

# Les services rendus par les couverts

## Ce que changent les couverts végétaux

Climat

Fixation d'azote atmosphérique (légumineuses)

Minéralisation de l'azote les années qui suivent

C  
N

Teneur en Carbone stable (44%)  
Teneur en Azote : très variable selon espèce  
C/N dépend de %N

Piégeage du Nitrate

Régulation des bioagresseurs

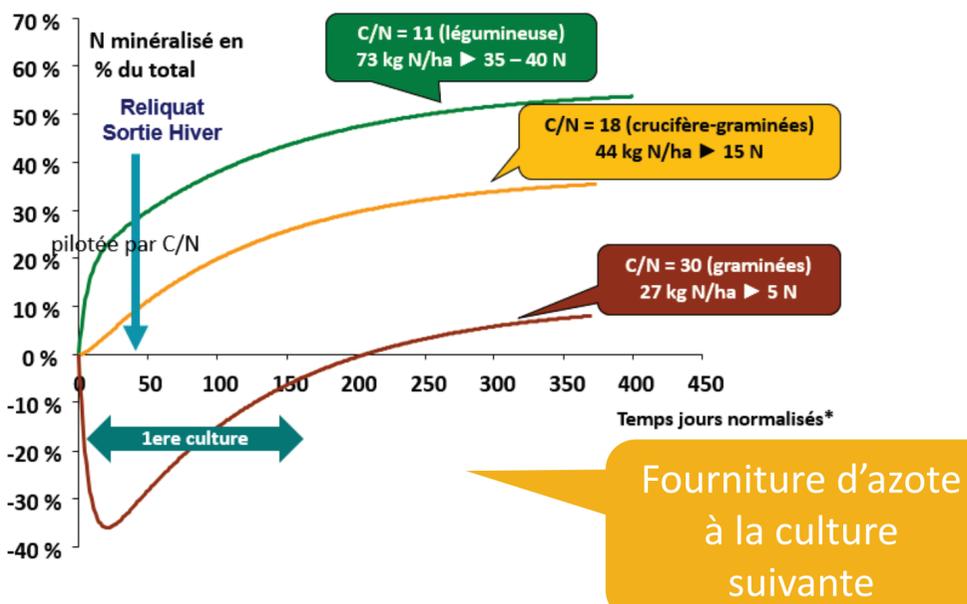
Minéralisation de l'azote les semaines et mois qui suivent

Fertilité des sols

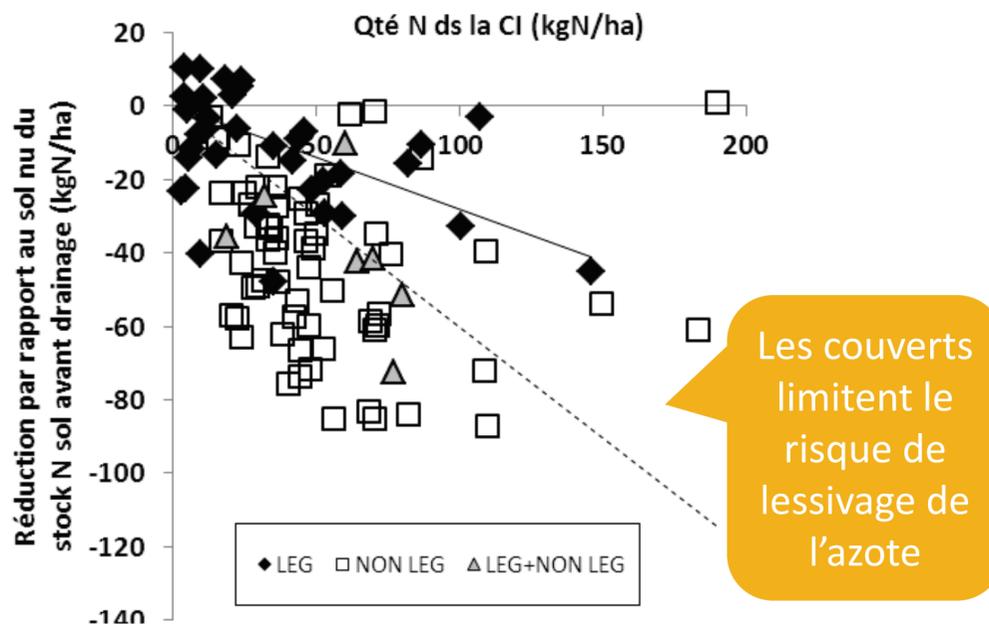
Stockage de carbone à moyen et long terme

