



# A la rencontre de la biodiversité des sols, à travers le projet **InSylBioS**

« Mieux comprendre et **IN**tégrer dans les pratiques **SYL**vicoles le rôle de la **BIO**diversité des **Sols** dans le fonctionnement des forêts du sud du Massif central »

## Quels enseignements pour les forestiers ?

3 octobre 2023 – *Webinaire « Forêts en changement climatique »*

CEN Occitanie – C. Emberger  
CRPF Occitanie L. Molines



**AGENCE NATIONALE DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES** 1



# I – Les sols et les forestiers:

*Enjeux, connaissances et outils existants*

# Rappels: Qu'est-ce qu'un sol ?

## Comment se forme-t-il ?

Transformation  
de la matière  
organique

+

Migrations

+

Altération

Déchets végétaux et  
animaux plus ou moins  
transformés  
« humus »

Matière organique

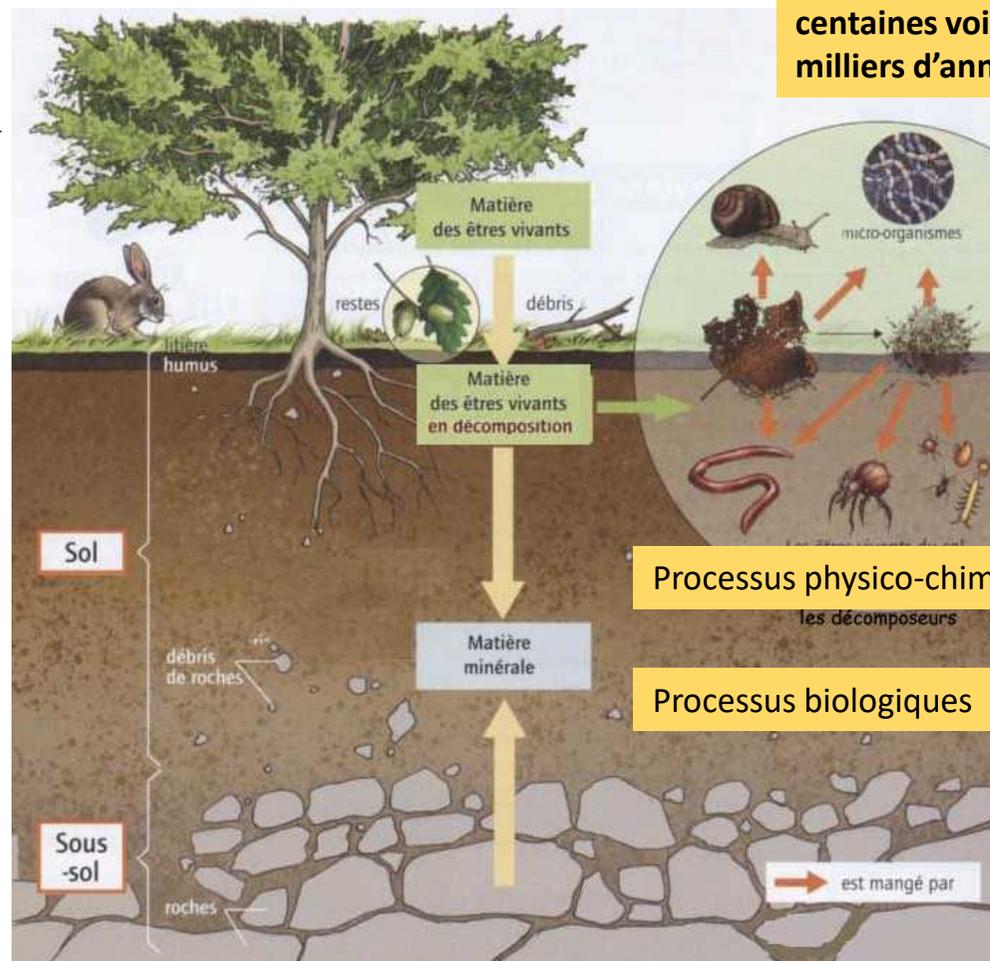


- Mélanges
- Distinction  
de couches



Éléments minéraux

Particules minérales  
plus ou moins fines  
=  
Éléments  
minéraux



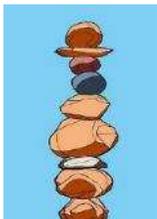
Formation sur des  
centaines voire des  
milliers d'années

Processus physico-chimiques

Processus biologiques

# Quels facteurs jouent sur la fertilité des sols ?

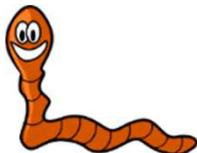
---



**Facteurs physiques** : texture et structure de la terre, quantité de cailloux, profondeur du sol, etc.



- **Facteurs chimiques** : teneur en nutriments (nourriture pour les arbres), vitesse de recyclage des éléments minéraux....



