour la diversification ; défaut de sélection sur les espèces mineures)  
→ Effort de sélection ; Echange de semences entre agriculteurs
  - **Coût d'accès aux agroéquipements** nécessaires à certaines pratiques (conduite de mélanges d'espèces, cultures de niche...)  
→ Auto-construction ; partage (CUMA) ; sous-traitance
  - **Déficit de connaissances** sur conduite et débouchés des cultures diversifiées  
→ R&D sur les pratiques de diversification ; expérimentation à la ferme et partage d'expérience ; Outils d'Aide à la Décision
- **En aval de l'exploitation agricole :**
  - **manque de débouchés** : demande insuffisante (cultures de niche), standards de production contraignants (ex : blé et meunerie ; fruits et légumes et grande distribution)  
→ Transformation à la ferme ; Développement de circuits de distribution ; Certification / valorisation des qualités particulières

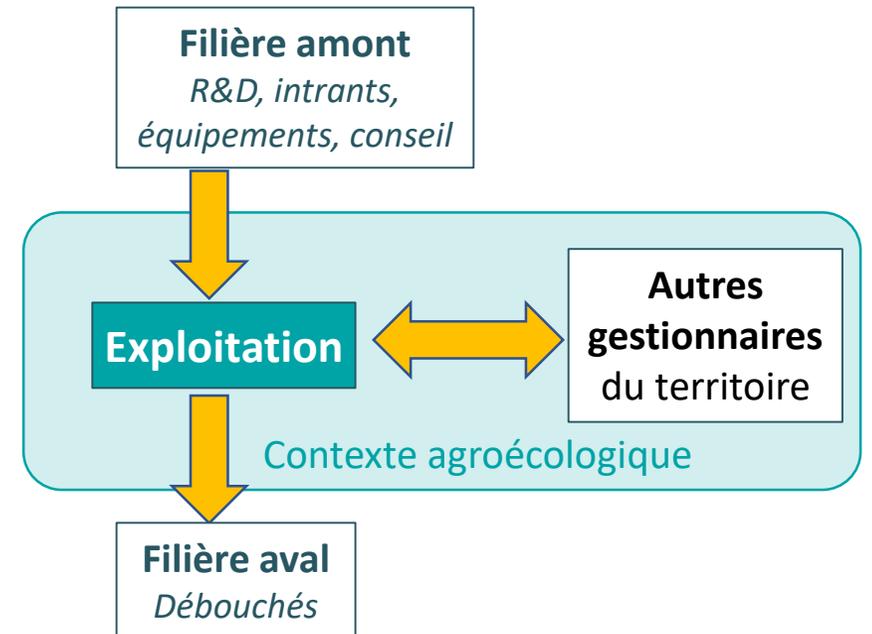


➔ **Besoin de travaux pour hiérarchiser ces verrous dans différents contextes**

# > Déployer la diversification végétale dans les paysages nécessite une coordination territoriale

## Certaines modalités de diversification ne peuvent être mises en œuvre sans coordination territoriale

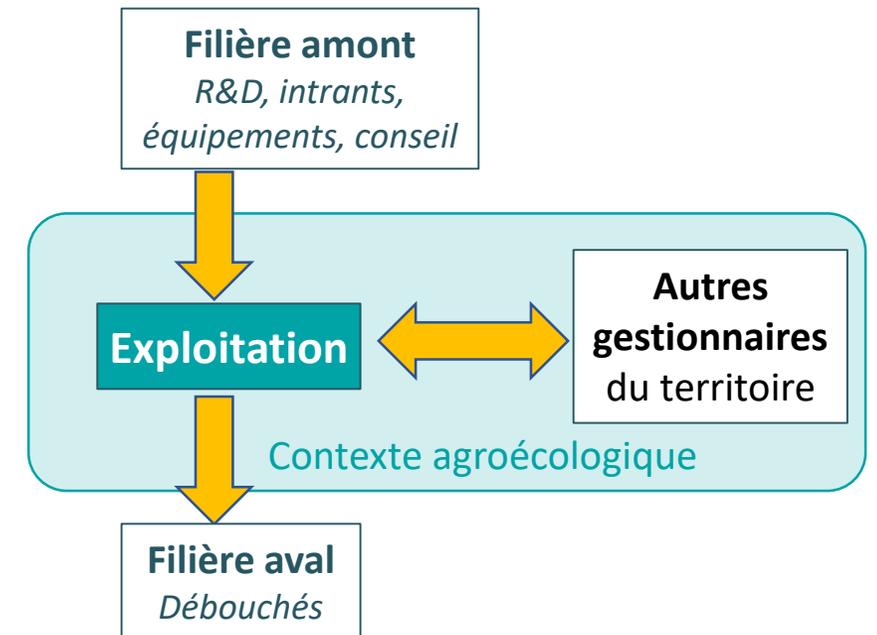
- Insertion d'une trame d'éléments semi-naturels dans le paysage (implique une diversité d'acteurs)
- Conception d'assolements diversifiés (implique de coordonner les décisions d'assolement et de rotations)



# > Déployer la diversification végétale dans les paysages nécessite une coordination territoriale

## Certaines modalités de diversification ne peuvent être mises en œuvre sans coordination territoriale

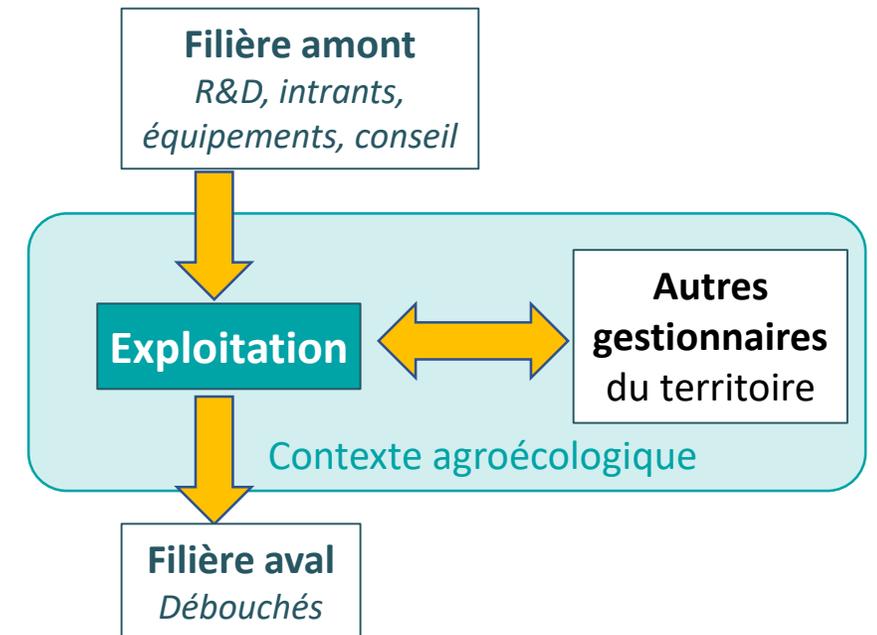
- Insertion d'une trame d'éléments semi-naturels dans le paysage (implique une diversité d'acteurs)
  - Conception d'assolements diversifiés (implique de coordonner les décisions d'assolement et de rotations)
- **Verrous organisationnels : Difficulté de coordination des acteurs**
    - Question du partage des coûts d'implémentation et des bénéfices collectifs
      - Ex. Certification territoriale des débouchés
    - Besoin d'accompagnement pour définir des objectifs communs et les mettre en œuvre
      - Ex. Recherche-action et transdisciplinarité



# > Déployer la diversification végétale dans les paysages nécessite une coordination territoriale

## Certaines modalités de diversification ne peuvent être mises en œuvre sans coordination territoriale

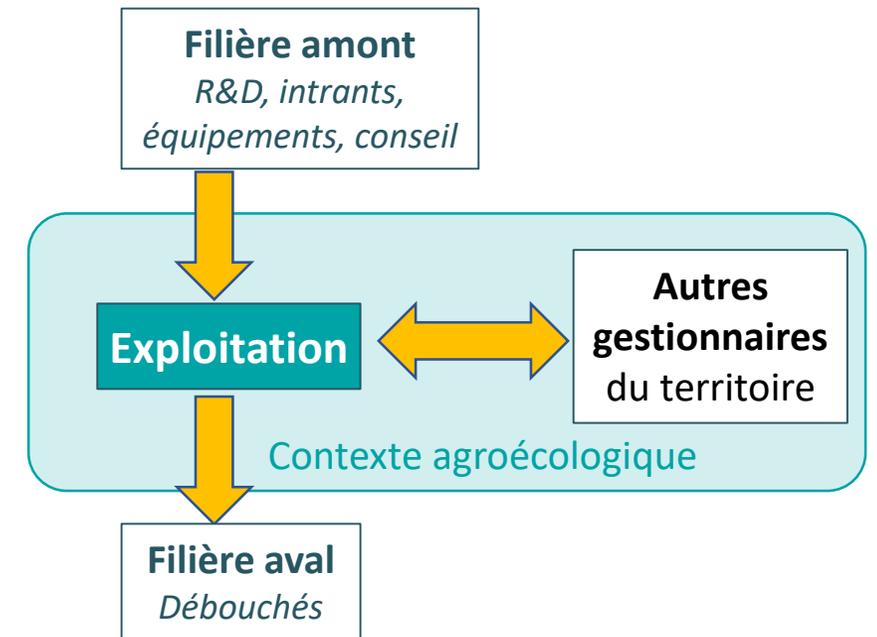
- Insertion d'une trame d'éléments semi-naturels dans le paysage (implique une diversité d'acteurs)
  - Conception d'assolements diversifiés (implique de coordonner les décisions d'assolement et de rotations)
- **Verrous organisationnels : Difficulté de coordination des acteurs**
    - Question du partage des coûts d'implémentation et des bénéfices collectifs
      - Ex. Certification territoriale des débouchés
    - Besoin d'accompagnement pour définir des objectifs communs et les mettre en œuvre
      - Ex. Recherche-action et transdisciplinarité
  - **Verrous réglementaires**
    - Chaque type d'acteur fait face à des **contraintes juridiques** spécifiques (droit foncier rural, statut du fermage)



# > Déployer la diversification végétale dans les paysages nécessite une coordination territoriale

## Certaines modalités de diversification ne peuvent être mises en œuvre sans coordination territoriale

- Insertion d'une trame d'éléments semi-naturels dans le paysage (implique une diversité d'acteurs)
  - Conception d'assolements diversifiés (implique de coordonner les décisions d'assolement et de rotations)
- **Verrous organisationnels : Difficulté de coordination des acteurs**
    - Question du partage des coûts d'implémentation et des bénéfices collectifs
      - Ex. Certification territoriale des débouchés
    - Besoin d'accompagnement pour définir des objectifs communs et les mettre en œuvre
      - Ex. Recherche-action et transdisciplinarité
  - **Verrous réglementaires**
    - Chaque type d'acteur fait face à des **contraintes juridiques** spécifiques (droit foncier rural, statut du fermage)



→ Leviers institutionnels et politiques publiques

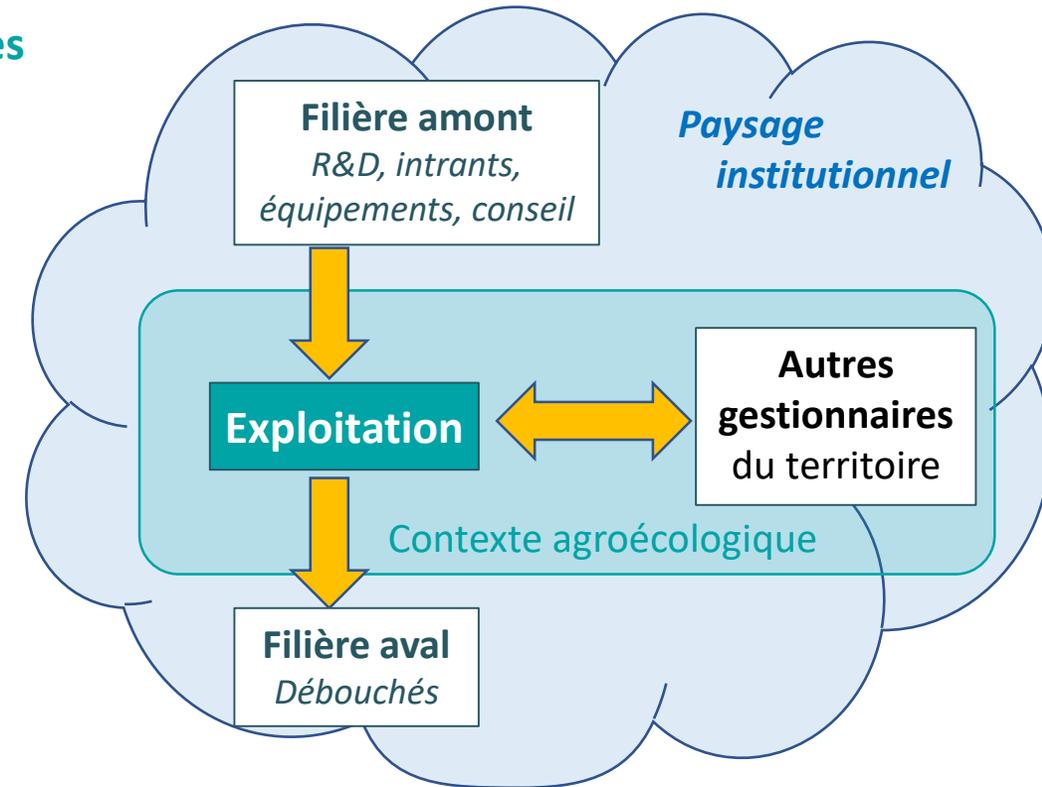
- Les politiques publiques sont un déterminant clef du déploiement de la diversification végétale