## Effet fertilisant

Cinétique de minéralisation N pilotée par C/N



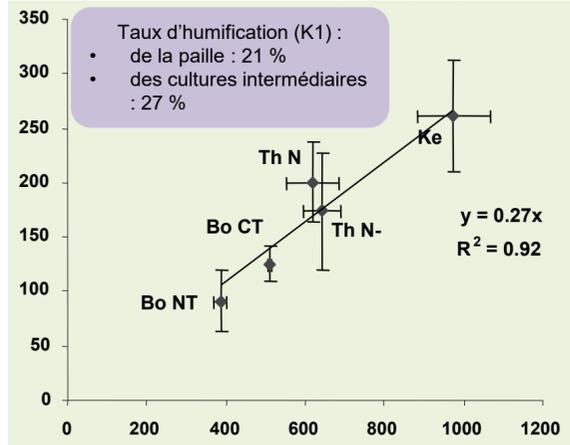
## Effet piège à nitrate



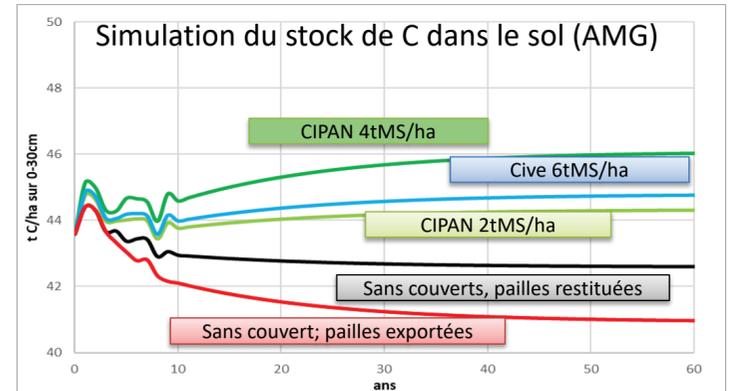
## Effet stockage du Carbone

1 tonne de MS de couvert = 440 kg de Carbone  
Coefficient d'humification = 27 %  
Quantité de C stockée indépendante du C/N

CARBONE STOCKE en Kg C/ha /an (CI-SN)



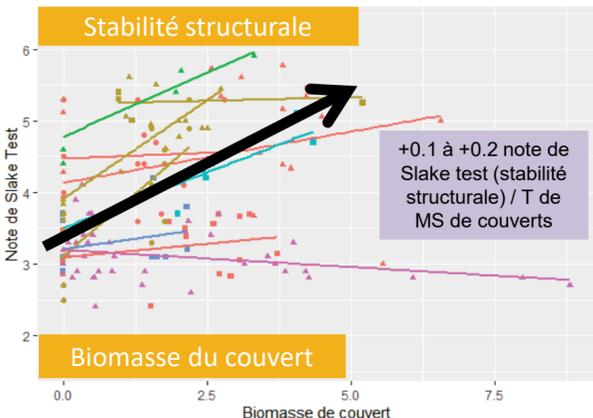
CARBONE APORTE avec les CI en Kg C/ha /an



Limon à 1.8% de MO ; labour à 25 cm 1 an/2  
Rotation Bett/ PdT/ BTH/Haricot/BTH

## Effet fertilité sol : physique et biologique

Stabilité structurale



Site

- Ecardenville
- EnCrambade
- SHW
- Voyennes
- Vraignes
- VSC

campagne

- 2021
- 2022
- 2023



- Protection de la surface des sols fragiles
- Amélioration de la stabilité structurale
- Limitation de l'érosion
- Restructuration de sols tassés plus rare
- Effet positif sur l'abondance et l'activité biologique

# Diagnostic sol : interprétation des nouveaux indicateurs de la fertilité du sol

## Des nouvelles méthodes d'analyse et de quantification

Type d'indicateur	Méthode	Niveau de maturité	
Statut organique	Fractionnement granulométrique de la matière organique	Méthode normalisée, référentiels laboratoires	
	Qualité de la matière organique	Carbone microbien par fumigation-extraction	Méthode normalisée, référentiels laboratoires
		Carbone oxydable au KMnO4	Référencement en cours
Abondance	ADN microbien total	Méthode INRAE Dijon, avec référentiel RMQS	
	Abondance microbienne	Abondance relative des champignons et des bactéries (ratio F/B)	Méthode INRAE Dijon, avec référentiel RMQS
Abondance de la macro/mésosofaune : vers de terre, carabidés, collemboles et nématodes	Identification par analyse morphologique	Méthode normalisée (prélèvement) Référentiels des chercheurs, ELISOL (nématodes) Référentiel ELISOL	
Activité	Activité microbienne	Activités enzymatiques (N, C, P, S)	Méthode normalisée Laboratoires INRAE Biochem'Env, référentiel INRAE/RMQS
		Potentiel minéralisation 28j N et C	Référencement en cours
		Azote Biologiquement Minéralisable	Référencement en cours
Diversité	Diversité des bactéries et champignons	Diversité taxonomique par séquençage ADN haut débit	Méthode INRAE Dijon avec référentiel RMQS
	Diversité de la macro/mésosofaune : vers de terre, carabidés, collemboles et nématodes	Identification par analyse morphologique	Référencement en cours