- **Facteurs biologiques** : organismes vivants que l'on trouve dans les sols comme les vers de terre, les insectes, les bactéries (influe sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols)

> Impactent directement la productivité forestière

# Les enjeux autour de la connaissance des sols

---

- Les sols sont les supports de la production forestière et de nombreux services écosystémiques  
=> Absolue nécessité de **préserver ce capital**

- Dans le cadre de l'évolution climatique, sujet d'étude indispensable => questions d'adaptation et de renouvellement

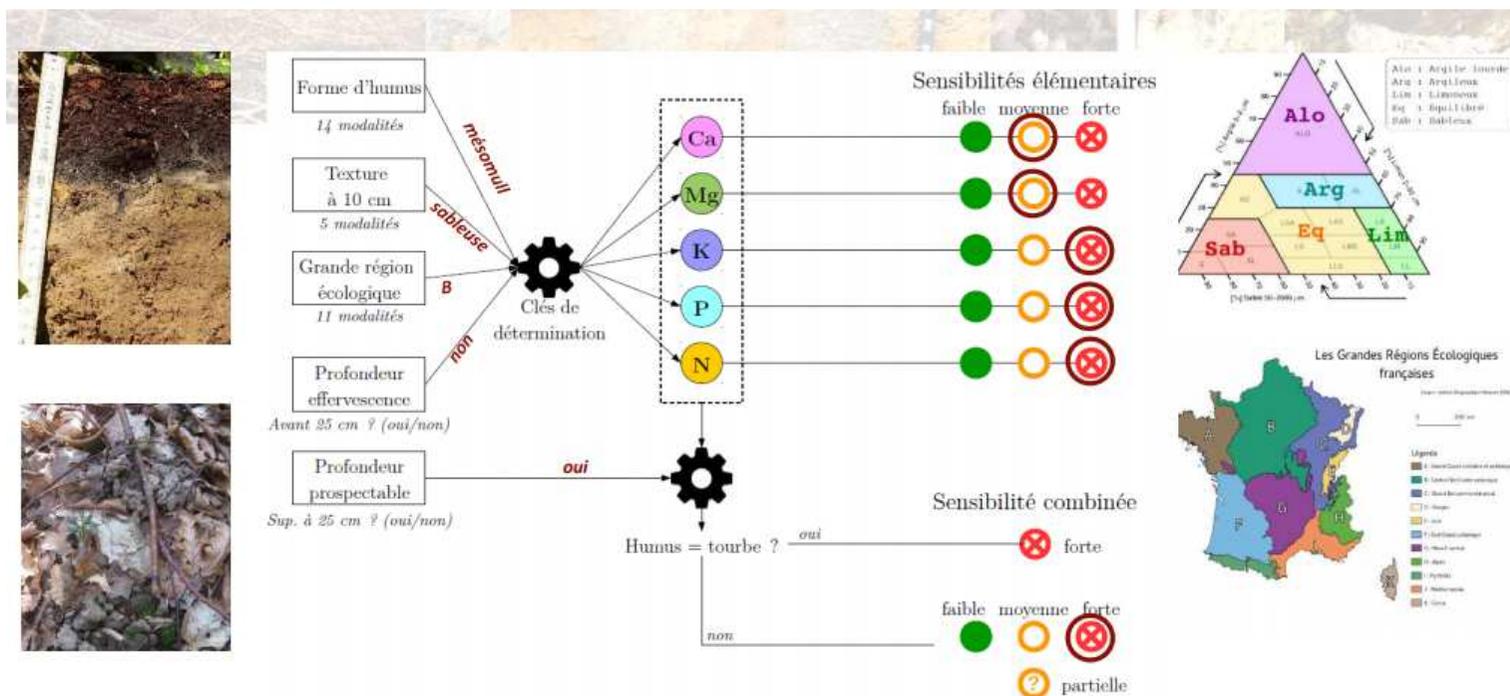
- Enjeux de meilleure connaissance, compréhension de certains processus pour conserver la **fonctionnalité** voire les favoriser

Des travaux ont été conduits sur les aspects physico-chimiques. **Les facteurs biologiques sont moins connus.**

# Des travaux menés et des outils à disposition

Un outil pour diagnostiquer la **sensibilité chimique** des sols  
(en particulier dans un contexte de récolte de rémanents) :  
indicateurs **INSENSE**