# > Les politiques publiques sont un déterminant clef du déploiement

## Déterminant majeur de la transition vers une agriculture productiviste

- ⇒ spécialisation des systèmes de production
- ⇒ perte de diversité végétale

## Des politiques ambitieuses sont nécessaires pour sortir des verrouillages systémiques de l'agriculture conventionnelle



# > Les politiques publiques sont un déterminant clef du déploiement

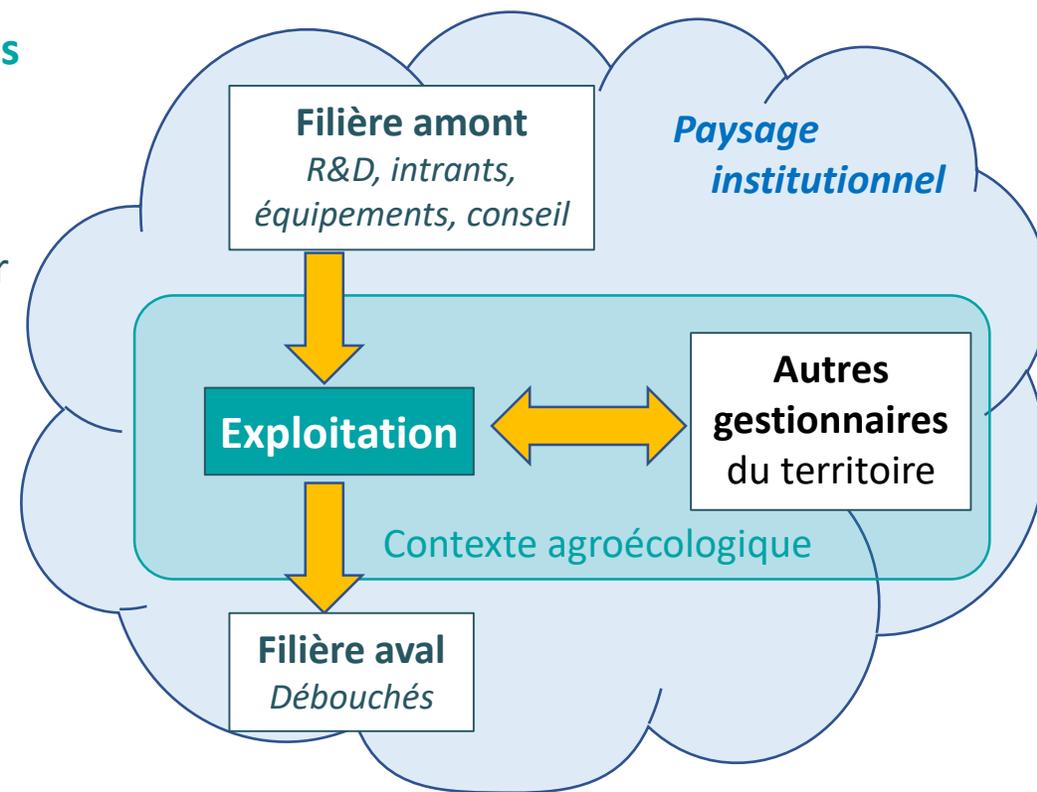
## Déterminant majeur de la transition vers une agriculture productiviste

- ⇒ spécialisation des systèmes de production
- ⇒ perte de diversité végétale

## Des politiques ambitieuses sont nécessaires pour sortir des verrouillages systémiques de l'agriculture conventionnelle

Éléments justifiant un accompagnement de la diversification végétale par des politiques publiques

-  • Effets négatifs de l'usage de pesticides (pollution, environnement, santé)  
⇒ Outils réglementaires (interdiction) ou incitatifs (taxation)
-  • Bénéfices écologiques de la diversification  
⇒ Incitations (subventions, Paiements pour services environnementaux, crédits compensation ou crédits carbone)
-  • Favoriser l'innovation dans les filières et la coordination territoriale



# > Les politiques publiques sont un déterminant clef du déploiement

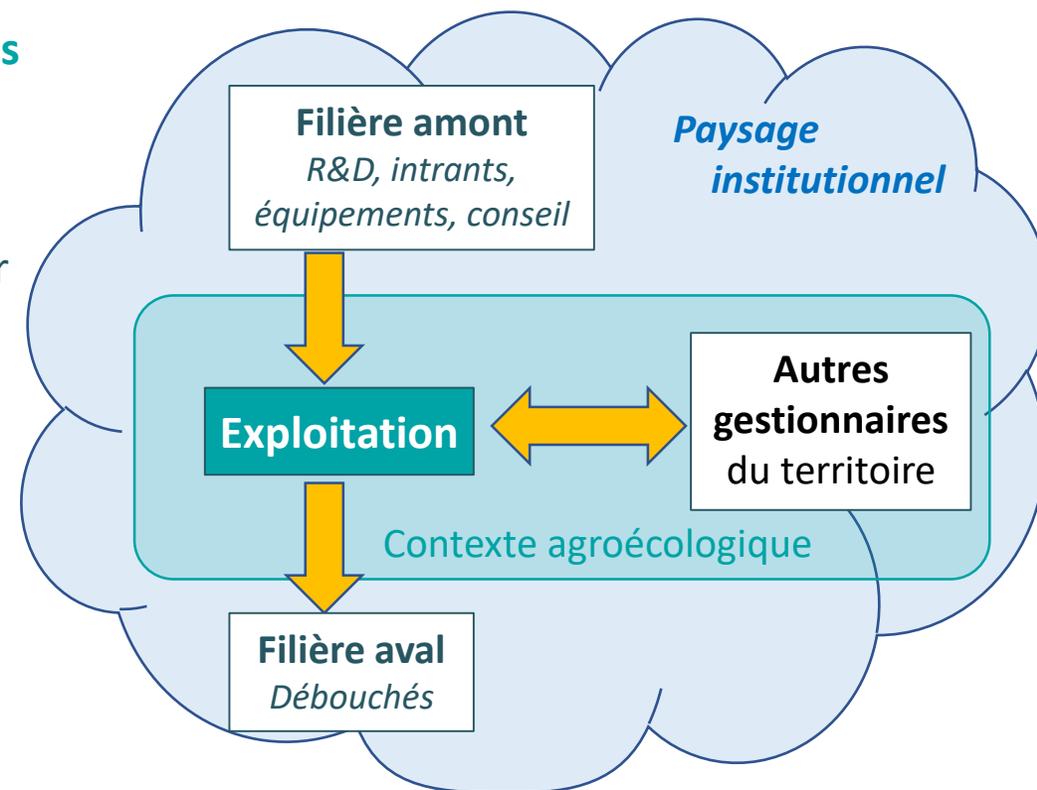
## Déterminant majeur de la transition vers une agriculture productiviste

- ⇒ spécialisation des systèmes de production
- ⇒ perte de diversité végétale

## Des politiques ambitieuses sont nécessaires pour sortir des verrouillages systémiques de l'agriculture conventionnelle

Éléments justifiant un accompagnement de la diversification végétale par des politiques publiques

-  • Effets négatifs de l'usage de pesticides (pollution, environnement, santé)  
⇒ Outils réglementaires (interdiction) ou incitatifs (taxation)
-  • Bénéfices écologiques de la diversification  
⇒ Incitations (subventions, Paiements pour services environnementaux, crédits compensation ou crédits carbone)
-  • Favoriser l'innovation dans les filières et la coordination territoriale



→ **Besoin de concevoir et d'évaluer les politiques publiques**

➤ Focus : L'action collective dans les filières et les territoires  
La Politique agricole commune

➤ Focus : L'action collective dans les filières et les territoires  
La Politique agricole commune

Mourad Hannachi (INRAE)

*Sciences de gestion*

*Membre du comité d'experts*

## > Un enjeu d'articulation amont-aval

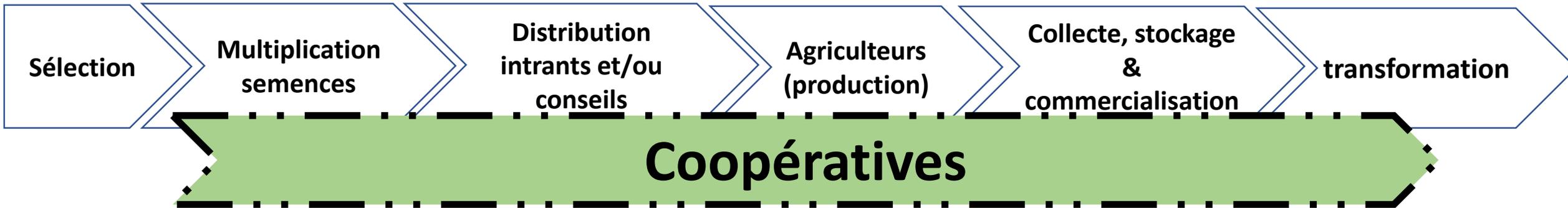
### Les activités d'une filière agricole



## > Un enjeu d'articulation amont-aval

### La coopérative courroie de transmission des filières agricoles & des territoires agricoles

#### Les activités d'une filière agricole

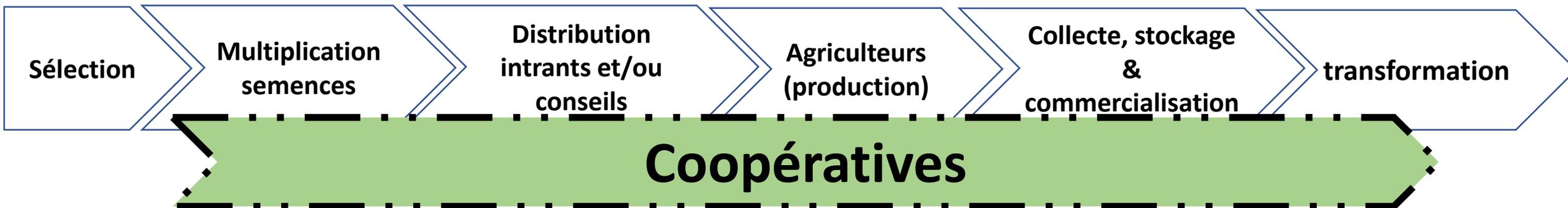


Liens et activités dans l'amont <==== Coopératives =====> Liens et activités dans l'aval  
statutairement les coopératives sont des collectifs d'agriculteurs (sociétaires)

## > Un enjeu d'articulation amont-aval

### La coopérative courroie de transmission des filières agricoles & des territoires agricoles

#### Les activités d'une filière agricole



Liens et activités dans l'amont <==== Coopératives =====> Liens et activités dans l'aval  
statutairement les coopératives sont des collectifs d'agriculteurs (sociétaires)

#### Rôle des coopératives pour la diversification

Analyse sur 14 ans dans le Sud de l'Italie (8 régions, 70 % de la SAU Agricole en blé dur) (Di Falco *et al*, 2008) :

##### (+) il y a de coopératives dans une région (densité)

==> (+) il y a de diversité de variétés de blés cultivés dans la région

==> (+) la rentabilité est importante (plus de liens avec l'amont et ↓ coûts des intrants)

==> (+) la valorisation est meilleure (meilleur lien avec les débouchés)

==> (+) l'accroissement des rendements dans le temps est important

## > (Re)Créer des liens entre acteurs des filières et des territoires

### Rôle des coopératives pour la gestion collective des bioagresseurs

Données de 538 fermes de production du Kiwi en Chine (Xu *et al.*, 2021) :

**Les agriculteurs participants à une coopérative participent plus** (corrélation) **à la gestion collective des bioagresseurs** (meilleures coordinations et informations sur le bioagresseur, les méthodes de gestion collectives, ce que font les autres agriculteurs)

# > (Re)Créer des liens entre acteurs des filières et des territoires

## Rôle des coopératives pour la gestion collective des bioagresseurs

Données de 538 fermes de production du Kiwi en Chine (Xu *et al.*, 2021) :

**Les agriculteurs participants à une coopérative participent plus** (corrélation) **à la gestion collective des bioagresseurs** (meilleures coordinations et informations sur le bioagresseur, les méthodes de gestion collectives, ce que font les autres agriculteurs)

## La recherche publique a un rôle particulier pour relier les acteurs

- difficulté d'évaluer la pertinence & la faisabilité « in lab »
  - Intérêt d'explorer les solutions in « the field » avec des expérimentations transdisciplinaires :
- **Science participative** ([#pertinence](#)) : corridors d'habitats semi-naturels pour la lutte antiparasitaire aux Pays-Bas (Steingrover *et al.*, 2010)
  - **Modélisation d'accompagnement** ([#faisabilité](#)) : corridors d'habitats semi-naturels pour la régulation de bioagresseurs des pommiers en France (Salliou *et al.*, 2019)
  - **Recherche-Action** ([#pertinence & faisabilité](#)) : en France, Observatoire du déploiement des vignes résistantes ; Club professionnels-chercheurs pour le suivi/contrôle des variétés de colza résistantes (Delmotte *et al.*, 2021 ; Hannachi *et al.*, 2021)



