

Coût et faisabilité technique des indicateurs

Estimation du **coût d'analyse** et de la **faisabilité technique** pour chaque indicateur (partenaires MicrobioTerre)

Indicateurs du menu Microbioterre		<u>Technicité et appareillage</u> 1 : facile à 3 : difficile	<u>Délai analyse</u> 1 : faible délai à 3 : délai élevé	<u>Coût</u> 1 : coût faible à 3 : coût élevé	Sol sec ou brut	Envoi / réception	<u>Norme disponible</u> 1 : Norme 2 : Méthodes publiées mais pas de norme 3 : Différentes méthodes		
Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)	1	1	1	Sol sec	1	1	
		C 0-50 (%)	2	1	2	Sol sec	1	1	
		C 50-200 (%)	2	1	2	Sol sec	1	1	
		C 200-2000 (%)	2	1	2	Sol sec	1	1	
		C 50-2000 (%)	2	1	2	Sol sec	1	1	
	C oxydé (mg/kg)	1	1	1	Sol sec	1	2	2	
	Azote	N total (%)	1	1	1	Sol sec	1	1	1
		N 0-50 (%)	2	1	2	Sol sec	1	1	1
N 50-200 (%)		2	1	2	Sol sec	1	1	1	
Indicateurs microbiologiques	Abondances	Biomasse microbienne (mg/kg)	3	2	3	Sol brut	2	1	
		18S (copies/g)	2	1	3	Sol brut	3	3	
	Activités	Protéase (nmol/min/g)	2	1	2	Sol brut	3	2	
		LAP (nmol/min/g)	2	1	2	Sol brut	3	2	
		Arylamidase (nmol/min/g)	1	1	2	Sol brut	3	1	
		ABM (mg/kg)	1	1	2	Sol brut	2 à 3	2	
Glucosidase (nmol/min/g)	1	1	2	Sol brut	3	1			

Notation de coût et faisabilité technique :

1 : Coût faible, faisabilité élevée



3 : Coût élevé, faisabilité faible

Microbioterre : De l'indicateur au conseil en agriculture

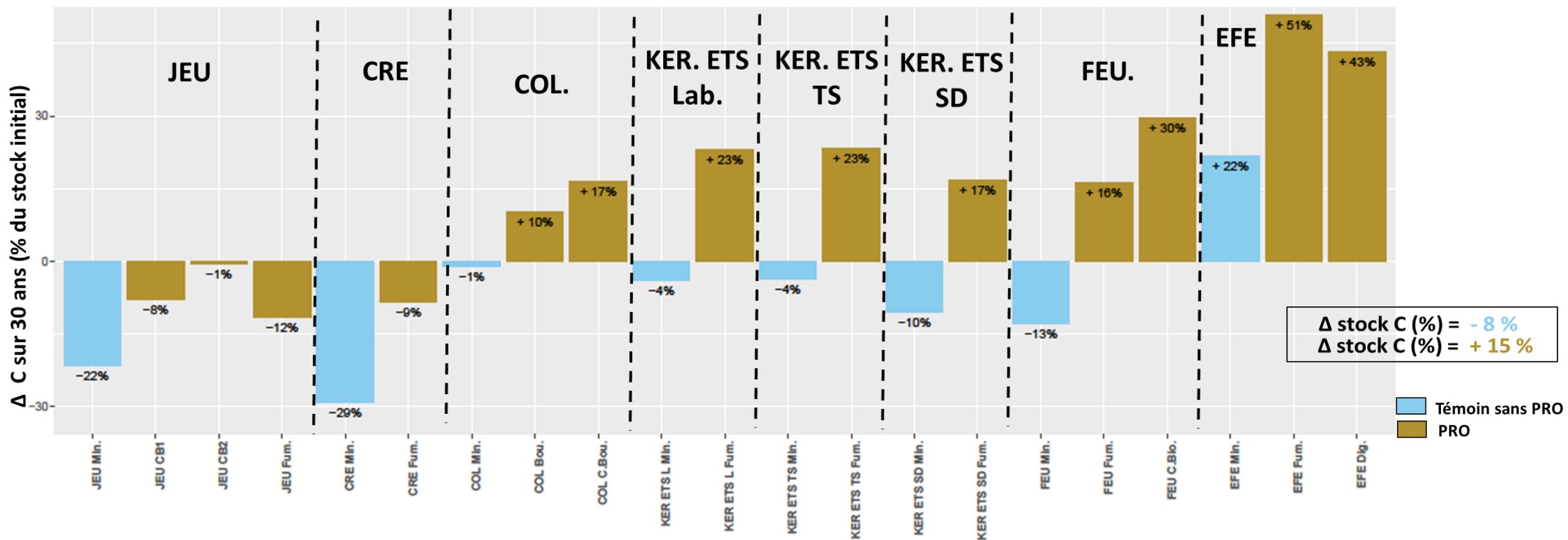
Démarche du projet Microbioterre		Méthodologie	
		Essais Microbioterre	Etude bibliographique / Méta-analyse
Choix indicateurs menus Microbioterre	Procédure d'échantillonnage		
	<i>Critères de choix des indicateurs</i>		
	Co-corrélation des indicateurs et redondance de l'information		
	Variabilité spatiale des indicateurs		
	Réponse des indicateurs aux pratiques étudiées		
	Coût acceptable et faisabilité technique		
Guide Microbioterre & conseil agronomique	<i>Conseil en agriculture</i>		
	Fonction stockage C : Modèle AMG Lien indicateurs / fonctions		
	Référentiels d'interprétation des indicateurs		
	Leviers agronomiques possibles		