Augusto & Pousse,  
2018

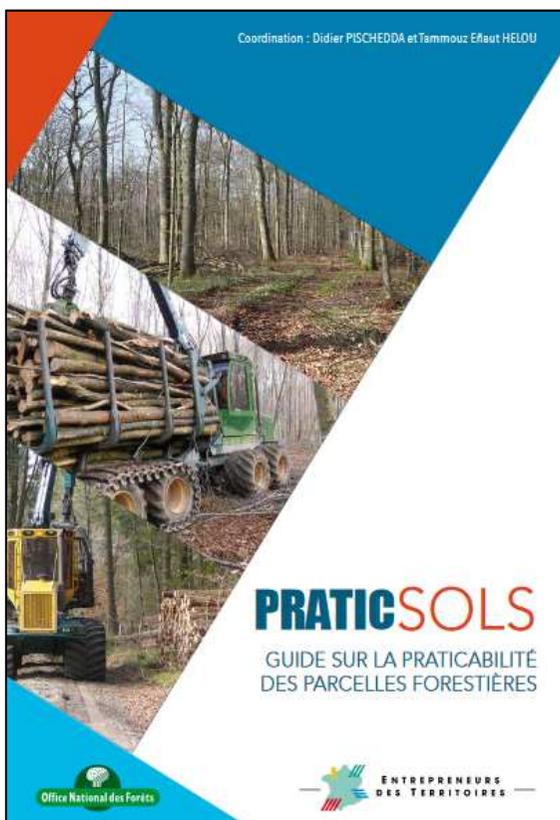


25/06/2018 - séminaire Ademe R&D et transfert

12

# Des travaux menés et des outils à disposition

## Un outil pour diagnostiquer la sensibilité physique des sols : le guide PRATICSOL



**Table des recommandations par acteurs concernés**

Recommandations	Propriétaires, gestionnaires	Entreprises d'exploitation forestière	Donneurs d'ordres
<b>A/ Dans la gestion forestière</b>			
1 Classer les parcelles/zones selon leur sensibilité potentielle et les identifier dans le document de gestion	X		
2 Réfléchir au réseau de cloisonnement optimal vers les places de dépôts et adapter le réseau existant	X		
3 Réfléchir au devenir des menus bois/rémanents	X		X
<b>B/ Avant le chantier</b>			
4 Adapter les délais d'exploitation ou de réalisation à la sensibilité du sol des parcelles	X		
5 Adapter le nombre de produits pour limiter le nombre de passages des engins de débardage	X		X
6 Choisir l'entreprise et son matériel en fonction de la sensibilité potentielle des sols		X	X
7 Assurer la visibilité du mode de marquage/désignation des tiges	X		X
8 Mettre en route le chantier si la portance des sols est favorable		X	X
9 Transmettre les prescriptions de praticabilité aux intervenants	X		X
10 Définir lors de la rencontre préalable les seuils d'alerte de profondeur d'ornières pour les différentes zones circulées	X	X	X
11 Réaliser un état des lieux contradictoire avant le démarrage du chantier	X	X	X
12 S'organiser pour avoir un portefeuille de chantiers, incluant des chantiers de repli		X	X
<b>C/ Pendant le chantier</b>			
13 Orienter les bois en arête de poisson vers les cloisonnements lorsque l'abattage est manuel		X	
14 Ne pas sortir des itinéraires définis ou des cloisonnements avec les engins forestiers		X	
15 S'organiser pour respecter les seuils d'alerte de profondeur d'ornière en fonction des évolutions de portance des sols		X	X

# Des travaux menés et des outils à disposition

---

For-Eval : une application rassemblant différents diagnostics liés au sol -> sensibilité à l'export de nutriments / à l'érosion hydrique / au tassement / potentialités

## For-Eval : une application mobile pour évaluer les sols forestiers

Forêt & Evaluations



Application mobile

Diagnostics

Aide à la description

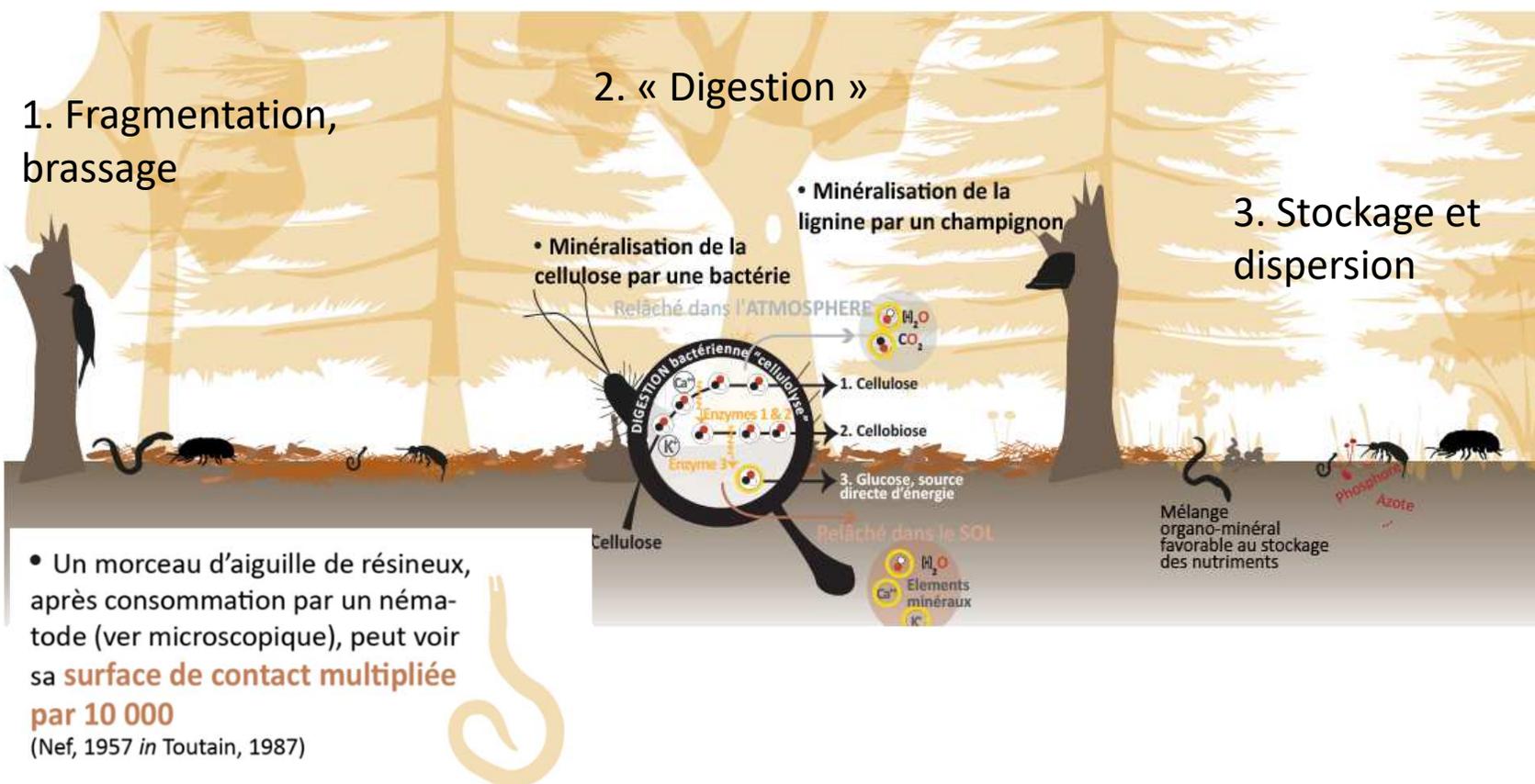
Application mobile



[https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/ispa\\_eng/Equipments/Outils-d-aide-a-la-decision/For-Eval-une-application-mobile-pour-evaluer-les-sols-forestiers](https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/ispa_eng/Equipments/Outils-d-aide-a-la-decision/For-Eval-une-application-mobile-pour-evaluer-les-sols-forestiers)