➤ Focus : L'action collective dans les filières et les territoires  
La Politique agricole commune

Sophie Thoyer (INRAE)

*Économie agricole et environnementale*

*Membre du comité d'experts*

## > Le verdissement de la PAC : un constat d'échec ?

- **Le tournant majeur de 2014** – 3 mesures de verdissement en faveur de la diversification
  - **Diversification des cultures**
  - Maintien des **prairies permanentes**
  - **Taux minimal de 5 % de « surfaces d'intérêt écologique »** (haies, arbres, cultures fixatrices d'azote, mares...) sur les terres arables

## > Le verdissement de la PAC : un constat d'échec ?

- **Le tournant majeur de 2014** – 3 mesures de verdissement en faveur de la diversification
  - **Diversification des cultures**
  - Maintien des **prairies permanentes**
  - **Taux minimal de 5 % de « surfaces d'intérêt écologique »** (haies, arbres, cultures fixatrices d'azote, mares...) sur les terres arables
- **Un bilan décevant :**
  - **Seulement 60 % de la SAU européenne** concernée par les obligations de verdissement
  - Impact net très faible : **changements sur moins de 5 % de la SAU européenne** (CCE, 2017)



## > Le verdissement de la PAC : un constat d'échec ?

- **Le tournant majeur de 2014** – 3 mesures de verdissement en faveur de la diversification

- Diversification des cultures
- Maintien des prairies permanentes
- Taux minimal de 5 % de « surfaces d'intérêt écologique » (haies, arbres, cultures fixatrices d'azote, mares...) sur les terres arables

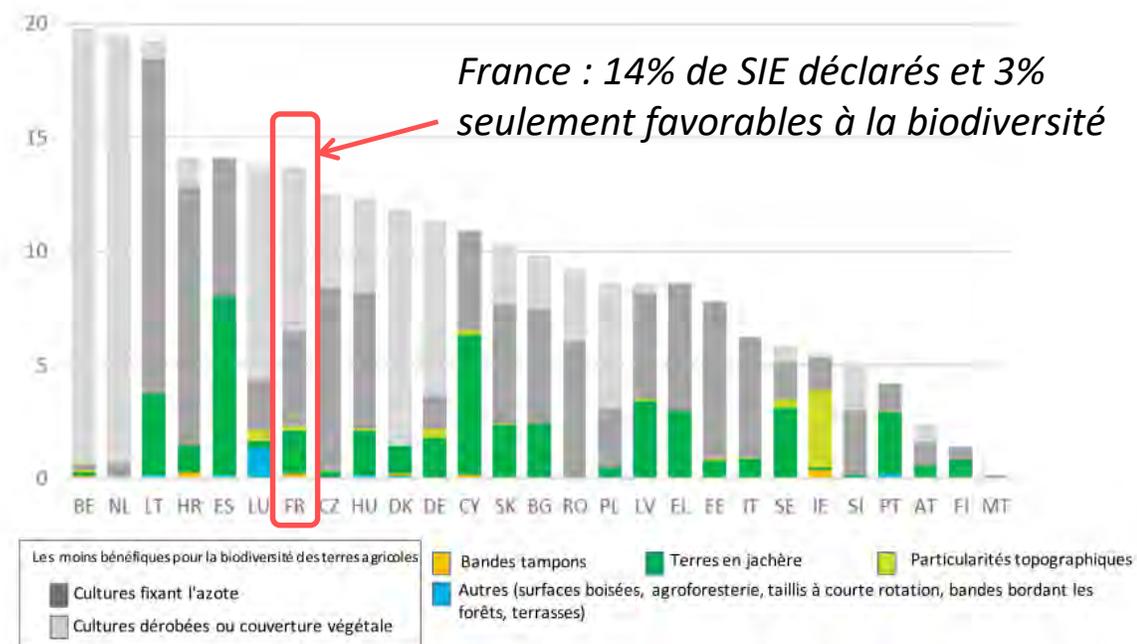
- **Un bilan décevant :**

- Seulement 60 % de la SAU européenne concernée par les obligations de verdissement
- Impact net très faible : **changements sur moins de 5 % de la SAU européenne** (CCE, 2017)

- **Grand écart entre ambition affichée et résultats observés :**

- **Négociation** entre Etats-membres, **dérogations, exceptions**
- Des **obligations peu contraignantes**, déjà respectées

Types de SIE en pourcentage (%) des terres arables, 2017



Source: Cour des comptes européenne, sur la base de données de la Commission.



# > Le verdissement de la PAC : un constat d'échec ?

- **Le tournant majeur de 2014** – 3 mesures de verdissement en faveur de la diversification
  - Diversification des cultures
  - Maintien des prairies permanentes
  - Taux minimal de 5 % de « surfaces d'intérêt écologique » (haies, arbres, cultures fixatrices d'azote, mares...) sur les terres arables

- **Un bilan décevant :**

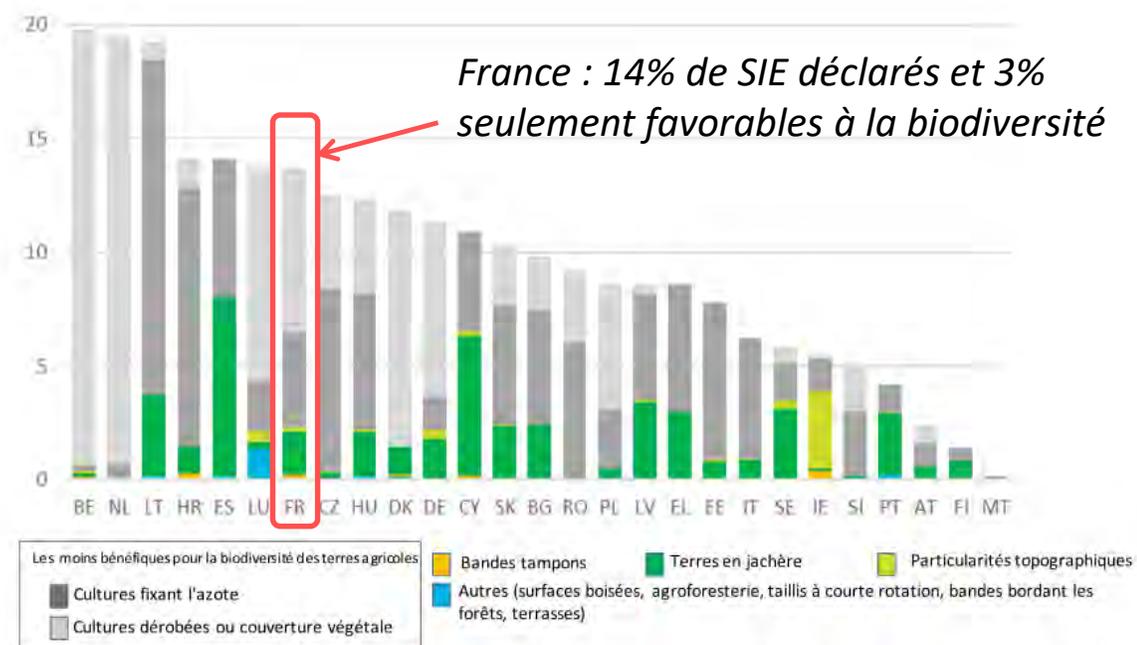
- Seulement 60 % de la SAU européenne concernée par les obligations de verdissement
- Impact net très faible : **changements sur moins de 5 % de la SAU européenne** (CCE, 2017)

- **Grand écart entre ambition affichée et résultats observés :**

- **Négociation** entre Etats-membres, **dérogations, exceptions**
- Des **obligations peu contraignantes**, déjà respectées

**Une PAC « défensive » plutôt qu'offensive sur l'encouragement à la diversification**

Types de SIE en pourcentage (%) des terres arables, 2017



Source: Cour des comptes européenne, sur la base de données de la Commission.

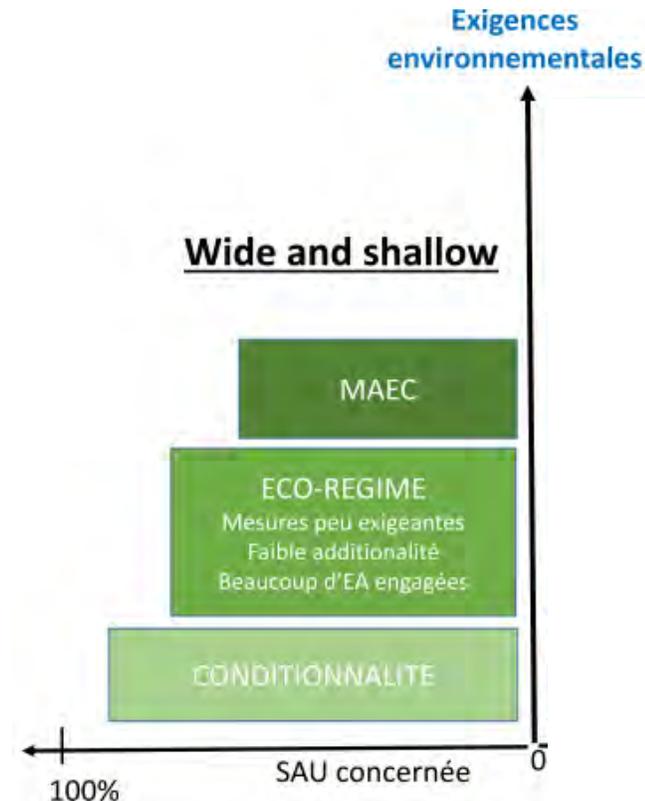
## > La PAC de 2023 : une deuxième chance?

- **Le nouveau modèle de mise en œuvre : les plans stratégiques nationaux**
  - **plus de responsabilité pour les Etats membres**
  - mais aussi **plus de marge de manœuvre** pour cibler leurs priorités
  - **le PSN français renforce les objectifs de diversification** dans son éco-régime : voie « Diversification », « Eléments favorables à la biodiversité » et « Bonus haie »



## > La PAC de 2023 : une deuxième chance?

- **Le nouveau modèle de mise en œuvre : les plans stratégiques nationaux**
  - plus de responsabilité pour les Etats membres
  - mais aussi plus de marge de manœuvre pour cibler leurs priorités
  - le PSN français renforce les objectifs de diversification dans son éco-régime : voie « Diversification », « Eléments favorables à la biodiversité » et « Bonus haie »
- **Le choix des plans stratégiques nationaux :**
  - Des exigences environnementales modérées et un engagement très large (« wide and shallow »)



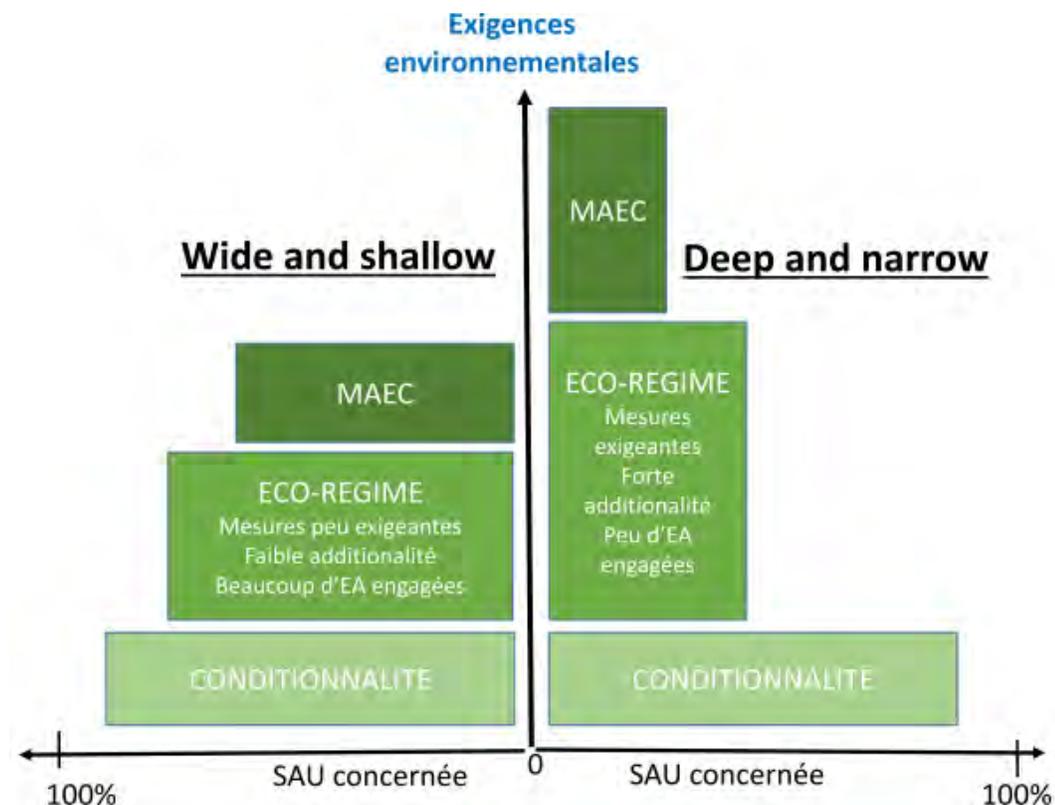
# > La PAC de 2023 : une deuxième chance?