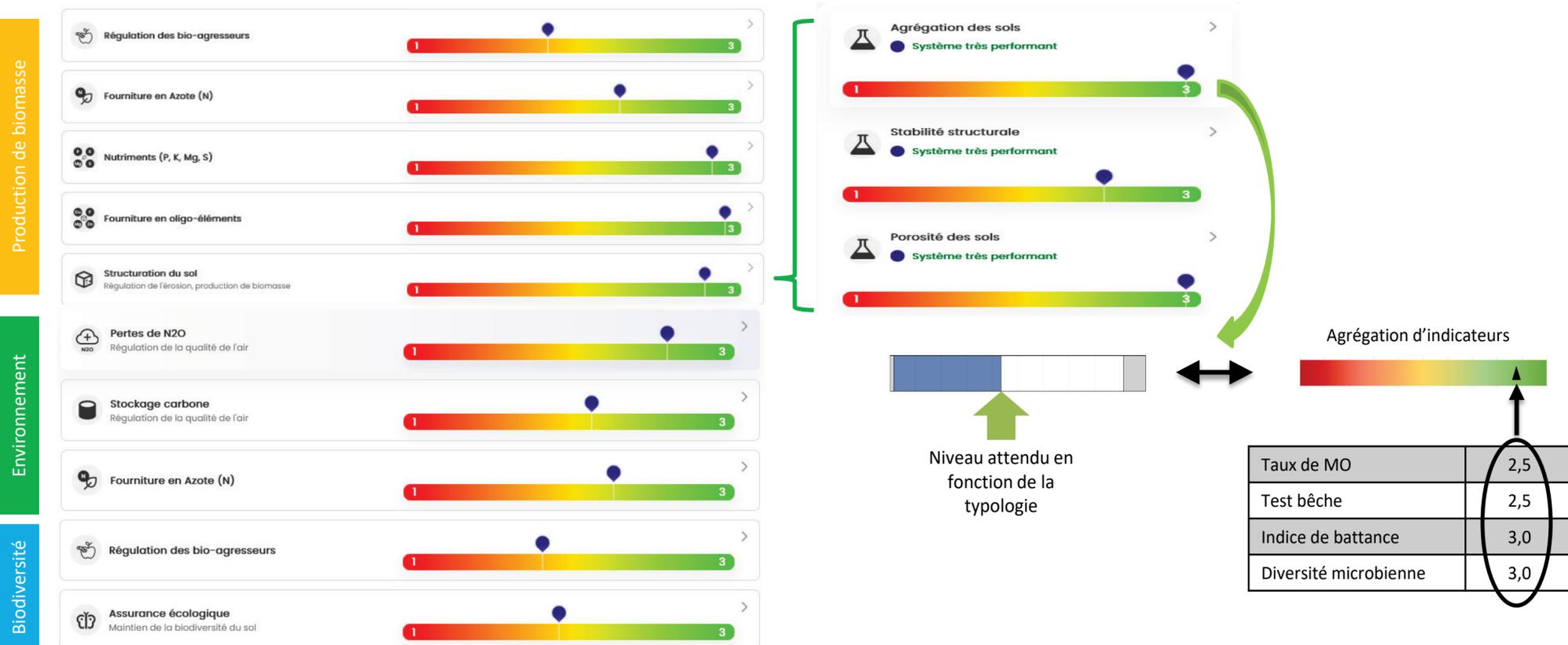
## Comment passer des indicateurs à un diagnostic et à un conseil ?