# Deux exemples des rôles de la biodiversité des sols

## Décomposition de la matière organique



Plus la surface est démultipliée, plus la décomposition des débris organiques est rapide et facilitée.

# Deux exemples des rôles de la biodiversité des sols

## Rôles de champignons mycorhiziens

Tous les arbres de nos forêts tempérées sont associés à des champignons mycorhiziens !



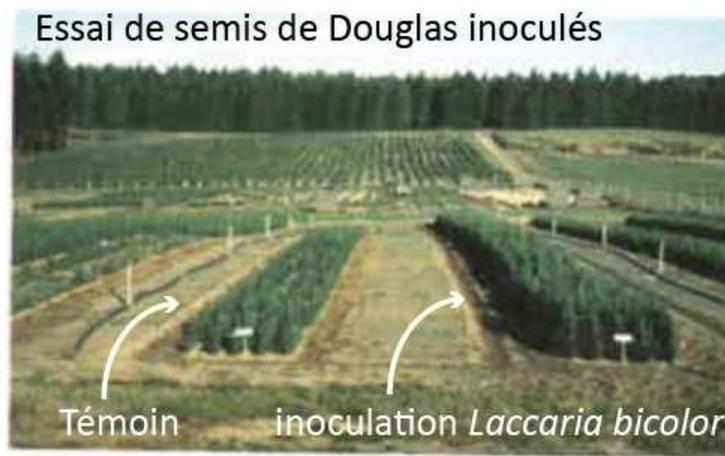
# Deux exemples des rôles de la biodiversité des sols

## Rôles de champignons mycorhiziens

- Améliore l'alimentation en eau et en nutriment des arbres



© Institut fédéral de recherche WSL, Suisse, modifié



Extrait de Garbaye *in* Drénou 2006



## Fiches d'information reposant sur une étude bibliographique globale et exposant des résultats de la Recherche

### Rôles fonctionnels



**Quelques chiffres et études à retenir**

- **Volume de sol prospecté à l'aide de champignons mycorhiziens**  
Jusqu'à 10 fois supérieur au volume prospecté par les racines seules.
- **Une part importante des besoins des arbres est assurée par le réseau mycorhizien**  
Jusqu'à :  
10% du carbone des arbres  
40% des besoins en azote des plantes fruticées vers non fruticées  
50% des besoins en eau des semis  
sont apportés grâce à la redistribution des ressources transitant dans le réseau des situations excédentaires vers les pôles déficitaires. (Bimard et al. 2015)

Le champignon forateur des mycorhiziens associés au réseau racinaire d'un seul arbre permettrait de faire le tour de la terre.

Schéma d'un réseau ectomycorhizien au sein d'un peuplement de Douglas vert, Canada ; la taille et la couleur des cercles représentant le diamètre et l'âge des arbres. L'arbre le plus connecté (fiche) est lié à 47 autres arbres par l'intermédiaires de 12 champignons ! (Baker et al., 2010)

- **Des gains de croissance notables par l'utilisation de plants mycorhizés avec des champignons ectomycorhiziens en pépinière**

Essai de Ballandons, Haute-Savoie (Le Tacon, Bouchard)

Essai de semis de Douglas Insouls

Estret de Garbaye en Orléans 2036

L'association avec certaines espèces de champignon est particulièrement efficace :

- semis de Douglas et Laccaire bicolor (synthèse sur 35 études, Le Tacon et al. 1997) en moyenne +12 % et jusqu'à +35 % de croissance en hauteur.
- semis de Chêne sessile et Paille enrôlé (étude de Garbaye et Churin, 1997) : en moyenne +16% de croissance en hauteur.

**Comment la diversité de champignons mycorhiziens affecte les herbivores pour le symbiote ?**

À chaque espèce ses particularités : l'essence et l'âge de l'arbre, l'efficacité à mobiliser les nutriments du sol ou à résister aux sécheresses dans un contexte donné varient d'une espèce à l'autre. Ainsi une diversité d'espèces permet d'offrir les bénéfices offerts par les arbres des champignons mycorhiziens pour un maximum d'espèces et situations. En particulier, en contexte de changement climatique, cette diversité assure une plus grande robustesse aux peuplements.

**Des effets variables selon les contextes !**

L'importance du rôle de ces champignons dépend des contextes : on sait par exemple que l'aide nutritionnelle des champignons envers les arbres est particulièrement importante dans des situations « pauvres » et sèches, lorsque la ressource en phosphore, azote et autres est limitante dans le sol.