- **Le nouveau modèle de mise en œuvre : les plans stratégiques nationaux**

- plus de responsabilité pour les Etats membres
- mais aussi plus de marge de manœuvre pour cibler leurs priorités
- le PSN français renforce les objectifs de diversification dans son éco-régime : voie « Diversification », « Eléments favorables à la biodiversité » et « Bonus haie »

- **Le choix des plans stratégiques nationaux :**

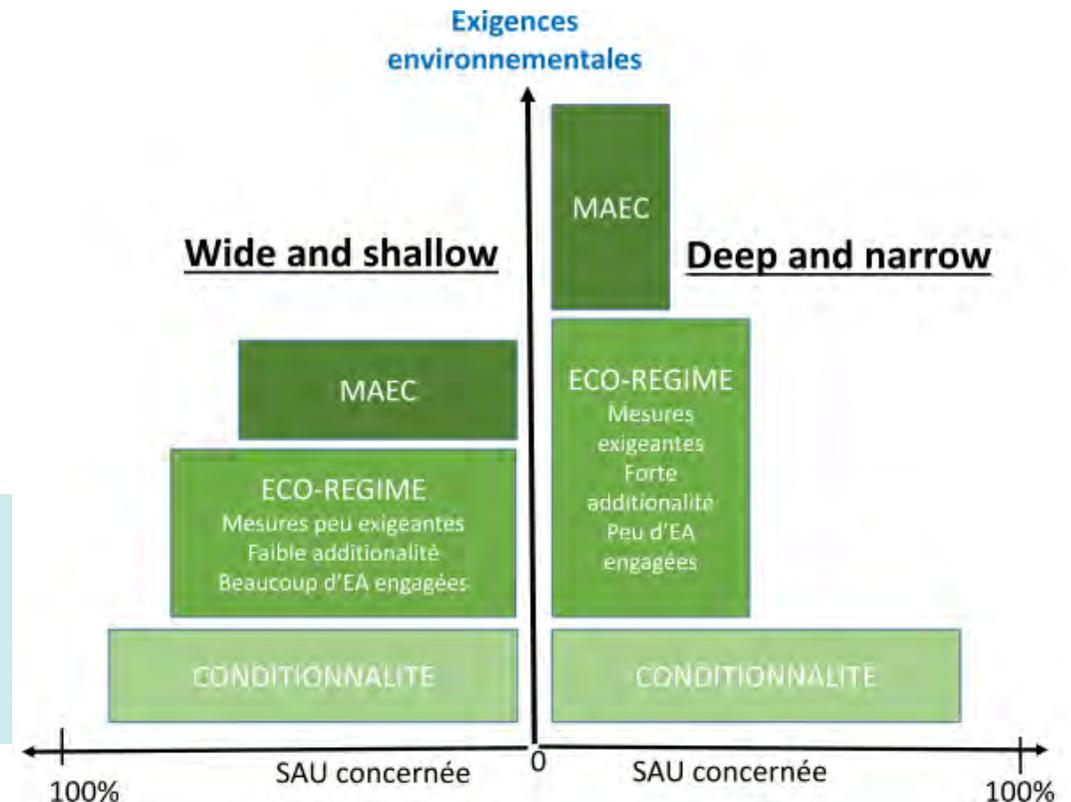
- Des exigences environnementales modérées et un engagement très large (« wide and shallow »)
- Des exigences environnementales élevées mais un engagement moindre (« deep and narrow »)



# > La PAC de 2023 : une deuxième chance?

- **Le nouveau modèle de mise en œuvre : les plans stratégiques nationaux**
  - plus de responsabilité pour les Etats membres
  - mais aussi plus de marge de manœuvre pour cibler leurs priorités
  - le PSN français renforce les objectifs de diversification dans son éco-régime : voie « Diversification », « Eléments favorables à la biodiversité » et « Bonus haie »
- **Le choix des plans stratégiques nationaux :**
  - Des exigences environnementales modérées et un engagement très large (« wide and shallow »)
  - Des exigences environnementales élevées mais un engagement moindre (« deep and narrow »)

Pas de consensus scientifique fort sur l'efficacité relative de ces deux stratégies  
Mais des inquiétudes sur la capacité de la future PAC à améliorer la biodiversité (Pe'er et al, 2022)



Colloque de restitution de l'Expertise scientifique collective

20 octobre 2022

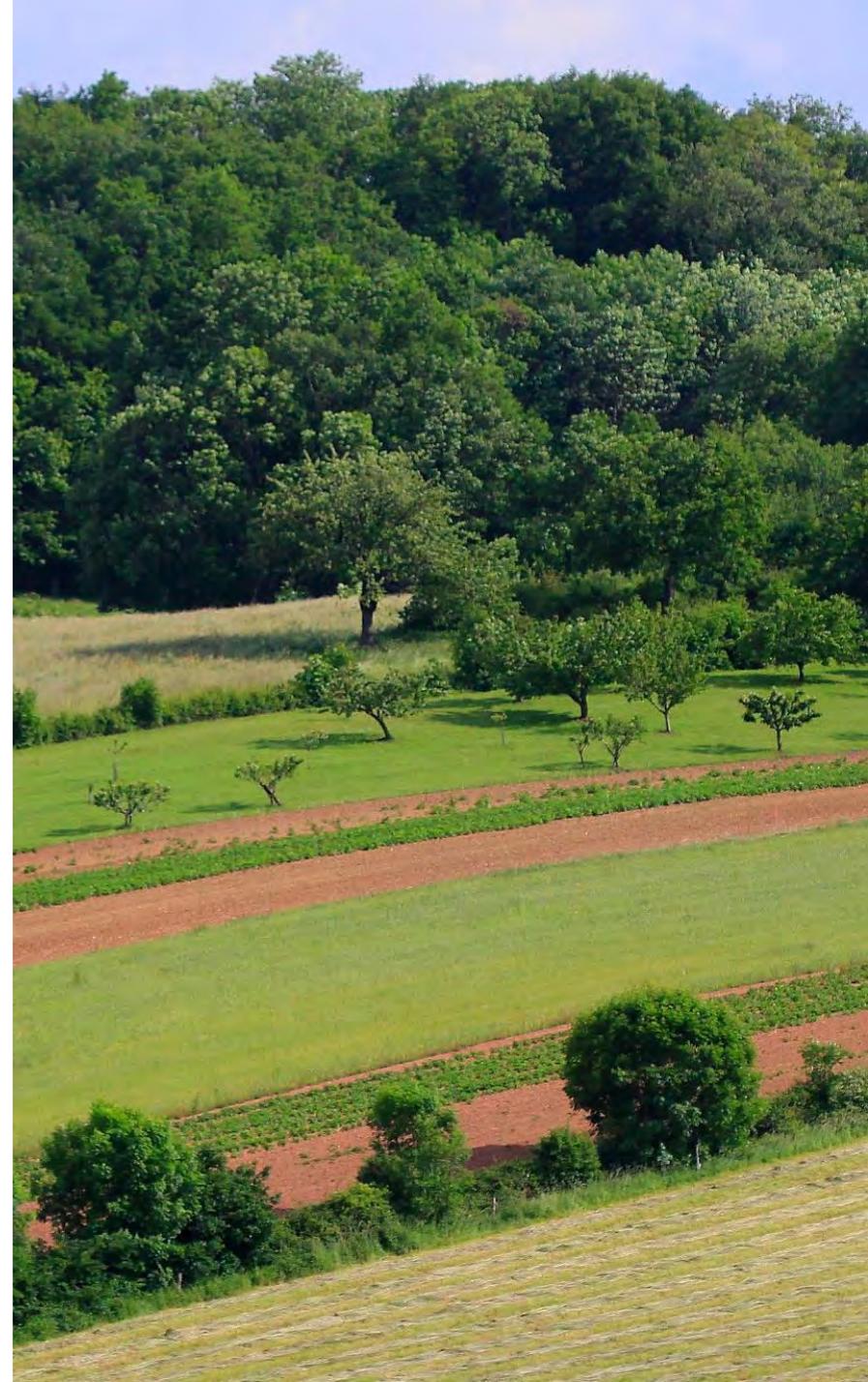
## ➤ Questions & Réponses



**INRAE**



Direction de l'Expertise,  
de la Prospective  
et des Études



➤ Les systèmes ultramarins, laboratoires grandeur nature de diversification végétale

Jean-Philippe Deguine (Cirad)

*Agroécologie et protection des cultures*

*Membre du comité d'experts*

# > Pourquoi un Focus sur les systèmes ultramarins ?

## → 5 Départements et régions d'outre-mer (DROM) avec des spécificités

- **Spécificités écologiques et biogéographiques**

- Milieu tropical (insularité)
- Grande biodiversité

- **Spécificités géographiques, socio-économiques et politiques**

- Dépendance politique, économique, sectorielle + isolement
- Petite taille de marché

### → Laboratoire à ciel ouvert

- élargit le gradient de diversification
- élargit le contexte socio-économique
- élargit le gradient climatique (conditions, évènements)



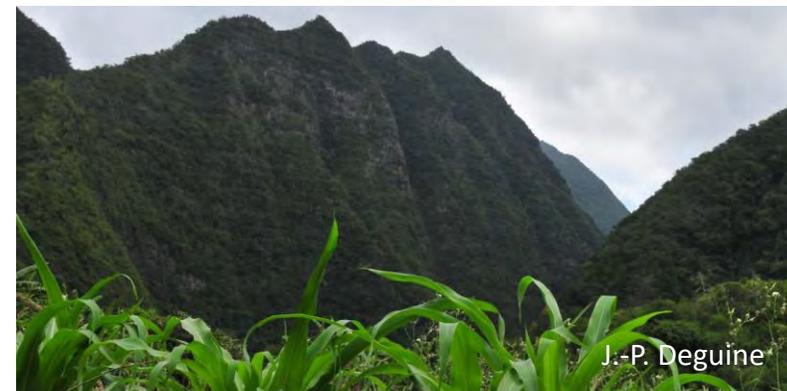
# > Diversité dans les écosystèmes naturels et diversité des agroécosystèmes

## 1. Des écosystèmes naturels remarquables



# > Diversité dans les écosystèmes naturels et diversité des agroécosystèmes

## 1. Des écosystèmes naturels remarquables



## 2. Un gradient de diversification dans les agroécosystèmes

### Les monocultures



### Les systèmes diversifiés



### Les systèmes ultra-diversifiés



# > Un gradient de diversification végétale dans les agroécosystèmes

## Les monocultures



**Système industriel :**  
**cultures d'exportation héritées du**  
**système de plantation**

**40 % de la SAU**

**Monocultures : canne à sucre, banane**

**Grandes parcelles**

**Nombreuses études (Révolution verte)**

**Dépendance extérieure, faible compétitivité**

**Inégalité de la répartition des revenus**

# ➤ Un gradient de diversification végétale dans les agroécosystèmes

## Les systèmes diversifiés



**Système familial : polyculture basée sur les cultures fruitières et maraîchères**

**70 % des exploitations dans les DROM**

**Diversification très fréquente (associations, agroforesterie)**

**Taille de parcelles réduite (<2 ha)**

**Des MAEC génériques et spécifiques (haies, implantation plantes pièges, bandes fleuries, enherbement)**

**Passage à l'Agriculture Biologique**

# ➤ Un gradient de diversification végétale dans les agroécosystèmes

## Les systèmes ultra-diversifiés



**Système traditionnel (héritage culturel) :**  
polyculture / polyélevage dans les périphéries  
des habitations, des villages et des villes

**Très nombreux, surfaces réduites**

**Résistent à l'intensification de l'agriculture**

**Transmission orale des connaissances**

**Etagement végétal**

**Tous les types de diversification végétale**

# > Pourquoi cette diversification végétale ?

Cette diversité n'est pas conçue en premier lieu pour la protection des cultures ni pour réduire les pesticides, mais :

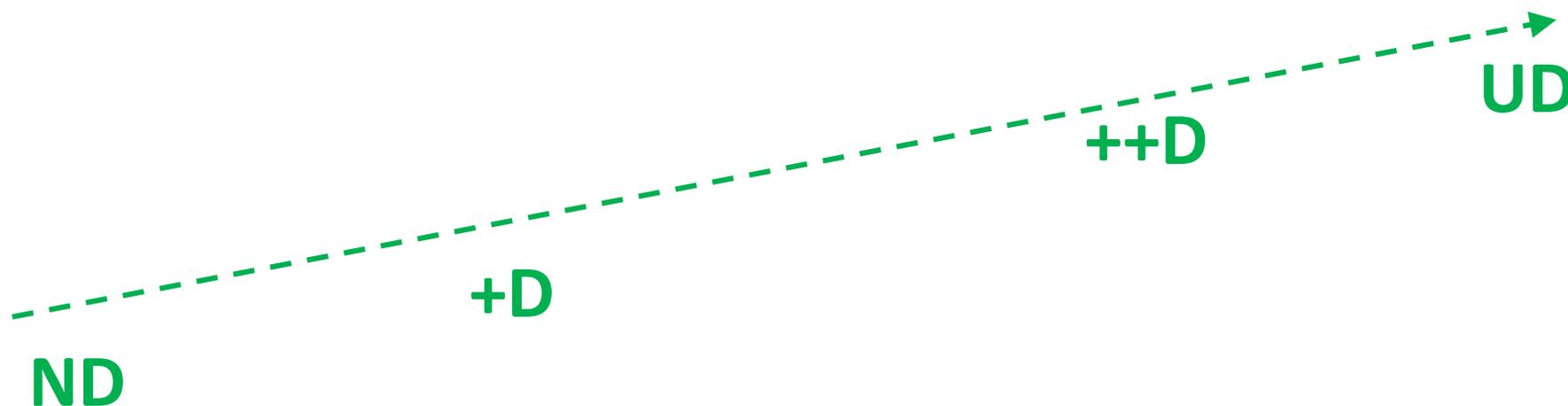
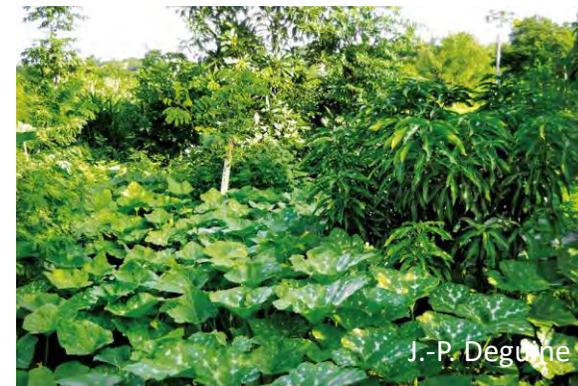
**Les monocultures**