### Exemple de la démarche d'interprétation Agro-Eco Sol

#### 1- Définition d'une typologie des systèmes de culture et du pédoclimat



#### 2- Diagnostic de satisfaction des fonctions et processus d'après les indicateurs



#### 3- Conseil, avec déclenchement de leviers



# Evaluer la fertilité de son sol

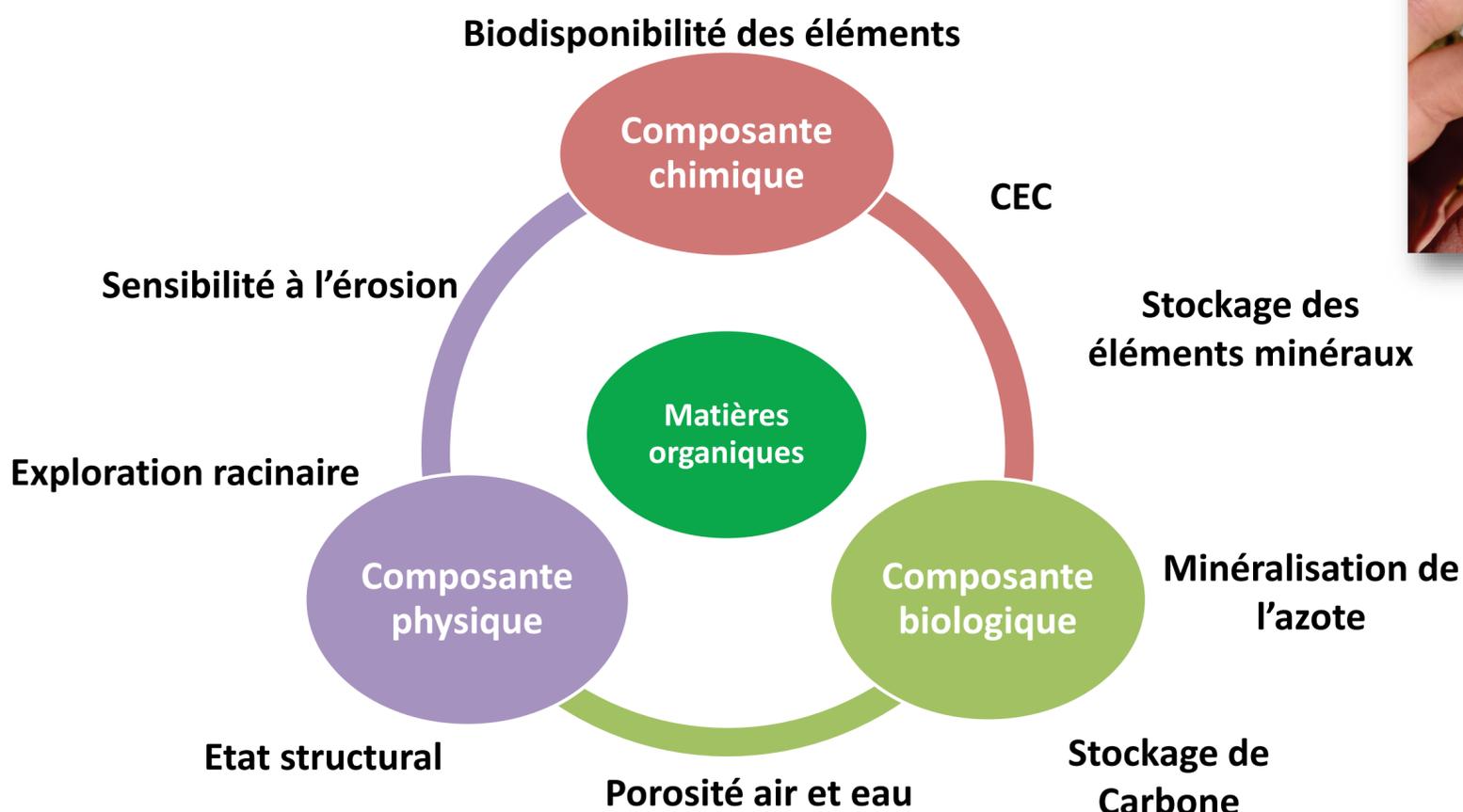
## Fertilité

Aptitude d'un sol à produire durablement sous un climat et pour un système de culture

## Qualité

Aptitude d'un sol à remplir ses fonctions pour permettre la production, maintenir la qualité de l'eau et de l'air et soutenir la santé humaine

## Pourquoi est-ce important ?

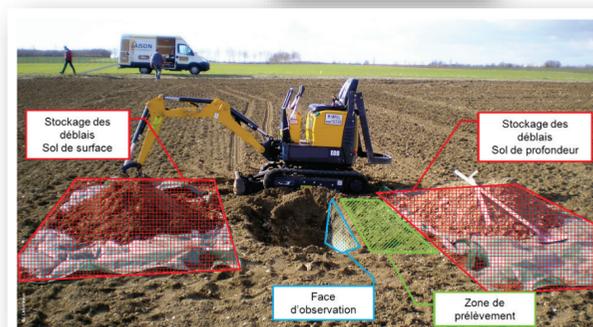


## Comment évaluer la fertilité du sol : les différents tests et indicateurs

	Critères	Tests et indicateurs	Avantages	Inconvénients
<b>FERTILITE CHIMIQUE</b>	Disponibilité et teneur en éléments minéraux	Analyse de sol : pH, CEC, teneurs PK, MO...	Mesure standardisée et précise	Nécessaire pour un diagnostic mais pas suffisant
<b>FERTILITE BIOLOGIQUE</b>	Abondance, diversité et activité microbienne	Analyse de sol : Corg, Coxydé, ABM, B-GLU...	Mesure standardisée	Référencement en cours pour lier à des fonctions
<b>FERTILITE PHYSIQUE</b>	Etat structural	Profil cultural	Observation directe de tous les horizons prospectés	Difficulté de mise en place et mesure destructive
		Profil 3D	Simple de mise en œuvre	Hz superficiel
	Test bêche (ISARA)	Simple de mise en œuvre	Hz superficiel	
	Pénétromètre : Résistance à la pénétration (kPa)	Très Rapide Extrapolation d'observations peu répétables	Très sensible à l'humidité Mesure indirecte de la structure	
Infiltrométrie	Beerkan test : Vitesse d'infiltration	Simple et peu destructeur	Dépendant de la texture Long dans certains sols (>1h)	
Sensibilité à la battance	Slake test : stabilité structurale	Simple, rapide et peu destructeur	Dépendant de la texture	