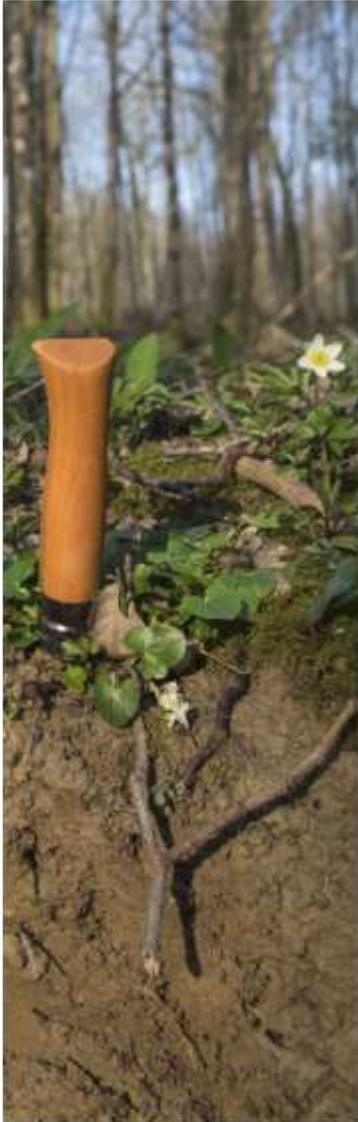
Chiffres issus des travaux de recherche

## Enquête sociologique (stage M2, Sarah Rotiel)

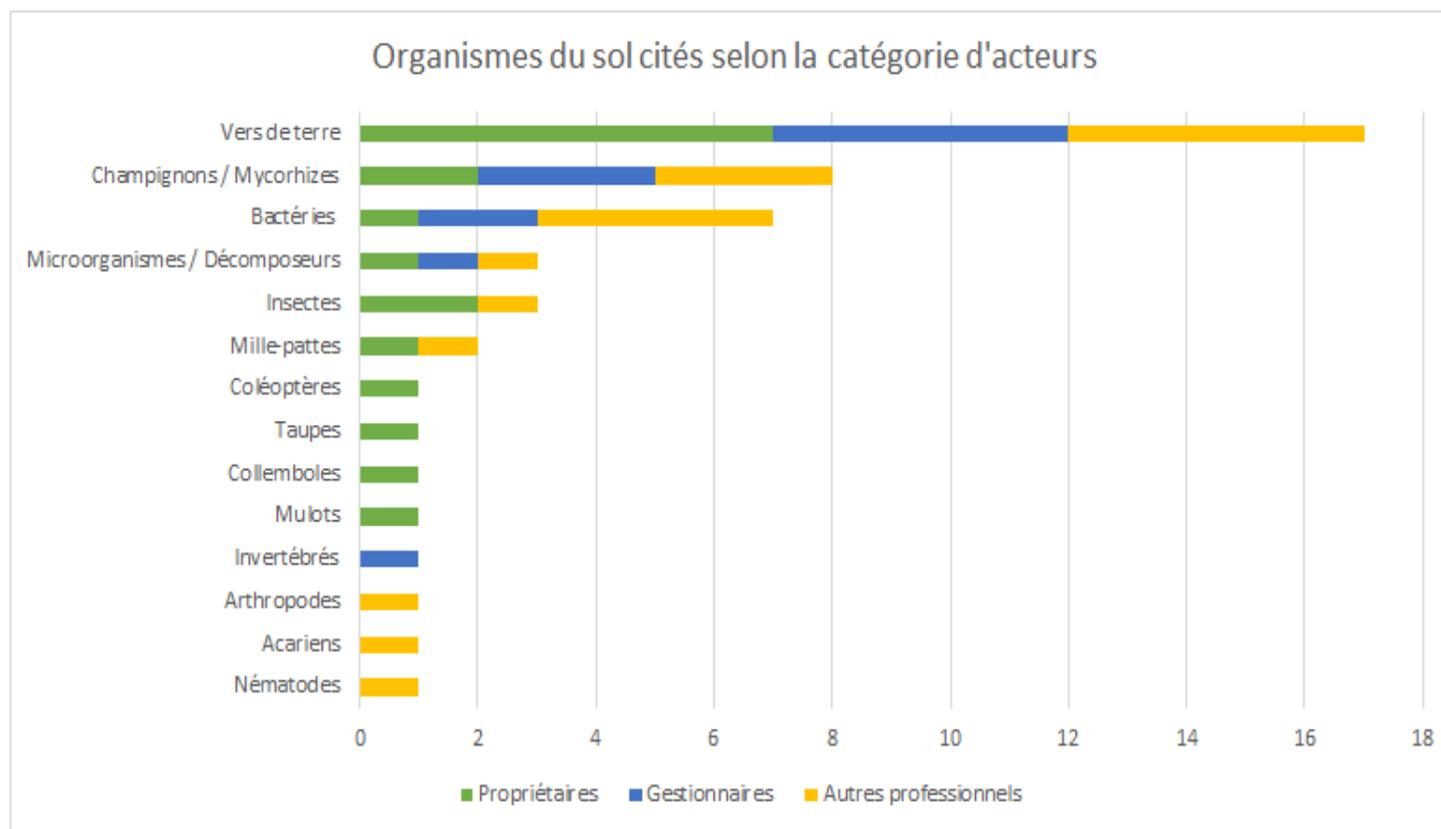
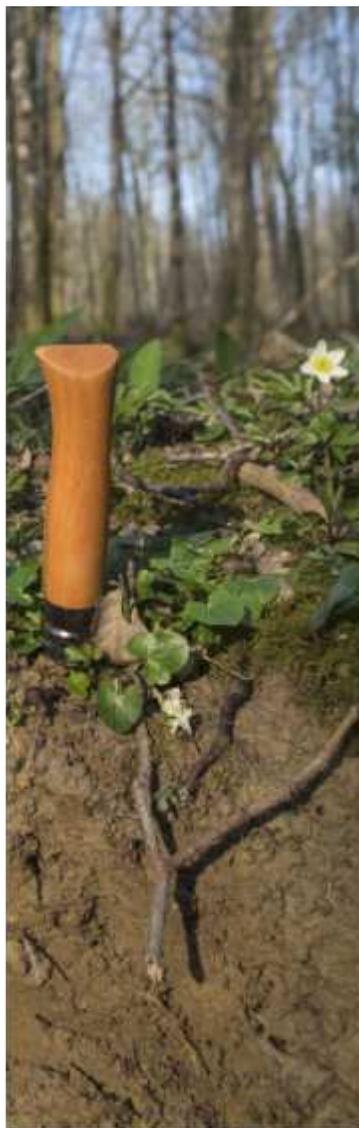
Enquête menée auprès de 25 personnes représentant des groupes d'acteurs différents (propriétaires/gestionnaires/professionnels non gestionnaires)