**Les systèmes diversifiés**



**Les systèmes ultra-diversifiés**



**Diversité  
végétale**

# > Pourquoi cette diversification végétale ?

Cette diversité n'est pas conçue en premier lieu pour la protection des cultures ni pour réduire les pesticides, mais :

Les monocultures

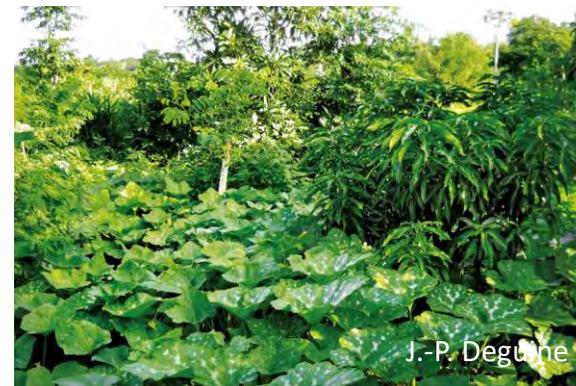


Les systèmes diversifiés

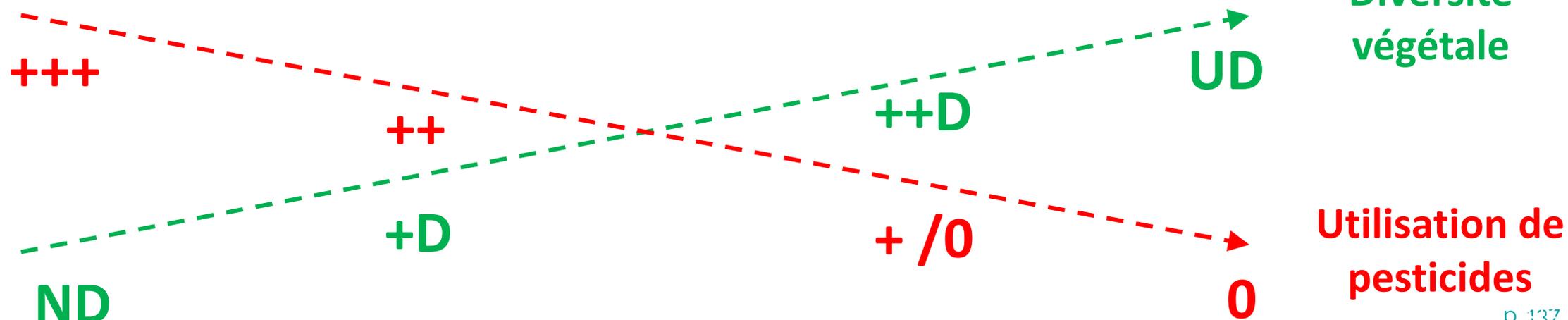


J.-P. Deguine

Les systèmes ultra-diversifiés



J.-P. Deguine



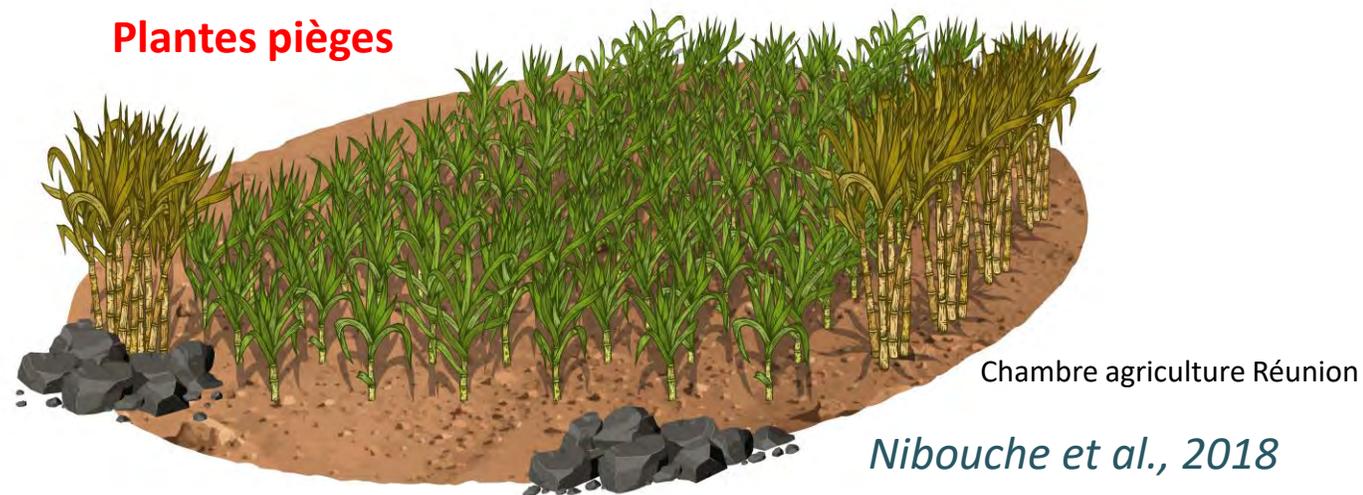
## > Systèmes non diversifiés

**Consommation importante de pesticides** (*cf.* glyphosate / Réunion ; chlordécone / Antilles)



## > Systèmes non diversifiés

Consommation importante de pesticides (cf. glyphosate / Réunion ; chlordécone / Antilles)



### Associations



**Enjeu : faire évoluer et diversifier ces systèmes**

## > Pourquoi cette diversification végétale dans les systèmes diversifiés ?

Cette diversité est conçue en premier lieu pour assurer une meilleure autonomie alimentaire



- **Mieux répartir les risques de production** (aléas naturels et marchands) et mieux asseoir des revenus satisfaisants.
- Par habitude ou peur du risque, les **pesticides sont souvent utilisés** (mais gradient)

**Enjeu** : conforter et accompagner la diversification des cultures dans ces systèmes diversifiés pour réduire les pesticides

# ➤ Effets de la diversification végétale dans les systèmes diversifiés

La littérature scientifique montre que :

1. La diversité cultivée est un levier majeur qui favorise les régulations naturelles des bioagresseurs et permet de réduire les pesticides.
2. La diversification végétale dans ces systèmes favorise la biodiversité associée animale et végétale.
3. La diversification végétale fournit globalement davantage de services écosystémiques.
4. Les pratiques doivent s'insérer de manière ordonnée dans une approche systémique et écologique (protection agroécologique des cultures).
5. Les systèmes diversifiés aux Antilles (Guadeloupe, Martinique), comparés aux systèmes monoculturaux, présentent une meilleure qualité biologique des sols.



## > Effets de la diversification végétale dans les systèmes diversifiés



### Exemple : Pratiques de diversification végétale en vergers de manguiers

- Couverture permanente du sol, bandes fleuries, plantes pièges, etc.
- Associées à d'autres pratiques agroécologiques
- Dans une stratégie ordonnée et écologique de protection agroécologique des cultures



# > Effets de la diversification végétale dans les systèmes diversifiés



Suppression des traitements :

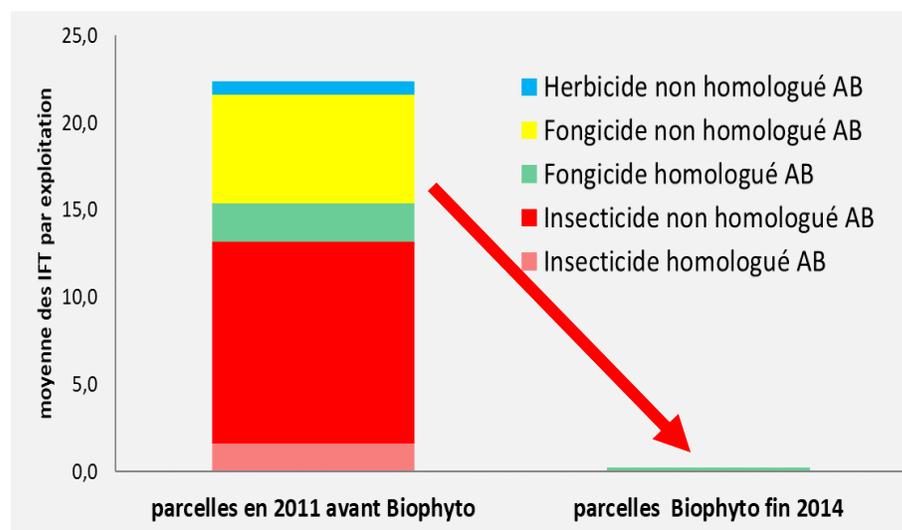
IFT de 22,3 à 0,4

Réduction des coûts de production :

-38 %

## Exemple : Pratiques de diversification végétale en vergers de manguiers

- Couverture permanente du sol, bandes fleuries, plantes pièges, etc.
- Associées à d'autres pratiques agroécologiques
- Dans une stratégie ordonnée et écologique de protection agroécologique des cultures



# > Effets de la diversification végétale dans les systèmes diversifiés



Suppression des traitements :

IFT de 22,3 à 0,4

Réduction des coûts de production :

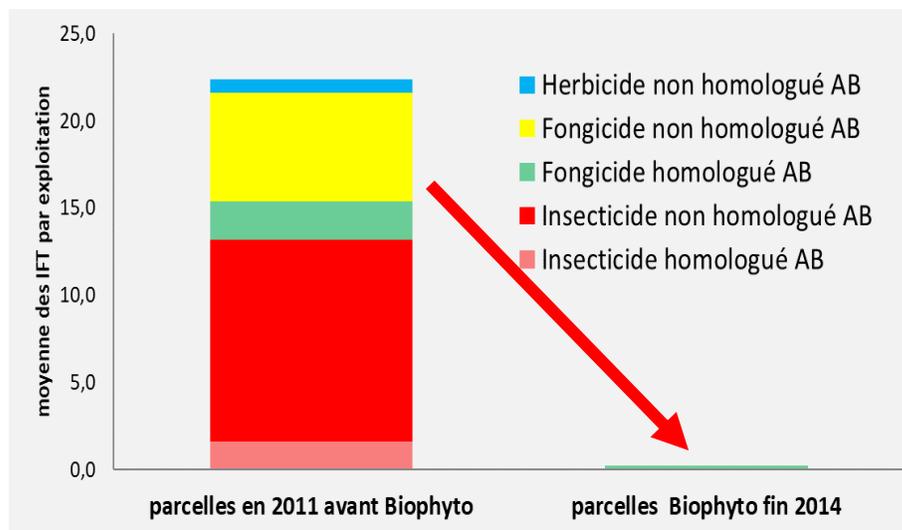
-38 %

Augmentation de la diversité animale et végétale associée :

Ex : > 800 morpho-espèces arthropodes, ¼ parasitoïdes...

## Exemple : Pratiques de diversification végétale en vergers de manguiers

- Couverture permanente du sol, bandes fleuries, plantes pièges, etc.
- Associées à d'autres pratiques agroécologiques
- Dans une stratégie ordonnée et écologique de protection agroécologique des cultures



## > Pourquoi la diversification végétale dans les systèmes ultra-diversifiés?

### Cette diversification est conçue pour donner priorité aux mécanismes naturels

- Les gestionnaires de ces systèmes considèrent que la diversification végétale favorise le **fonctionnement écologique des systèmes et sa protection contre les bioagresseurs**



## > Pourquoi la diversification végétale dans les systèmes ultra-diversifiés?

### Cette diversification est conçue pour donner priorité aux mécanismes naturels

- Les gestionnaires de ces systèmes considèrent que la diversification végétale favorise le **fonctionnement écologique des systèmes et sa protection contre les bioagresseurs**
- **Convergence entre systèmes basés sur la biodiversité végétale** : jardins créoles, jardins mahorais, jardins guyanais, permaculture, jardins solidaires, jardins en ville, exploitations familiales AB...
- **Lieux d'échanges**, de transmission de savoirs, de solidarité...