Liens indicateurs / fonction de stockage C

Modèle AMG
(version 6.2)
30 ans - 30 cm

PRO vs. Témoin

- C humifié (t C/ha) > C minéralisé (t C/ha) → $\Delta > 0$: **Stockage C**
- C humifié (t C/ha) < C minéralisé (t C/ha) → $\Delta < 0$: **Déstockage C**



Δ stock C (%) = - 8 %
 Δ stock C (%) = + 15 %

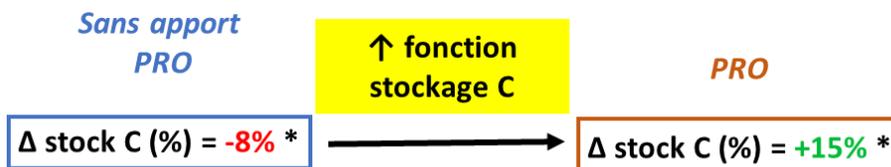
■ Témoin sans PRO
■ PRO

Liens indicateurs / fonction de stockage C

Modèle AMG
(version 6.2)
30 ans - 30 cm

PRO vs. Témoin

Variation niveau de stockage C



* : valeurs moyennes sur les 13 comp.
Sur 30 cm et 30 ans

→ Apport de PRO : ↑ niveau stockage C
↑ tous indicateurs *sauf* C et N (%) fraction fine
Méta-analyse de Liu *et al.*, 2014

AMG :

- Indicateurs corrélés positivement au niveau de **stockage C**

Limites de la modélisation :

- Simulation AMG plus ou moins précise (données agros NA)
- Profondeurs différentes (Stock AMG sur 30 cm / mesures sur 20 cm)
- Limite de la corrélation évolution stock ou teneur vs. une mesure

Variation indicateur

Indicateurs du menu Microbioterre			Valeur relative moyenne de l'indicateur
Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)	+16.2%
		C 0-50 (%)	-3.5%
		C 50-200 (%)	+35.4%
		C 200-2000 (%)	+15.7%
		C 50-2000 (%)	+27.4%
		C oxydé (mg/kg)	+32.1%
Indicateurs physico-chimiques	Azote	N total (%)	+18.5%
		N 0-50 (%)	-2.6%
		N 50-200 (%)	+40.4%
		N 50-2000 (%)	+34.2%
Indicateurs microbiologiques	Abondances	Biomasse microbienne (mg/kg)	+38.1%
		18S (copies/g)	+82.4%
	Activités	Activité protéase (nmol/min/g)	+25.9%
		LAP (nmol/min/g)	+22.3%
		Arylamidase (nmol/min/g)	+36.1%
		ABM (mg/kg)	+36%
Glucosidase (nmol/min/g)	+10.5%		

Sens variation indicateur :