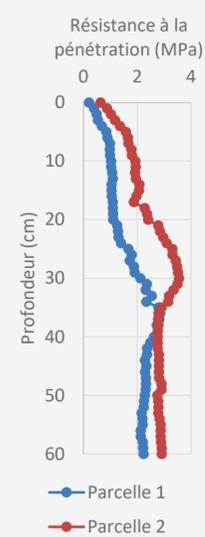
Prélèvement à la tarière



Profil cultural



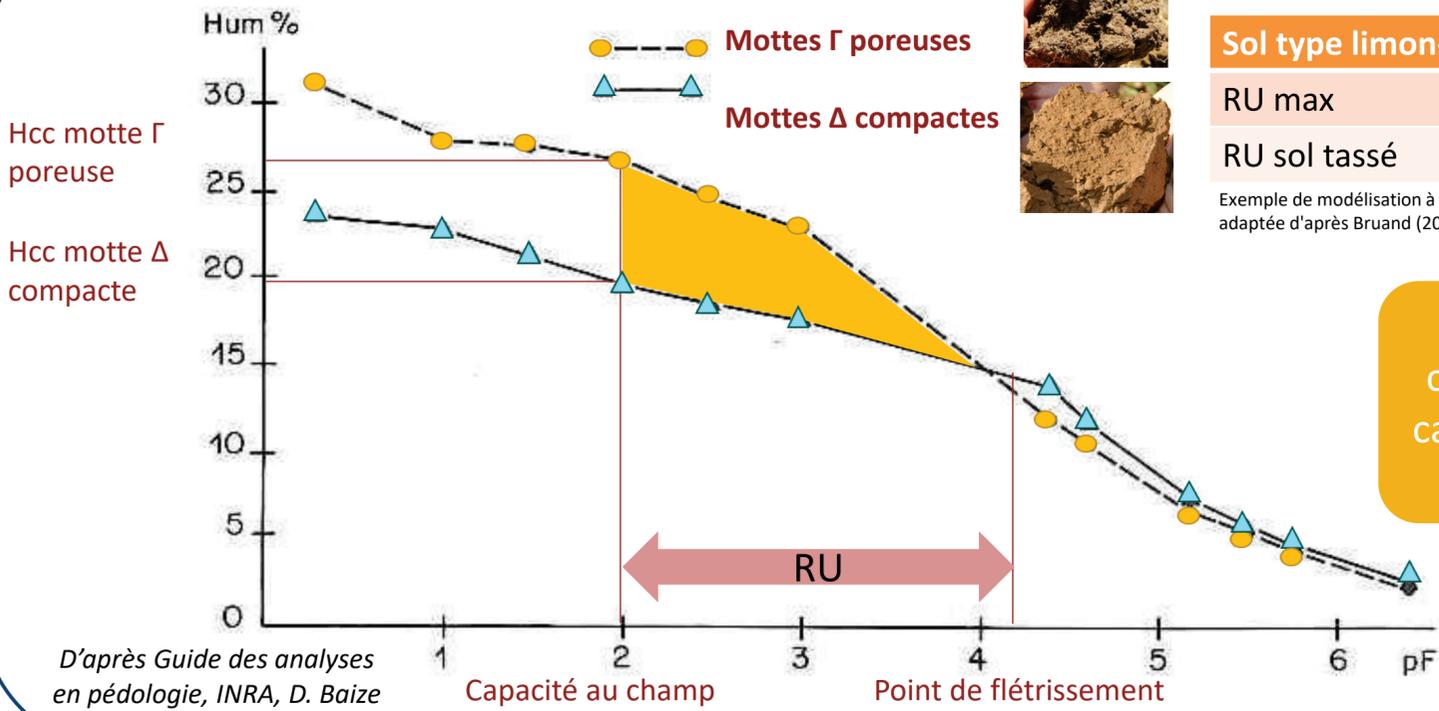
Beerkan test



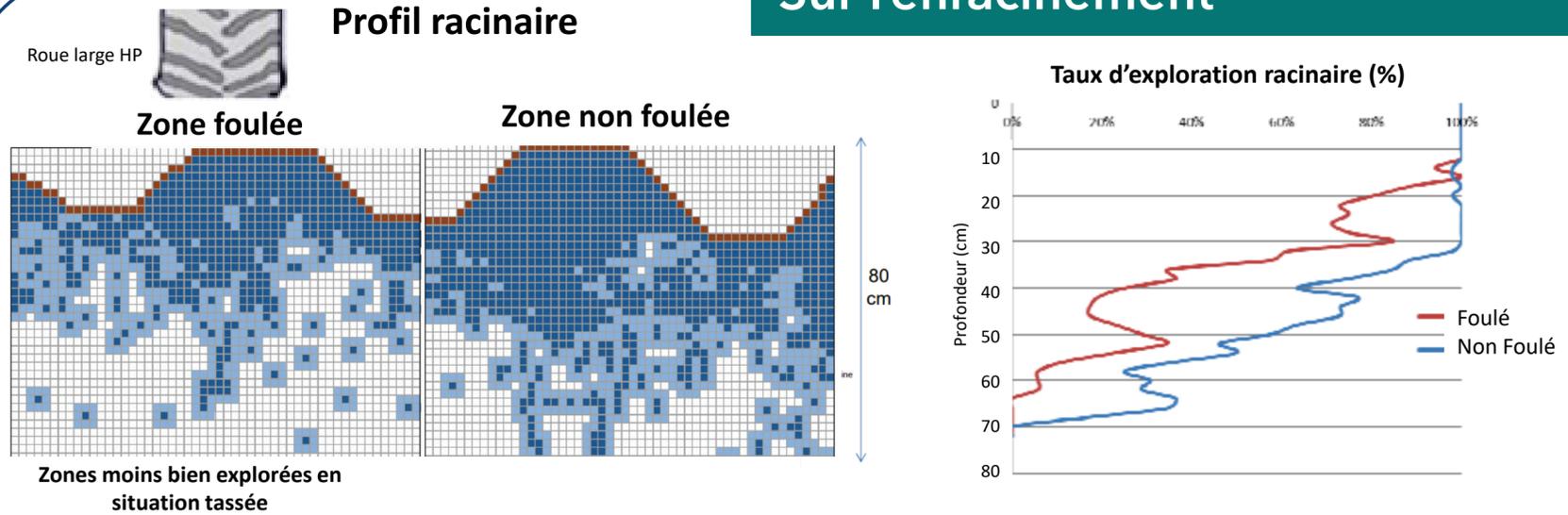
Pénétromètre

# Conséquences des tassements

## Sur le réservoir utile



## Sur l'enracinement



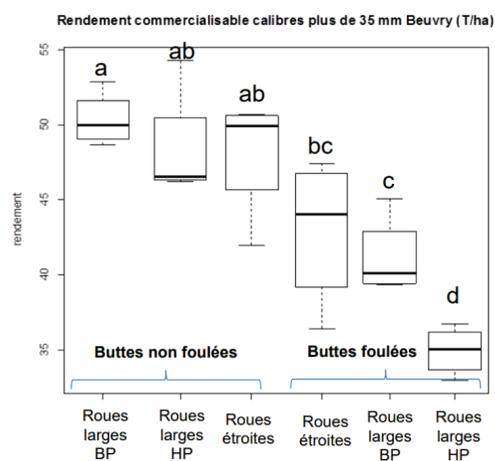
Le tassement freine l'enracinement : moindre volume exploré, diminution de l'enracinement sous les buttes foulées, impact sur le développement aérien

## Sur la production et la qualité

Diminution du rendement de 30% sous les passages de roues 5 à 15% à l'échelle de la parcelle



Essais Sol-D'Phy



Augmentation de la proportion de PDT crevassées avec le tassement

## Mais aussi

Surconsommation de carburant, moindre efficacité des engrais, émissions de gaz à effet de serre, moindre infiltration donc risque d'inondations et de ruissellement, etc.

# Trouvez le couvert végétal « idéal »

## 1. Culture suivante et rotation culturale

Sources : ARVALIS, ITB, Terres Inovia, UNILET