Objectif: dresser un état des lieux des connaissances générales sur les sols

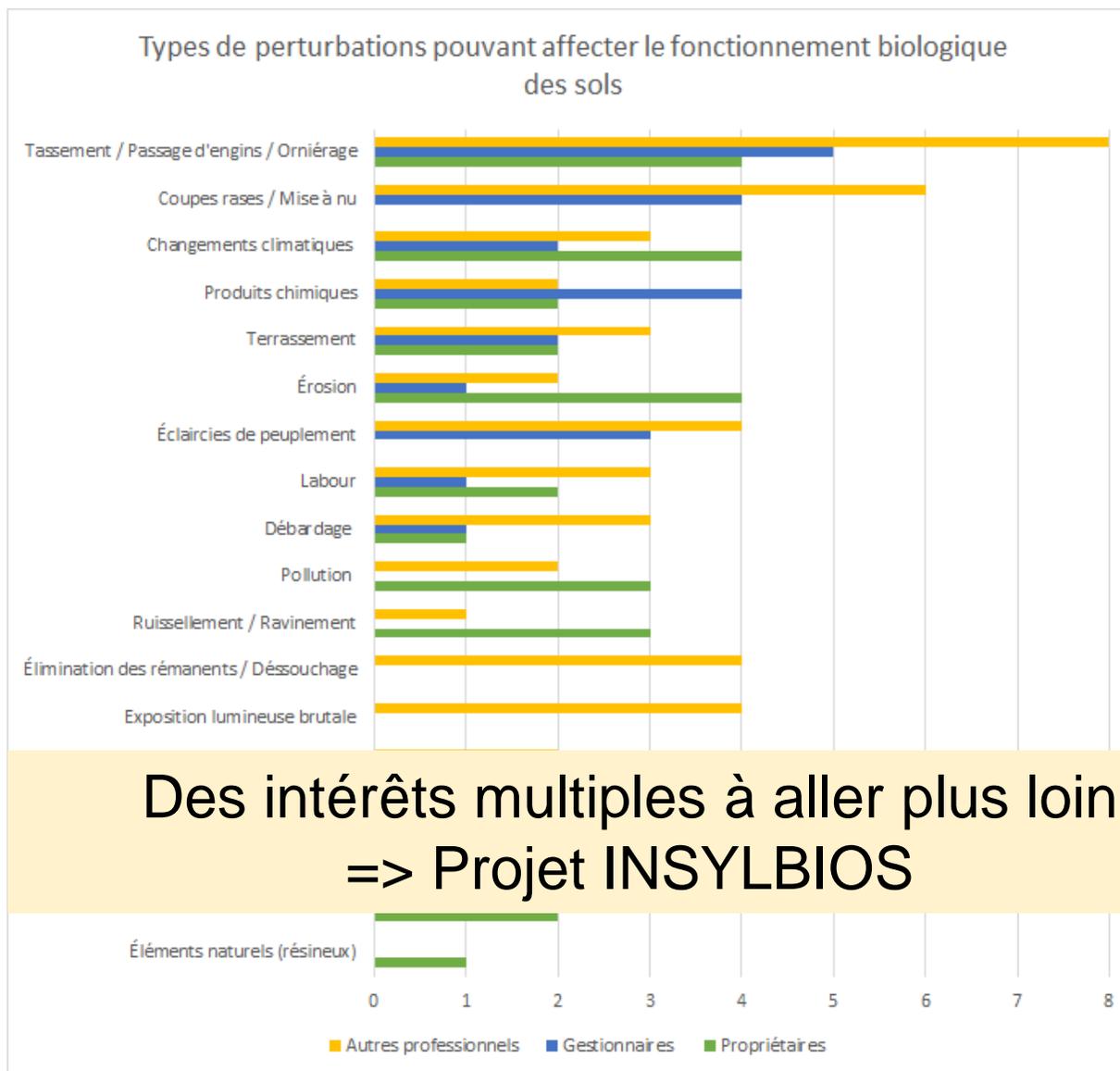
=> Série de questions pour déterminer le niveau de connaissances et plus particulièrement du compartiment « Biologie des sols »



## Enquête sociologique (stage M2, Sarah Rotiel)



## Enquête sociologique (stage M2, Sarah Rotiel)



Des intérêts multiples à aller plus loin  
=> Projet INSYLBIOS



# Temps d'échanges n°1



## II – Au cœur du projet InSylBioS : *Contexte et principaux enseignements*

« Mieux comprendre et **IN**tégrer dans les pratiques **SYL**vicoles le rôle de la **BIO**diversité des **S**ols dans le fonctionnement des forêts du sud du Massif central »



# Le projet InSylBioS en bref

## Quoi ?



Quels impacts de nos pratiques sylvicoles sur la biodiversité liée au sol : faune, champignons, flore ?  
-> Mieux intégrer la biodiversité des sols dans la gestion ?