Liens indicateurs / fonctions

Etude bibliographique

80 articles

Indicateurs

Quantification du carbone microbien après fumigation et mesure TOC
Quantification de l'ADN total
Quantification de l'ADNr 16S par PCR en temps réel
Quantification de l'ergostérol libre et total
Quantification de l'ADNr 18S par PCR en temps réel
Ratio 18S/16S
Hydrolyse de la FDA
β -glucosidase
Aminopeptidase
Protéase
Arylamidase
APM (extraction tétraborate à chaud)
ABM
Potentiel de nitrification (incubation avec ajout NH4)
Potentiel de minéralisation N
Teneur en carbone organique
Teneur en azote total
Fractionnement granulométrique MO
Carbone labile KMnO4

Fonctions

Ammonification
Nitrification
Lixiviation
Réduction du NO3 (émission N2O)
Volatilisation
Fixation symbiotique
Fragmentation
Biodégradation
Minéralisation (CO2)
Stabilisation chimique / humification
Stabilisation physique / protection
Agrégation (Macro)
Agrégation (Micro)
Aération / circulation eau - air
Infiltration en eau
Rétention en eau

Recyclage des nutriments

Transformation du carbone

Structure du sol

Flèches pleines : pas d'équation entre I/F
Flèches en discontinu : existence d'équation entre I/F

→ Relation faible $r < 0,4$
→ Relation moyenne r entre $0,4$ et $0,8$
→ Relation forte $r > 0,8$

Bleu : relation positive entre I/F
Rouge : relation négative entre I/F

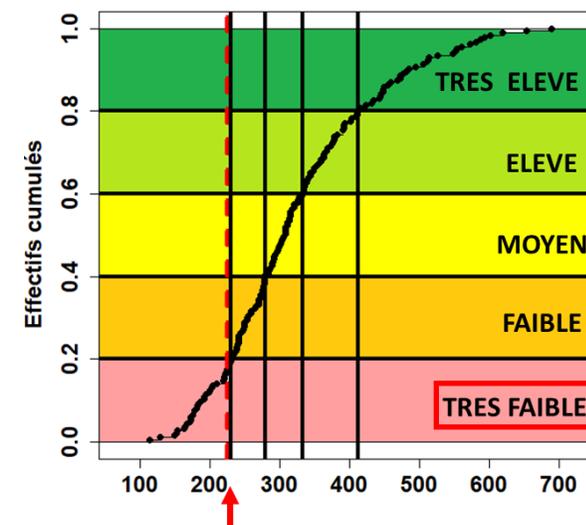
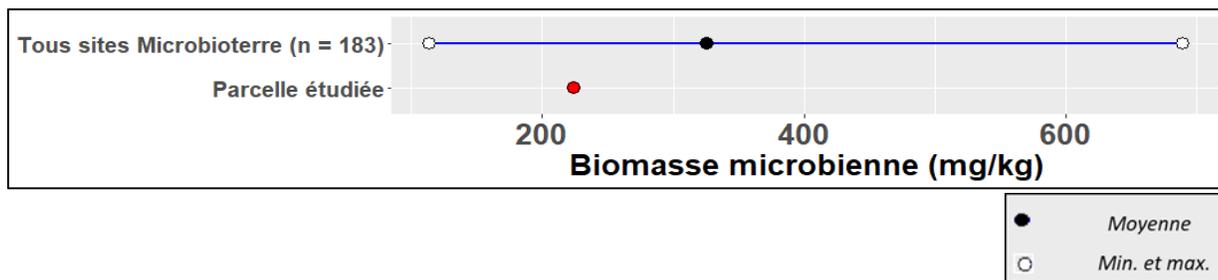
Référentiels d'interprétation des indicateurs du menu

1^{er} niveau d'interprétation : Valeur comprise dans le référentiel MicrobioTerre ?

2^{ème} niveau d'interprétation : Niveau de l'indicateur ?