**Enjeu : sauvegarder ces systèmes traditionnels et s'en inspirer**



## > Verrous et leviers de la diversification des systèmes

Des verrouillages de diverses natures et à différents niveaux se cumulent, se combinent et contraignent la généralisation de la diversification dans les DROM

- **Inertie des systèmes industriels** même si des initiatives sont entreprises
- **Fragilité des systèmes diversifiés et des systèmes ultradiversifiés**
  - Défaut de fourniture **d'agroéquipements** adaptés au milieu tropical et de petite échelle
  - Défaut de **références techniques et de conseil** pour de nombreuses cultures orphelines
  - **Connaissances systémiques difficilement transférables** (portées par des individus en marge du système agricole)
  - Des **soutiens publics inégaux par filière** (en défaveur des filières vivrières) et **par type d'exploitation** (en défaveur des petites exploitations)



# ➤ Quels enseignements tirés de l'analyse des DROM ? (1/2)

## Laboratoire grandeur nature :

### 1. Des modèles de diversification :

- systèmes diversifiés (exploitation, paysage)
- systèmes ultra-diversifiés (système de culture)

### 2. Des résultats complémentaires et cohérents / ESCo :

- la diversification a des effets sur : régulation naturelle, réduction pesticides, biodiversité, sols, autres SE
- la diversification doit se considérer dans une approche ordonnée de pratiques agroécologiques
- les systèmes diversifiés contribuent à l'écologisation des paysages agricoles et des systèmes agri-alimentaires
- des verrous similaires de diversification



A. Franck 48

# ➤ Quels enseignements tirés de l'analyse des DROM ? (2/2)

## Laboratoire grandeur nature :

### 3. Des systèmes socialement pertinents et résilients face à des :

- **contraintes structurelles fortes** (diminution et perte d'attractivité de l'activité agricole, pression foncière, pollution des sols, etc.)
- **perturbations externes** (climat, marchand) et **internes** (habitudes alimentaires, accompagnement) révélatrices de l'exacerbation des changements globaux

### 4. Des connaissances complémentaires à acquérir :

- sur les processus biologiques et écologiques
- mais **déséquilibre** études bioéco / socio-éco
- sur les leviers d'action visant à favoriser la diversification des systèmes



INRAE

➤ Perspectives

La diversification face aux grands défis  
environnementaux

# > Quelle place pour la diversification dans la transition vers une agriculture sans pesticides ?



## > Quelle place pour la diversification dans la transition vers une agriculture sans pesticides ?

- La diversification s'accompagne d'une **réduction de l'usage de pesticides**, mais ne garantit pas leur abandon.
- Le levier le plus mis en avant actuellement pour sortir des pesticides de synthèse est le développement de l'Agriculture Biologique (*cf. Green deal*).
  - Mais **rendements plus faibles** que l'agriculture conventionnelle (fertilisation azotée, Gabriel *et al.* 2013)
  - Favorable à la **biodiversité** en comparaison avec l'agriculture conventionnelle, mais pas autant que les paysages agricoles diversifiés (Tscharntke *et al.* 2021)

# > Quelle place pour la diversification dans la transition vers une agriculture sans pesticides ?

- La diversification s'accompagne d'une **réduction de l'usage de pesticides**, mais ne garantit pas leur abandon.
  - Le levier le plus mis en avant actuellement pour sortir des pesticides de synthèse est le développement de l'Agriculture Biologique (*cf. Green deal*).
    - Mais **rendements plus faibles** que l'agriculture conventionnelle (fertilisation azotée, Gabriel *et al.* 2013)
    - Favorable à la **biodiversité** en comparaison avec l'agriculture conventionnelle, mais pas autant que les paysages agricoles diversifiés (Tscharntke *et al.* 2021)
- ⇒ La diversification permet de limiter les pertes de rendements en AB (Ponisio *et al.*, 2015) et en amplifie les bénéfices écologiques
- ⇒ La certification AB peut offrir des débouchés et une meilleure valorisation économique des produits issus de la diversification

## Diversification végétale et AB sont complémentaires

⇒ Travaux de recherche nécessaires pour définir le cadre de cette complémentarité



## > La diversification face au changement climatique

- Synthèse scientifique (Rosa-Schleich *et al.* 2019) :  
Les modalités de diversification présentent des effets positifs sur la **séquestration du C et la résilience vis-à-vis des perturbations climatiques.**
- Mélanges de variétés (Reiss & Drinkwater 2018), associations de cultures (Raseduzzaman & Jensen 2017) et ESN dans les paysages (Redhead *et al.* 2020) : **stabilisation des rendements vis-à-vis des variations des conditions climatiques annuelles**
- **Maintien de la biodiversité** dans les ESN en cas d'évènements climatiques ponctuels (Duflot *et al.* 2022)



## > La diversification face au changement climatique

- Synthèse scientifique (Rosa-Schleich *et al.* 2019) :  
Les modalités de diversification présentent des effets positifs sur la **séquestration du C et la résilience vis-à-vis des perturbations climatiques.**
- Mélanges de variétés (Reiss & Drinkwater 2018), associations de cultures (Raseduzzaman & Jensen 2017) et ESN dans les paysages (Redhead *et al.* 2020) : **stabilisation des rendements vis-à-vis des variations des conditions climatiques annuelles**
- **Maintien de la biodiversité** dans les ESN en cas d'évènements climatiques ponctuels (Duflot *et al.* 2022)

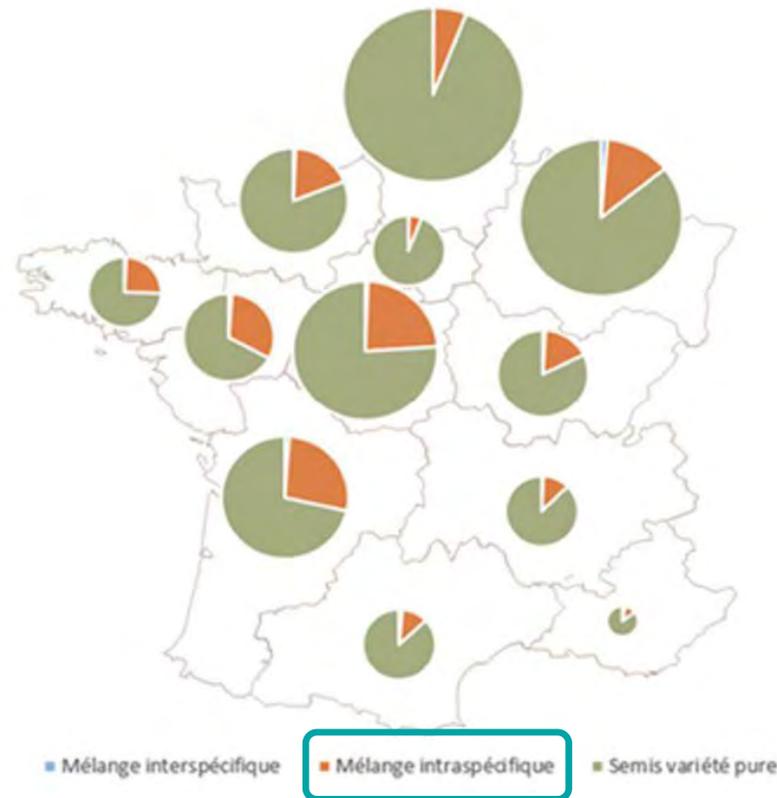
⇒ Synthèse des connaissances à engager pour évaluer la contribution des systèmes diversifiés à la résilience de l'agriculture vis-à-vis du changement climatique et à son atténuation

➤ Jusqu'à quel point diversifier ?

Quelques préconisations issues des études scientifiques

## > Mélanges de variétés

- **Situation actuelle** : 17 % des surfaces de blé semées en mélange de **2 à 3 variétés**
- **Cible** : des mélanges de **4 à 5 variétés** pour assurer la régulation des maladies (Borg *et al.*, 2018)



**Répartition des surfaces semées en variétés pures et en mélanges (en % des surfaces régionales cultivées en blé tendre).**

(©Arvalis-Institut du végétal)

## > Associations d'espèces

- **Situation actuelle : 0.1 à 3% de la sole cultivée** selon les régions
  - grande diversité de mise en œuvre selon les objectifs associés au couvert (cultures de rente, intercultures, prairies temporaires *etc*)
  - principalement des associations céréales-protéagineux
  
- **Cible : des associations de 2 espèces non sensibles aux mêmes bioagresseurs** et complémentaires dans leur utilisation des ressources (Corre-Hellou *et al.* 2014)



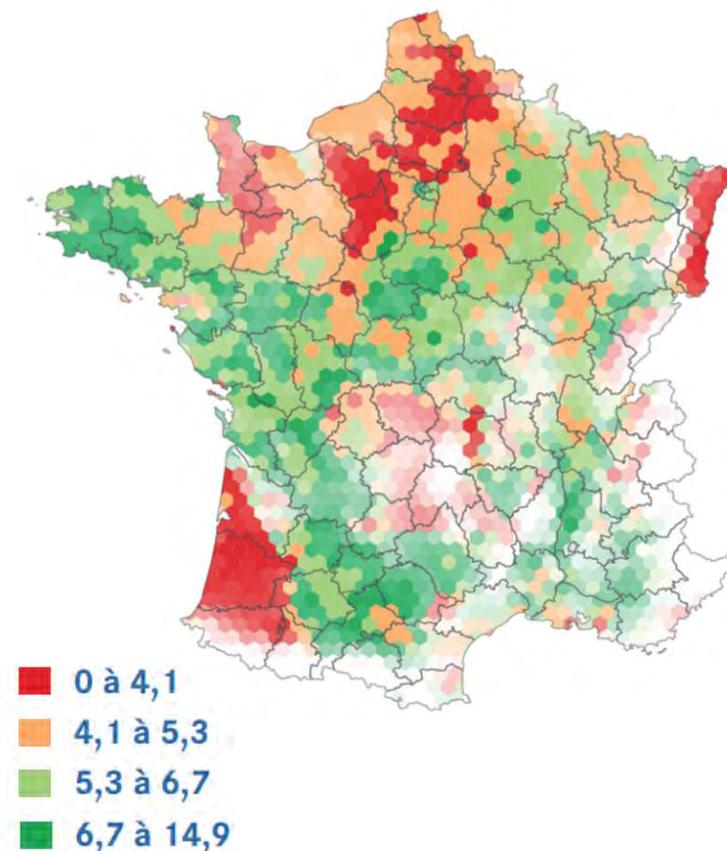
# > Agroforesterie

- **Situation actuelle (*manque de statistiques*) :**
  - agroforesterie intraparcellaire < 1 % SAU en 2010
  - Dynamique de progression lente ~ + 1 000 à 5 000 ha/an vers 2015
- Pas de "cible" dans la littérature, mais ~3,9 Mha de cultures et 2 Mha de prairies seraient aptes à être **complantées d'arbres** (Pellerin *et al.*, 2013)



## > Rotations (grandes cultures)

- **Situation actuelle** : Rotations majoritaires de **2 à 3 ans** (71 % SAU)
  - prédominance des triplets incluant colza, blé et orge
  - 12 % de la SAU en monoculture (maïs, blé, prairie temp.)
- **Cible** : > 3 ans (Bohan *et al.*, 2011 ; 2021)
  - en diversifiant les dates de semis (d'hiver et de printemps),
  - en insérant des **légumineuses**
  - en limitant la **fréquence du colza** pour réguler les adventices

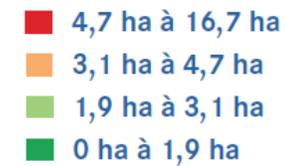
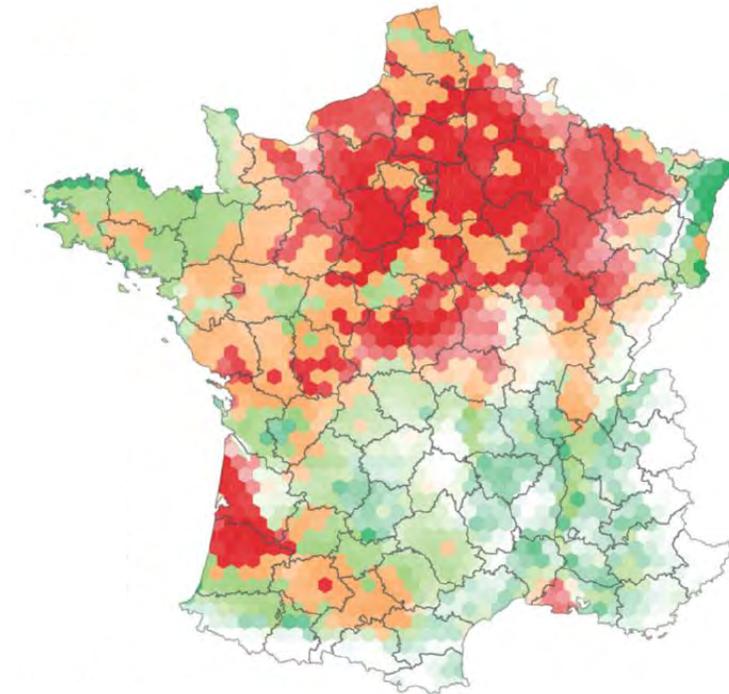


Moyenne du nombre de cultures par exploitation, pondérée par les surfaces

(CEP, 2021)