## Qui ?

- Scientifiques spécialistes



partenaire



Conservatoire Botanique National



prestataires

- Gestionnaires / Opérateurs proches des problématiques opérationnelles de terrain



Porteur de projet

- Propriétaires



et leurs gestionnaires

## Quand ?

2020 à 2023

## Comment ?

Financements :



AGENCE NATIONALE DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES



# Le projet InSylBioS en bref

## Une campagne de terrain de 2021 à 2022

- Mesure d'un réseau de peuplements dominés par Hêtre / Douglas

Essence autochtone

Naturellement dominante à l'étage montagnard du Massif central dans de nombreuses stations

Enjeux de production modérés, mais existants



Essence allochtone

Nombreuses plantations à partir des 1960's

Forts enjeux de production

- Dans des situations stationnelles proches
- aux historiques de gestion contrastés



Douglas :  
Hêtre :

	Libre évolution		Eclaircies légères (G1)	Eclaircies moy. à fortes (G2)
	Forêt ancienne	Forêt récente	<i>Forêt ancienne Hêtre / récente Douglas</i>	
Douglas :	8 sites	8 sites	8 sites	8 sites
Hêtre :	8 sites	8 sites	8 sites	<b>56 sites au total</b>

# Les données disponibles

## Données issues du terrain

### Peuplement

Description  
peuplement :

- Surface terrière
- Structure (PB / BM / GB...)
- Hdom
- Hmoy

### Biodiversité

Flore (vasculaire +  
bryophytes)

Macrofaune du sol

Nématodes

ADN faune - fonge

### Station / sol

Description station + fosse  
pédologique

Analyses physico- chimiques

Minéralisation pot. de l'N

Formes d'humus

20

## Données complémentaires

### Historique de gestion

- Année de plantation  
(Douglas)
- Dates d'éclaircie et  
taux de prélèvements  
approximatifs
- Ancienneté état boisé

### Flore

Groupes écologiques :

- Affinités à la lumière, azote, humidité
- Espèces indicatrices de l'ancienneté
- Affinité forestière

**Macrofaune / nématodes / fonge**

Groupes trophiques





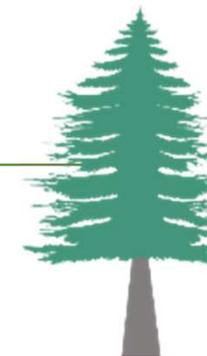
Conservatoire  
d'espaces naturels  
Occitanie



# 1 - Quels liens entre pratiques de gestion et biodiversité des sols ?

*Quelques résultats InSylBioS*

# Influence du régime d'éclaircie ?



## Dans le Douglas (données InSylBioS)

### Libre évolution (LER)

Plus favorable que G2 /G1 :

*Rien*

### Eclaircies légères (G1)

Plus favorable que LER pour



**Champi  
(RS) :**

- sapro
- mycor.



**Flore v. :**

- Totale (N, RS)- FA (RS)
- FA (RS)
- **For (RS)**
- Hélio (RS)



**Bryophytes :**

- FA (RS)



**Nématodes (N)**

Plus favorable que G2 pour :



**Nématodes  
(N)**



**Champi (RS):  
- mycor.**

### Eclaircies moy. à fortes (G2)

Plus favorable que LER pour :



**Flore v. :**

- Totale (N, RS)
- Hélio (RS)
- FA (N, RS)

Plus favorable que G1 pour :

*Rien*



## Dans InSylBioS : Hêtre *versus* Douglas

### Hêtre plus favorable que Douglas pour :

LE - Forêt ancienne	LE - Forêt récente
N Nématodes.g	N Nématodes.g
N Nématodes libres.g	RS FauneADN_O.g
<b>N Flore v. totale.p</b>	N Macrofaune <b>préd.</b>
N Flore forestière.p	N Flore forestière.p
RS FauneADN_S.g	<b>N Flore de forêt ancienne.p</b>
N Macrofaune.p	RS Champi.myco_S.g

- **Des groupes différents favorisés par l'une ou l'autre des essences**
- **Des réponses différentes de la biodiversité en fonction du contexte d'ancienneté**



### Douglas plus favorable que Hêtre pour :

LE - Forêt ancienne	LE - Forêt récente
RS Champi.patho_O.g	RS Flore forestière.g
RS Champi.patho_S.g	RS Flore de FA.g
RS Champi.sapro_S.g	RS Flore v. totale.g
RS Champi.tot_S.g	RS Flore héliophile.g

- **Une plus forte diversité de groupes favorisés par le Hêtre**



## 2 – Quels enseignements pour la gestion ?

*Résultats InSylBioS + synthèse biblio*

# Une synthèse pour la gestion

En tant que sylviculteur,	Que nous apprend le jeu de données InSylBioS ?	Qu'en retenir globalement pour la gestion ?
En tant que sylviculteur,	Que nous apprennent d'autres études scientifiques /expertises sur le sujet ?	Qu'en retenir globalement pour la gestion ?