Exemple d'un indicateur μ biologique : Biomasse microbienne

n = 183 observations
Tous sites – Toutes pratiques culturales



à partir des travaux de l'Université Cornell (2017)

→ **Valeur de biomasse microbienne comprise** dans référentiel Microbioterre

→ **Valeur très faible** de l'indicateur

Conseil : Leviers agronomiques possibles

Essais Microbioterre : Valeurs relatives moyennes

Modalité pratique vs. modalité référence

Indicateurs du menu Microbioterre		PRO	Couverts intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes	
Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)	+16.2%	+6.1%	+1.5%	+1.6%	+4.4%
		C 0-50 (%)	-3.5%	-2.7%	-1.8%	+0.6%	-1%
		C 50-200 (%)	+35.4%	+41.9%	+29.5%	-4.9%	+9.9%
		C 200-2000 (%)	+15.7%	+27.1%	+9.9%	-3%	+13.3%
		C 50-2000 (%)	+27.4%	+37.3%	+22.3%	-4%	+9.6%
	C oxydé (mg/kg)	+32.1%	+1.9%	6%	+12.6%	+6.7%	
	Azote	N total (%)	+18.5%	+5.3%	+3.7%	+13.2%	+4.6%
		N 0-50 (%)	-2.6%	-0.3%	-0.4%	+0.9%	-1%
N 50-200 (%)		+40.4%	+9.8%	+5.9%	-8.4%	+9.5%	
N 50-2000 (%)		+34.2%	+6.4%	+5.3%	-12.3%	+12.8%	
Indicateurs microbiologiques	Abondances	Biomasse microbienne (mg/kg)	+38.1%	+6.5%	+6.8%	+22.9%	20%
		18S (copies/g)	+82.4%	+28.8%	+41.7%	+65.1%	4%
	Activités	Protéase (nmol/min/g)	+25.9%	+11.4%	-9%	+7.3%	+15.4%
		Leucine amino-peptidase (nmol/min/g)	+22.3%	+9.4%	+1.3%	+18%	+11.8%
		Arylamidase (nmol/min/g)	+36.1%	+16.6%	+10.3%	+29.7%	+20.5%
		ABM (mg/kg)	36%	+11.6%	-1.4%	+8.2%	+0.6%
Glucosidase (nmol/min/g)	+10.5%	-6.3%	-20%	+24.2%	+13.8%		

Exemple : Indicateur **Corg**

→ Pratique de **la + à la - impactante** :

PRO > Couverts > Systèmes > Rotations > Travail sol

Pratique culturelle impactant fortement l'indicateur

Pratique culturelle impactant faiblement l'indicateur

Par indicateur du menu

→ Pratiques : De la + à la - impactante

Proposition de leviers agronomiques en fonction du contexte agronomique

Conseil : Leviers agronomiques possibles

Méta-analyse : Valeurs relatives moyennes
Modalité pratique vs. modalité référence



Localisation des essais étudiés pour la méta-analyse

147 articles

Indicateurs	Valeur relative moyenne (%)					
	PRO	Couverts	Wsol	Rotations	Systèmes	Résidus
	41	31	62	25	12	19
C org						
Large macroaggregates (>2 mm)						
Small macroaggregates (0.25 - 2 mm)						
Microaggregates (<0.25 mm)						
N total						
Cox KMnO4						
C biomasse microbienne						
PLFA totaux						
ADN total						
16S						
PLFA bactérien						
18S						
PLFA fongique						
Ergostérol						
FDA						
LAP						
Arylamidase						
Protéase						
Uréase						
Azote Biologiquement Minéralisable						
Azote Potentiellement Minéralisable						
Béta-glucosidase						