	Moutardes bl. ou br. nématicides	Radis fourrager nématicide	Autres radis	Colza	Autres crucifères	Phacélie	Lin	Tournesol	Niger	Sarrasin	Seigle, Triticale, Alpiste	Avoine cultivée, Avoine rude	Moha, sorgho	Ray grass d'Italie	Féverole, Lupin	Pois	Fenugrec, TA, TI	Vesces comm. R-Aphano	Autres vesces, Lentille, Gesse	Lotier, Sainfoin, TB et TV R-Aphano	Autres TB et TV, Luzerne	
Blé sur blé																						
Autres céréales																						
Maïs																						
Betteraves (nématode à kystes)																						
Betteraves (nématode du collet)																						
Pommes de terre																						
Lin fibre et oléagineux																						
Pois, Haricot, Lentille dans la rotation																						
Pois de conserve, Haricot																						
Pois protéagineux, Lentille																						
Féverole, Lupin																						
Colza (présence hernie) dans la rotation																						
Colza (sans hernie) dans la rotation																						

Effet bénéfique du couvert	R-Aphano : résistant à l'Aphanomyces
Effet plutôt bénéfique du couvert	S-Aphano : sensible à l'Aphanomyces
Pas d'effet connu du couvert	TB : trèfle blanc
Légers risques générés par le couvert	TV : trèfle violet
Risques générés par le couvert	TA : trèfle d'Alexandrie
Couvert déconseillé	TI : trèfle incarnat