## > Taille des parcelles

- **Situation actuelle** : taille moyenne de **3,1 ha** avec une **grande hétérogénéité** selon les catégories d'assolements et les cultures (CEP, 2021)
  - 50 % de la SAU est occupée par des grandes parcelles (plus de 6,8 ha)
- **Cible** : ~ 2,8 ha pour favoriser la régulation et la biodiversité associée  
(Sirami *et al.*, 2019)

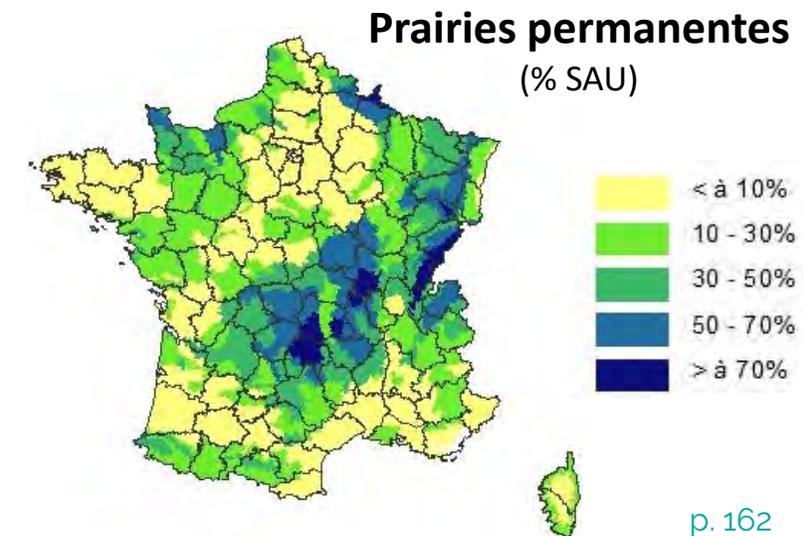
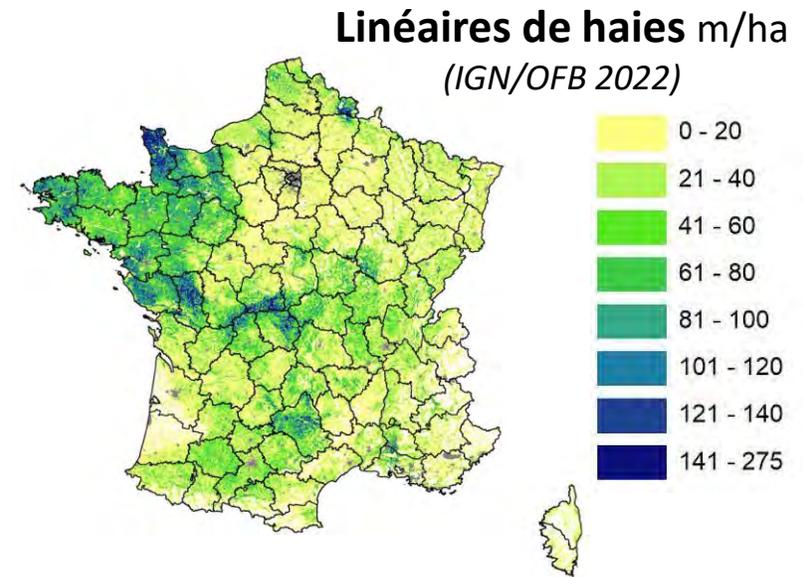


Taille moyenne des parcelles

Centre d'études et de prospective du MASA (2021)

## > Éléments semi-naturels

- **Situation actuelle** : *catégorie complexe, statistiques peu disponibles et grandes disparités régionales*
  - **Linéaires de haies** : - 7 000 km/an malgré les mesures de préservation
  - **Surfaces toujours en herbe** (prairies permanentes, landes...) : < 5% en plaines céréalières
- **Cibles** :
  - ~ **300 m de haies/ha** (Martin *et al.* 2019)
  - ~ **20 % d'ESN** dans les paysages (Tscharntke *et al.* 2002, Thies *et al.* 2005, Garibaldi *et al.* 2021)



## > Jusqu'à quel point diversifier ?

Fossé à combler entre préconisations selon les études scientifiques  
et situation actuelle en France

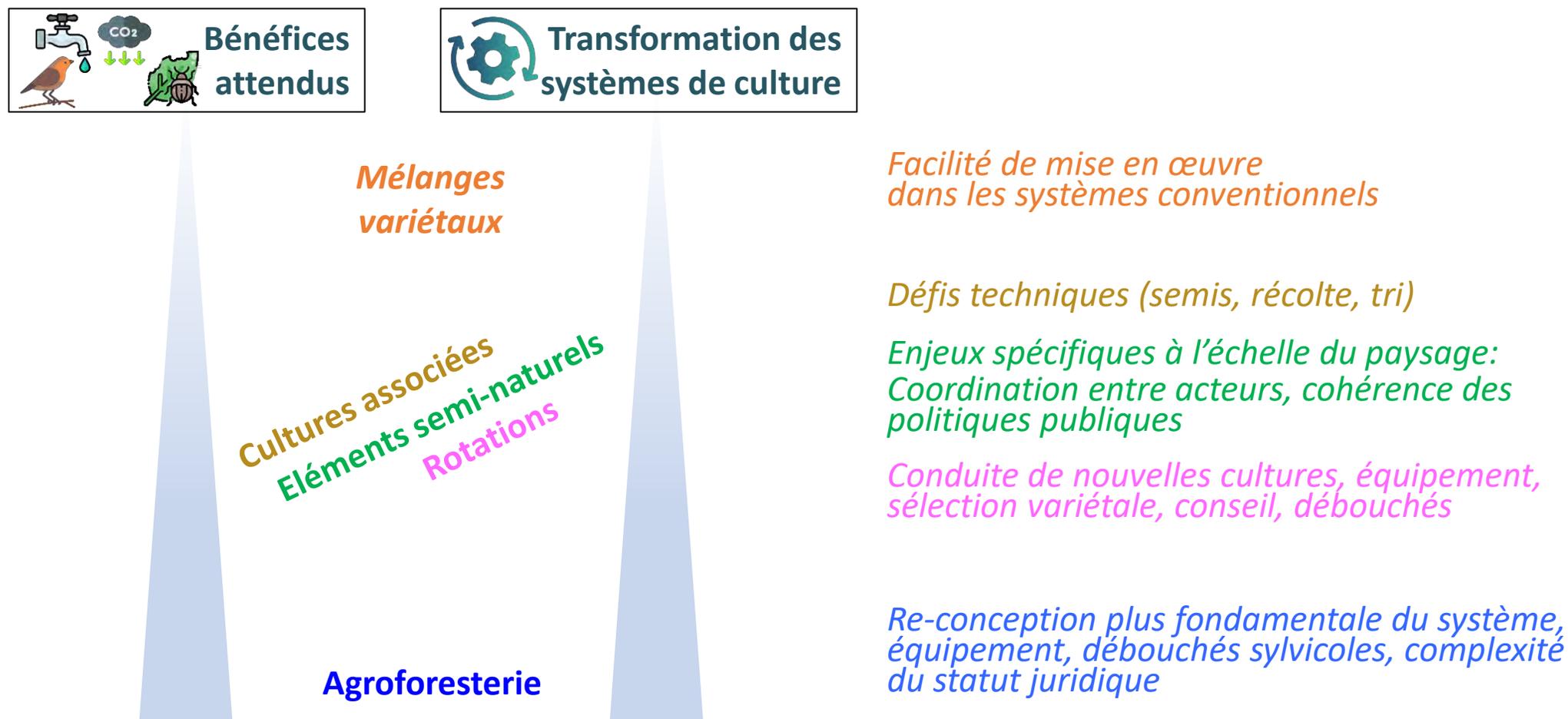


**Des changements majeurs devant être accompagnés**



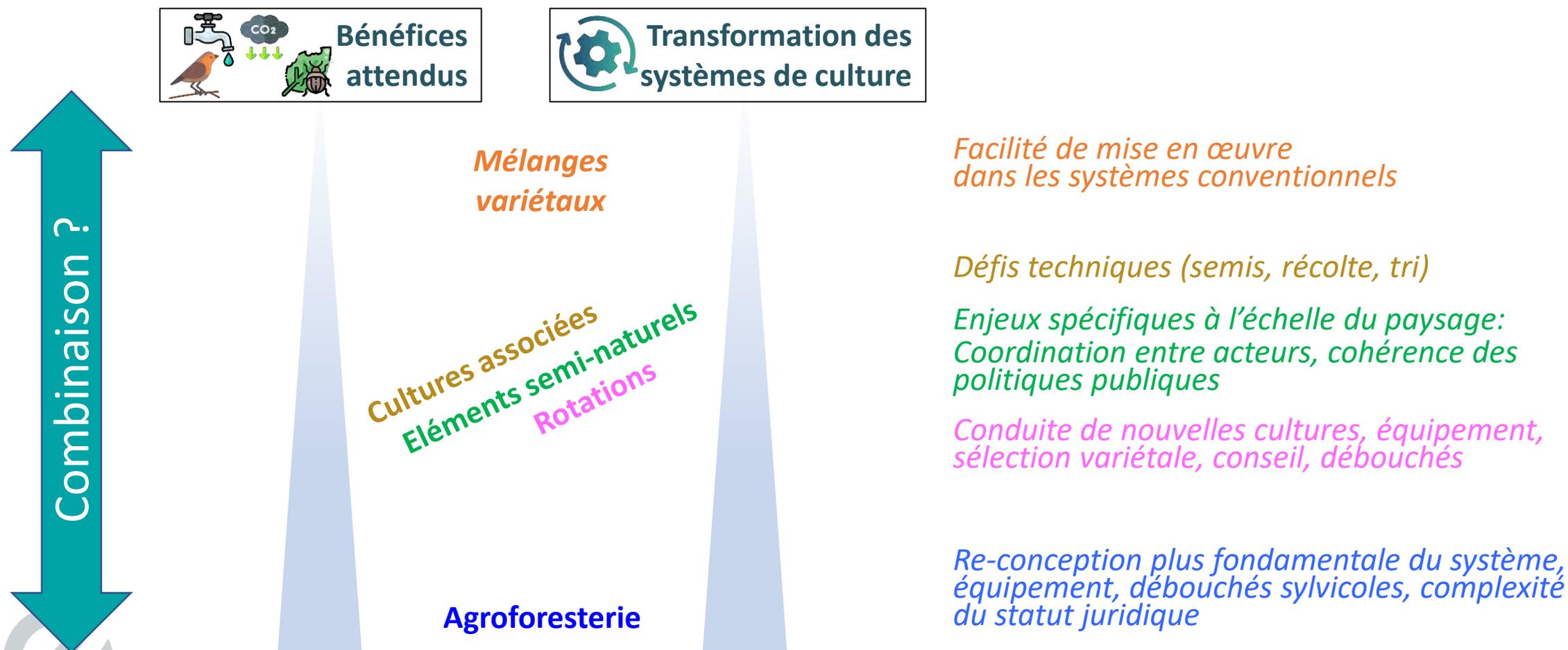
# > Changements : un gradient d'effets, un gradient de facilité d'adoption

En croisant l'ensemble des informations synthétisées, les modalités de diversification peuvent être placées le long de deux gradients:



# > Changements : un gradient d'effets, un gradient de facilité d'adoption

En croisant l'ensemble des informations synthétisées, les modalités de diversification peuvent être placées le long de deux gradients:



INRAE

## ➤ Besoins de recherche

# > Améliorer la compréhension des mécanismes écologiques

- **Cibler les parents pauvres des travaux de recherche :**

Certains bioagresseurs (insectes telluriques, maladies vectorisées, nématodes, gastéropodes, acariens et plantes parasites) ; certaines cultures (cultures maraîchères, cultures de diversification) ; certaines modalités de diversification (diversité des assolements, ESN).

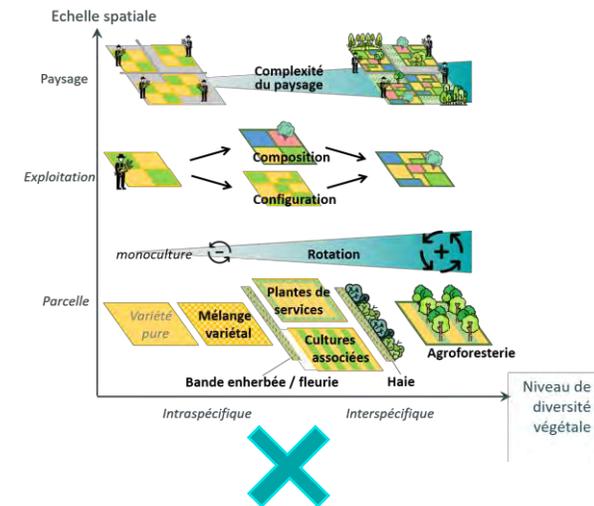
	Adventices	Insectes aériens	Insectes du sol	Maladies vectorisées	Pathogènes aériens	Pathogènes du sol	Nématodes	Autres bioagresseurs*
Mélanges variétaux	positif		?				?	?
Cultures associées				?			?	?
Agroforesterie			?	?				
↗ diversité relations				?				
↗ part d'une culture / paysage	?		?	positif		?	?	
↗ diversité de l'assolement			?	positif		?	?	
↗ taille des parcelles			?	ambigu		ambigu		?
↗ distance entre cultures	ambigu		positif	positif		positif		?
↗ éléments semi-naturels	positif		?				?	positif



ephytia

# ➤ Améliorer la compréhension des mécanismes écologiques

- **Cibler les parents pauvres des travaux de recherche :**  
Certains bioagresseurs (insectes telluriques, maladies vectorisées, nématodes, gastéropodes, acariens et plantes parasites) ; certaines cultures (cultures maraîchères, cultures de diversification) ; certaines modalités de diversification (diversité des assolements, ESN).
- Evaluer les effets de **modalités de diversification en combinaison** pour réguler de **multiples bioagresseurs** sur **différentes cultures**, notamment en comprenant mieux **les mécanismes** impliqués.