Nombre d'articles / pratique

Pas de données
 Indicateurs étudiés dans Microbioterre

Impact de la pratique sur chaque indicateur +



Outil Microbioterre : Du prélèvement de sol au conseil en agriculture

Prélèvement sol
- Guide : maîtriser prélèvement

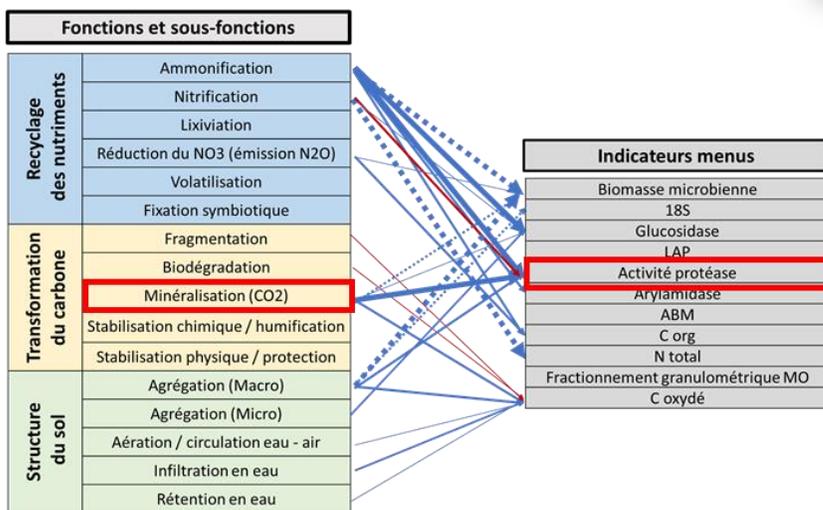


Objectif de l'agriculteur : Fonction à optimiser

Ex : Minéralisation C

Fonctions- Indicateurs

En complément d'indicateurs physico-chimiques :



Fonction à optimiser

Indicateur(s) proposé(s)

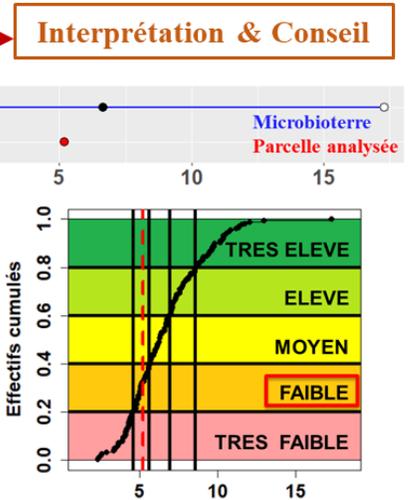
Analyses indicateurs
Indicateurs menus



Référentiels
n = 183

Leviers agronomiques

Variable	PRO	Couverts intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes
C org (%)	■	■	■	■	■
C 0-50 (%)	■	■	■	■	■
N 0-50 (%)	■	■	■	■	■
C 50-200 (%)	■	■	■	■	■
N 50-200 (%)	■	■	■	■	■
C 200-2000 (%)	■	■	■	■	■
N total (%)	■	■	■	■	■
C oxydé (mg/kg)	■	■	■	■	■
Biomasse microbienne (mg/kg)	■	■	■	■	■
18S (copies/g)	■	■	■	■	■
LAP (nmol/min/g)	■	■	■	■	■
Arylamidase (nmol/min/g)	■	■	■	■	■
Activité protéase (nmol/min/g)	■	■	■	■	■
ABM (mg/kg)	■	■	■	■	■
Glucosidase (nmol/min/g)	■	■	■	■	■



Communication et diffusion : Déploiement de l'outil Microbioterre

- ❖ **Un guide de diagnostic et conseil** « Microbioterre » sera mis à disposition des conseillers agricoles et des agriculteurs
 - **Un diagnostic standard** pour que son usage, soit adopté par le plus grand nombre d'agriculteurs
 - **Un diagnostic approfondi** qui constituera un outil de formation et d'animation de groupes basé sur la mesure de plusieurs paramètres microbiologiques.

❖ **Modules de formations**



- ❖ **Journée de restitution des résultats Microbioterre** : Prévues en début d'année 2022

Merci de votre attention

Merci aux contributeurs du projet

Riah-Anglet Wassila¹, Cusset Elodie¹, Recous Sylvie², Barbot Christophe³, Bennegadi-Laurent Nadia¹, Bouthier Alain⁴, Deschamps Thibaud⁴, Houot Sabine⁵, Leclerc Blaise⁶, Perrin Anne-Sophie⁷, Roussel Pierre-Yves⁸, Valé Matthieu⁹, Trinsoutrot-Gattin Isabelle¹

¹UNILASALLE, unité de recherche AGHYLE, ²INRAe – URCA UMR FARE, ³Chambre d'agriculture d'Alsace,

ARVALIS⁴, ⁵INRAe – AgroParisTech UMR ECOSYS, ⁶ITAB, ⁷TERRES INOVIA, ⁸Chambre d'agriculture de Bretagne, ⁹AUREA AgroSciences,

Pilote



Partenaires financés



Partenaires non financés



Soutien