## 2. Périodes de semis et de destruction

Couvert estival et gélif

Couvert hivernant

Association longue durée

Plantes compagnes

Couvert permanent

## 3. Techniques de semis et de destruction



## 4. Services recherchés

Couvrir facilement le sol

Récolter en fourrage

Ex : Moutarde blanche

Ex : Avoine + Vesce

Jouer sur la prophylaxie

Entretenir la biodiversité

Ex : Moutarde ou radis nématicides

Accroître la fertilité chimique

Protéger les sols

Ex : Associations avec légumineuses

Effet lié à la biomasse et à la couverture des sols

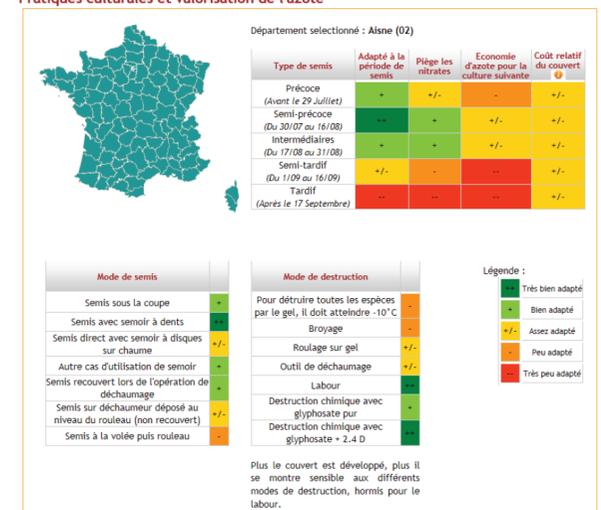
A découvrir sur:

[www.choix-des-couverts.arvalis-infos.fr](http://www.choix-des-couverts.arvalis-infos.fr)

**ARVALIS** Choix des couverts

En quelques clics, faites votre choix parmi plus de 200 espèces pures ou associations !

Pratiques culturales et valorisation de l'azote





# Quelle méthode de phénotypage permet d'évaluer les caractéristiques du système racinaire en plein champ ?

Katia BEAUCHÈNE et Florent CHLEBOWSKI



## Root2Res

Root phenotyping and genetic improvement for rotational crops resilient to environmental change



Root2Res has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under Grant Agreement No. 101060124. Its work is supported by Innovate UK through the Horizon Europe Guarantee scheme Grant Agreement No. 101060124 and by the Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI) grant No. 23.00050. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union, UK Research and Innovation (UKRI), European Research Executive Agency (REA) or Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI). Neither the European Union nor any other granting authority can be held responsible for them.



www.root2res.eu

Contact : k.beauchene@arvalis.fr



### Objectifs du projet européen Root2Res (2022 à 2027)

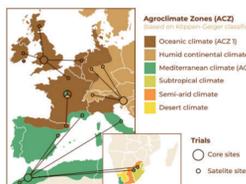
Dans le contexte du changement climatique, le système racinaire est une composante essentielle de la tolérance aux stress abiotiques et un élément clé pour fournir aux agriculteurs des variétés plus résilientes.

Les caractéristiques architecturales des racines sont relativement faciles à mesurer dans des conditions contrôlées, mais les caractéristiques des racines évaluées en plein champ sont nécessaires pour comprendre la résilience des cultures aux changements climatiques. L'une des premières étapes du projet Root2Res a été d'évaluer et d'améliorer les méthodes disponibles pour décrire les caractéristiques morphologiques des racines en plein champ dans trois zones agro-climatiques (Royaume-Uni + France, Slovénie et Maroc).

L'objectif de ce travail est de caractériser les méthodes et de les améliorer afin de fournir un ensemble d'outils pouvant être utilisés pour identifier les idéotypes racinaires les plus adaptés à des environnements spécifiques, mais aussi pour caractériser une grande diversité de génotypes.

### Matériel et méthodes

Expérimentations terrain avec *a minima* les 4 mêmes variétés par site



2023 : 4 essais PDT - Ecosse, France (x2) et Slovénie

2024 : 5 essais PDT - Irlande, Écosse, France, Slovénie et Maroc

Mode opératoire de caractérisation du système racinaire au nombre de 4 :

- ✓ (A) Echantillonnage à la bêche (Shovelomic) + analyse d'image (WinRhizo) (B)
- ✓ (C) Extraction d'une carotte de sol (Soil Coring) + analyse d'image (WinRhizo) (B)
- ✓ (D) Analyse visuelle d'un profil racinaire
- ✓ (E) Mesure numérique dans un tube transparent et analyse d'images (Minirhizotron)



Minirhizotron

Mesures complémentaires destructives et à l'aide de capteur :

- Composantes du rendement (nombre de tubercules, biomasse fanes et tubercules)
- Caractérisations aériennes fraction du couvert, indices de végétation par capteurs