## > Améliorer la compréhension des mécanismes écologiques

- **Cibler les parents pauvres des travaux de recherche :**

Certains bioagresseurs (insectes telluriques, maladies vectorisées, nématodes, gastéropodes, acariens et plantes parasites) ; certaines cultures (cultures maraîchères, cultures de diversification) ; certaines modalités de diversification (diversité des assolements, ESN).

- Evaluer les effets de **modalités de diversification en combinaison** pour réguler de **multiples bioagresseurs** sur **différentes cultures**, notamment en comprenant mieux **les mécanismes** impliqués.

⇒ Evaluer les effets dans des conditions d'expérimentation plus adaptées à l'expression des mécanismes, c'est-à-dire dans des paysages agroécologiques

# ➤ Améliorer la compréhension des organisations socio-économiques

pour lever les verrous liés à l'insertion des exploitations dans les filières agricoles...

... et dans les territoires



# > Améliorer la compréhension des organisations socio-économiques

## pour lever les verrous liés à l'insertion des exploitations dans les filières agricoles...

- Déterminants des **choix de protection des cultures** (notamment les facteurs agroécologiques) et évaluation des performances économiques des pratiques de diversification
  - ⇒ **Manque de données en situations réelles et expérimentales**
- Enjeux de diversification, **agroéquipement et outils d'aide à la décision**
- Mécanismes de **répartition de la valeur au sein des filières**, des modèles de production de semences jusqu'au comportement des consommateurs

## ... et dans les territoires



# ➤ Améliorer la compréhension des organisations socio-économiques

## pour lever les verrous liés à l'insertion des exploitations dans les filières agricoles...

- Déterminants des **choix de protection des cultures** (notamment les facteurs agroécologiques) et évaluation des performances économiques des pratiques de diversification
  - ⇒ **Manque de données en situations réelles et expérimentales**
- Enjeux de diversification, **agroéquipement et outils d'aide à la décision**
- Mécanismes de **répartition de la valeur au sein des filières**, des modèles de production de semences jusqu'au comportement des consommateurs

## ... et dans les territoires

- Mécanismes d'**adoption des innovations** et de leur diffusion
- Nouveaux modèles d'**organisation collective de la protection des cultures** (coopération, coordination), en pensant la **place des prairies et de l'élevage** dans les paysages agricoles diversifiés



# ➤ Améliorer la compréhension des organisations socio-économiques

## pour lever les verrous liés à l'insertion des exploitations dans les filières agricoles...

- Déterminants des **choix de protection des cultures** (notamment les facteurs agroécologiques) et évaluation des performances économiques des pratiques de diversification  
⇒ **Manque de données en situations réelles et expérimentales**
- Enjeux de diversification, **agroéquipement et outils d'aide à la décision**
- Mécanismes de **répartition de la valeur au sein des filières**, des modèles de production de semences jusqu'au comportement des consommateurs

## ... et dans les territoires

- Mécanismes d'**adoption des innovations** et de leur diffusion
- Nouveaux modèles d'**organisation collective de la protection des cultures** (coopération, coordination), en pensant la **place des prairies et de l'élevage** dans les paysages agricoles diversifiés

⇒ **Besoin de travaux de recherche pluridisciplinaires à tous les niveaux d'organisation socio-économique**



➤ ... en s'appuyant sur des dispositifs de recherche sur le long terme

**Plateformes expérimentales agroécologiques INRAE**

**Zones ateliers (inter-instituts et organismes) en milieu agricole**

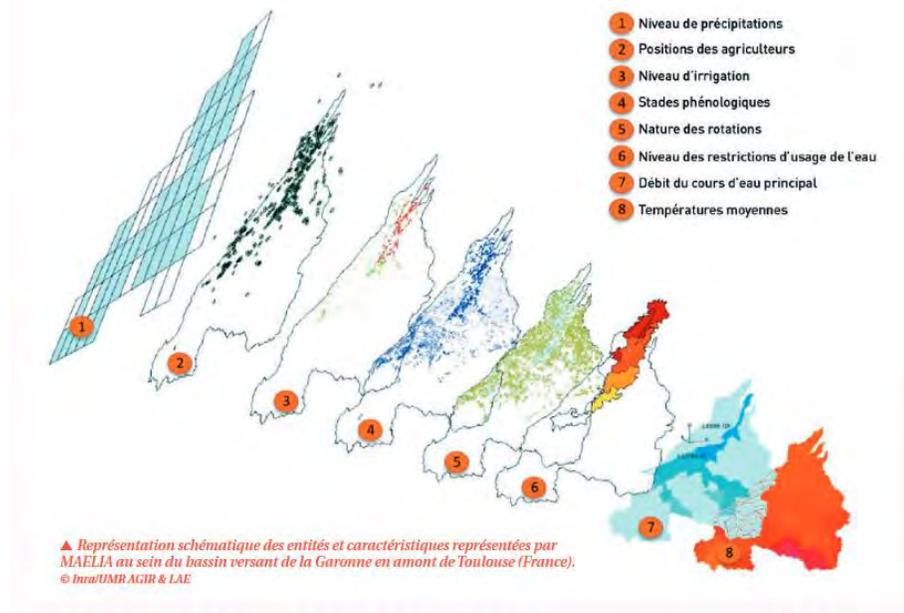
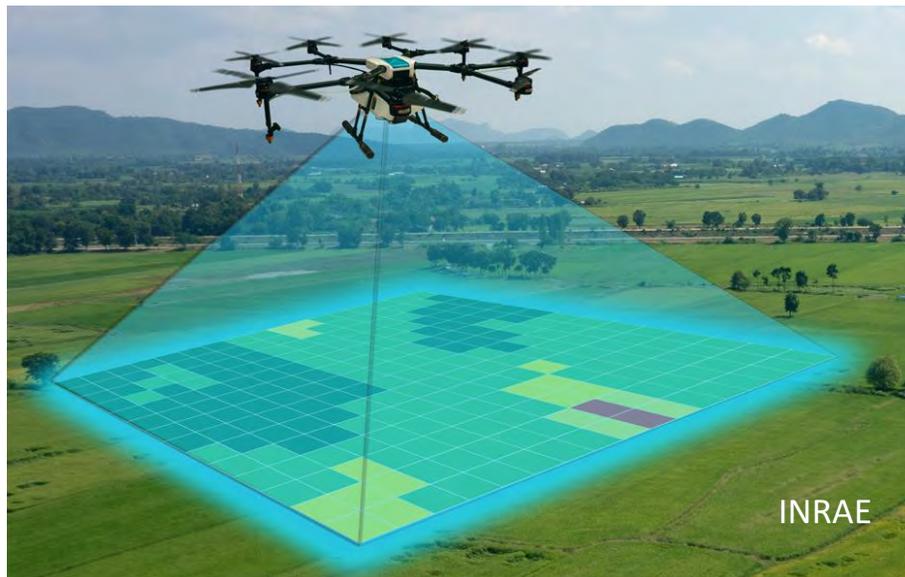
**Living labs = démarche d'innovation participative territoriale**



## > ... et en mobilisant des outils numériques

**Télédétection** pour suivre le déploiement de la diversification à différentes échelles

**Modélisation** pour explorer *in silico* des combinaisons de multiples modalités de diversification et leurs effets agroécologiques et socio-économiques, et ce sur différentes échelles spatio-temporelles



## > ... pour concevoir des politiques publiques favorables à la diversification

- **Evaluation des politiques publiques**

- *Ex ante* : besoin d'expérimentation à large échelle, avec des groupes de contrôle
- *Ex post* : besoin de données riches pour isoler l'effet de la politique publique



# > ... pour concevoir des politiques publiques favorables à la diversification

## • Evaluation des politiques publiques

- *Ex ante* : besoin d'expérimentation à large échelle, avec des groupes de contrôle
- *Ex post* : besoin de données riches pour isoler l'effet de la politique publique



## • Cohérence entre politiques publiques

- à des échelles différentes (locales, nationales, européennes)
- dans des secteurs différents (agriculture, environnement, biodiversité, alimentation)
- Avec le droit / la réglementation

⇒ Synergies, redondances, antagonismes ?



© INRAE



# Diversification végétale

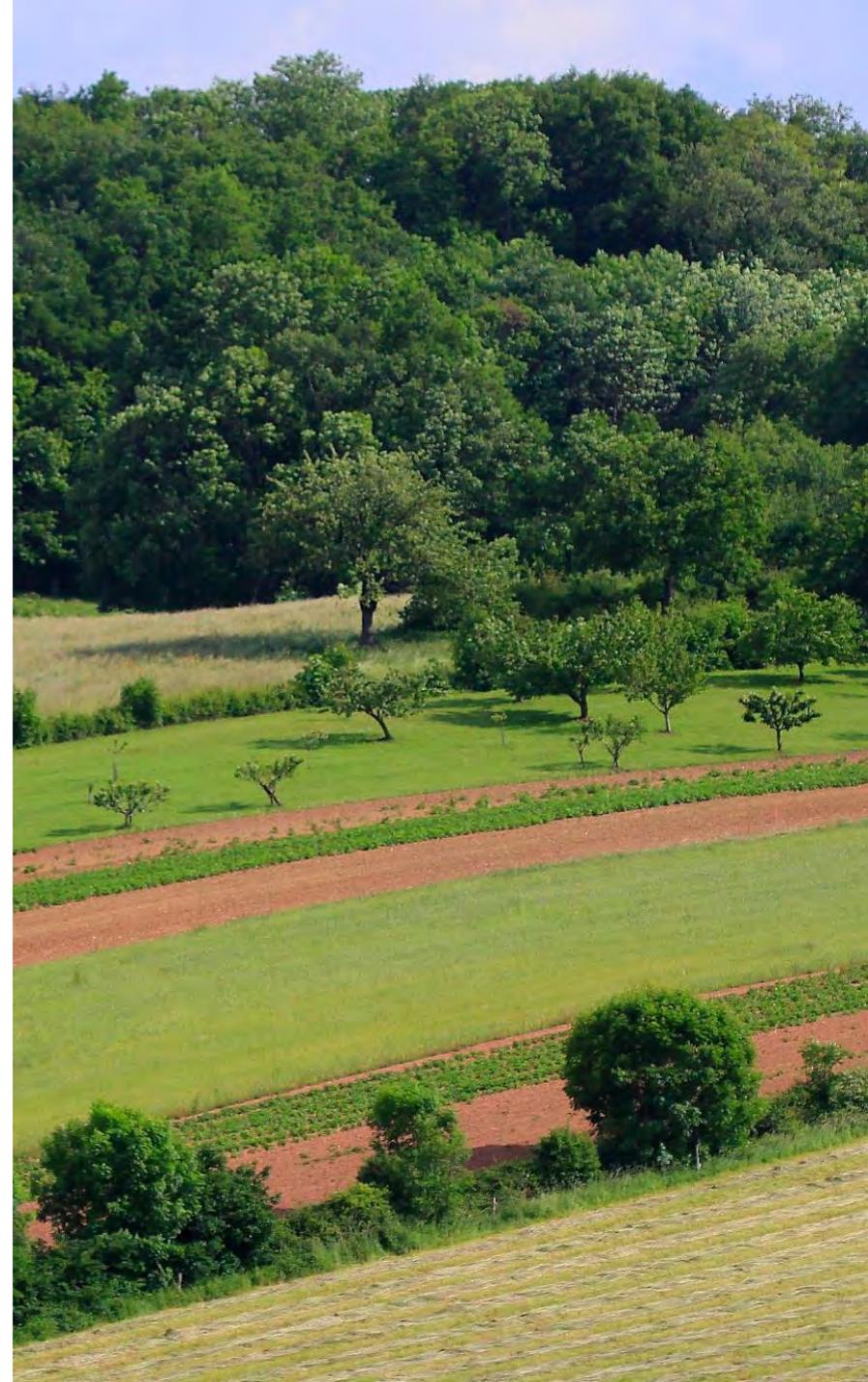
=

Innovation agricole présentant des potentiels forts  
pour contribuer à répondre aux enjeux de la santé globale  
et de la transition alimentaire mondiale



# La diversification végétale :

- Est un levier pour protéger les cultures
- Favorise la biodiversité et les services écosystémiques rendus aux agriculteurs et la société
- Permet d'atteindre des rendements souvent supérieurs aux systèmes peu diversifiés
- A des effets contrastés sur la rentabilité économique des exploitations à court terme...
- ... et se heurte à des verrous au sein des filières agricoles et dans les territoires
- Nécessite des politiques publiques ambitieuses pour un déploiement à large échelle



Colloque de restitution de l'Expertise scientifique collective

20 octobre 2022

## ➤ Questions & Réponses



**INRAE**



Direction de l'Expertise,  
de la Prospective  
et des Études