### Evaluation des modes opératoires de prélèvements racinaire

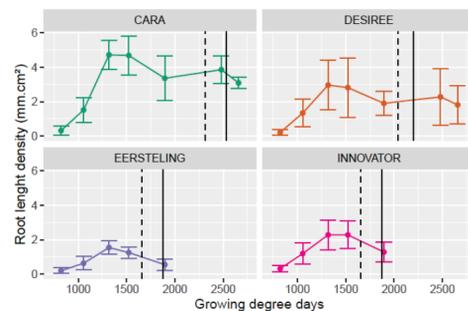
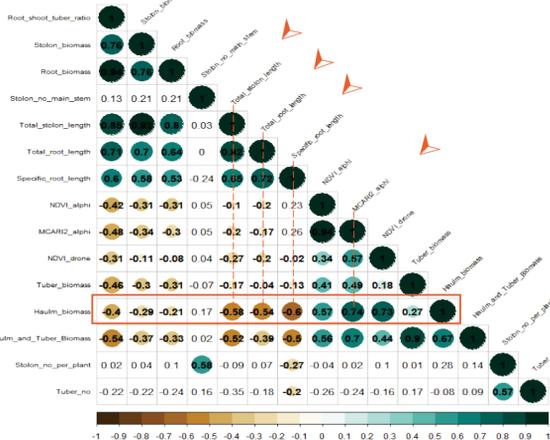
- Les principaux résultats mettent en évidence les avantages et les inconvénients de chaque méthode évaluée
- La caractérisation par prélèvement à la bêche et carottage du sol pourrait être appliquée sur la plupart des sites

Méthodes d'échantillonnage	A la bêche (Shovelomic)	A la petite pelle* (Shovelomic-Excavation)	Au préleveur de terre (Soil coring)	Par imagerie (Minirhizotron)	Via un profil racinaire (Soil Pit)
Echantillon	5 plantes	5 plantes	850 cm <sup>3</sup> par carotte de terre, 1 plante	600 cm <sup>2</sup> par image 1 plante	10 000 cm <sup>2</sup>
Profondeur explorée	0-25 cm	0-25 cm	0-80 cm	20-100 cm	0-100 cm
Temps de mesure	7 h	39 h	4 h / tube	20 min / date	4 h
Coût matériel	40 € (7 000 € Winrhizo)	40 € (7 000 € Winrhizo)	36 500 € préleveur 7 000 € Winrhizo	22 000 € scanner rotatif	Location minipel
Variables mesurées	Nombre, longueur, surface, diamètre et biomasse de stolons et de racines  Indice de ramification	Nombre, longueur, surface, diamètre et biomasse de stolons, de racines de stolons, de racines de nœuds de stolons et des racines à la bases du tubercule mère  Indice de ramification	Biomasse, longueur, surface et diamètre de racines	Longueur et diamètre de racines	Densité de racine (présence / absence)
Inconvénients	Echantillonnage de la seule butte	Extrêmement long	Lourd logistiquement	Non informatif sur les 20 premiers cm	Très destructif
Avantages	Facile et rapide vision 3D de l'architecture du système racinaire	Mesure exhaustive et compartimentée de toutes les racines dans la butte	information sur les racines profondes, mesure de la biomasse racinaire	Non destructive = mesures en dynamique de la progression du front racinaire et estimation de la quantité de racines profondes	Profil de sol, large champ de vue

Pour chaque méthode les partenaires opérateurs ont été formés ensemble, une documentation est à disposition avec une procédure standardisée, des résumés de pratique et des vidéos/tutoriels.

### Exemple de résultats d'essais ARVALIS de PdT en plein champ en 2023 à Villers-Saint-Christophe (02) et à Audeville (45)

Corrélation entre les données de la partie aérienne et les caractéristiques racinaires issues de la méthode dite shovelomic



Densité de longueur racinaires mesurée à différents stades

Résultats obtenus par analyse d'image avec la méthode du minirhizotron sur 4 variétés de pomme de terre

### Conclusions et perspectives de travail

La caractérisation morphologique des racines via l'analyse du corpus de données, permettra :

- ✓ De définir la meilleure approche de phénotypage racinaire en identifiant les traits clés à évaluer
- ✓ D'améliorer chaque méthode et tenter de trouver les bons indicateurs du développement du système racinaire
- ✓ De relier les méthodes de phénotypage des racines faites au champ et en conditions contrôlées

### Enjeux

- ✓ Améliorer la modélisation de la croissance racinaires dans des conditions de stress
- ✓ Caractériser des variétés/idéotypes plus résistants
- ✓ Sélectionner et d'obtenir de nouvelles variétés

### Références bibliographiques des modes opératoires présentés

- A - **Shovelomic** : York, L. M. et al. (2018). Wheat shovelomics : A field phenotyping approach for characterising the structure and function of root systems in tillering species. *BioRxiv*; doi 10.1101/280875.
- C - **Soil coring** : White, C. A., et al. (2015). Root length densities of UK wheat and oilseed rape crops with implications for water capture and yield. *Journal of Experimental Botany*; doi 10.1093/jxb/erv077.
- D - **Profil racinaire** : Zarzyńska, K., Boguszewska-Marikowska, D. and Nosalewicz, A. (2017) 'Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress', *Plant, Soil and Environment*, 63(4), pp. 159-164. Available at: <https://doi.org/10.17221/4/2017-PSE>
- E - **Minirhizotron** : Postic, F., Beauchène, K., Gouache, D., Doussan, C., 2019. Scanner-Based Minirhizotrons Help to Highlight Relations between Deep Roots and Yield in Various Wheat Cultivars under Combined Water and Nitrogen Deficit Conditions. *Agronomy* 9, 297. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060297>