## Le projet InSylBioS, synthèse pour la gestion

Quelques enseignements concrets du projet pour le sylviculteur : comment concilier gestion forestière et biodiversité des sols ?

C. Emberger, + contributeurs/relucteurs - Août 2023 [Version non finalisée]

*Cette synthèse constitue une première traduction des résultats du projet en enseignements pour la gestion. Elle s'appuie sur une analyse partielle des données et la synthèse bibliographique. Ces enseignements peuvent être amenés à évoluer en fonction d'analyses ultérieures.*

*La première partie présente et discute ces résultats et propose des pistes de poursuites d'analyses pour aller plus loin. La seconde partie récapitule les points les plus transférables, à ce stade, aux gestionnaires et propriétaires.*

Le projet InSylBioS visait à mieux comprendre les relations entre la sylviculture et la biodiversité des sols. Beaucoup de questions relatives à ces problématiques peuvent être identifiées. A travers le plan d'échantillonnage, nous avons choisi de nous focaliser sur trois modalités de gestion, questionnant les effets de l'intensité de l'éclaircie, de l'essence prépondérante et de l'ancienneté de l'état boisé. Des observations concernant les essences secondaires, bien que non ciblées par le plan d'échantillonnage, peuvent être déduites également. S'inscrivant dans un contexte régional, le Sud du Massif central, et portant sur deux essences, le Hêtre et le Douglas, nos résultats apportent des perspectives intéressantes, mais non généralisables, naturellement, à toutes les situations. Des enseignements issus du travail de bibliographie permettent d'élargir ces considérations, à d'autres contextes et à d'autres questions. Ainsi, des éléments concernant l'influence de la maturité des peuplements, non traité avec nos données à l'heure actuelle, ont été ajoutés ici.

**Pour plus de lisibilité :**

- Le texte apparaissant en noir correspond à des enseignements issus de la littérature scientifique (voir synthèse bibliographique pour les détails, annexe 1).
- Le texte apparaissant en bleu correspond à des enseignements issus de l'analyse de données du projet InSylBioS.
- Le texte apparaissant en orange constitue des pistes exploratoires pour la suite.

Concernant les résultats issus de l'approche de modélisation, seuls les résultats les plus significatifs sont résumés ici, à savoir :

- caux** dont la relation positive ou négative est observée dans au moins 95% des cas (significativité \* à \*\*\*).
- caux** dont la magnitude de la relation est :
  - forte** : supérieure à 10% dans plus de 95% des cas (+), le taxon apparait en caractères romans
  - très forte** : supérieure à 20% (+), le taxon apparait en caractères gras

Rapport final du projet InSylBioS - 2023

Annex

Je cherche à déterminer des taux de prélèvements pour mes éclaircies à venir	J'envisage de réaliser une coupe rase ou forte
Un mélange avec des essences secondaires est-il bénéfique pour la biodiversité des sols ?	Je cherche à réduire mes révolutions, est-ce problématique pour les sols ?
J'envisage de transformer ma Hêtraie en plantation de Douglas	Le bois mort concerne-t-il la biodiversité du sol





## En conclusion, que retenir pour la gestion ?

### Concernant les régimes d'éclaircie :

- **Favoriser les éclaircies de faible intensité (<25%)** semblent favorables à une majorité de groupes
- la surface terrière peut jouer défavorablement sur la flore, mais favorablement sur d'autres groupes (nématodes, macrofaune à préciser)
- le maintien de peuplements denses et fermés reste nécessaire pour certains groupes et certaines espèces



## En conclusion, que retenir pour la gestion ?

### Concernant l'essence prépondérante :

- Forte influence sur la biodiversité des sols présente : chaque essence favorise des **cortèges d'espèces différents** et variant en fonction du contexte d'ancienneté.



- Hêtre globalement favorable à des groupes plus variés que le Douglas -> **risque de perte de diversité fonctionnelle en cas de conversion d'un peuplement de Hêtre vers du Douglas**



### Concernant les essences secondaires

- intéressant pour la **faune du sol et le fonctionnement des humus** (à creuser dans données InSylBioS), même lorsque faiblement représentées  
-> présence d'essences secondaires **à privilégier en particulier dans les contextes où le recyclage de la MO est peu efficace** (substrat acides, plantations résineuses, humus de type moder à mor...)





## En conclusion, que retenir pour la gestion ?

### Concernant l'ancienneté de l'état boisé :

Dans InSylBioS, dans les forêts anciennes s'expriment davantage la flore forestière et de forêt ancienne (dans le Hêtre) et les champignons (dans le Douglas).

-> **privilégier les interventions légères en termes d'éclaircies et limiter le travail du sol dans les forêts anciennes.**



### Concernant la maturité:

- Le raccourcissement des révolutions joue défavorablement sur la diversité fonctionnelle du sol et sa fertilité à moyen terme.
- La libre évolution permet l'expressions de phases hétérotrophes et une partie de la biodiv du sol. Bois morts : favorables à la faune et fonge du sol
- En forêt gérée : maintien de bouquets d'arbres plus âgés au sein de peuplements plus jeunes pour maintenir une diversité au niveau de la faune et fonge ?

-> **Importance d'une trame de vieux bois pour la biodiversité du sol**





Conservatoire  
d'espaces naturels  
Occitanie

## 3 – InSylBioS : quelles suites ?

- **Avancer dans la compréhension du rôle de la biodiversité des sols pour la fonctionnalité à long terme des écosystème forestiers**

- Traitement des hypothèses InSylBioS sur les liens entre la biodiversité des sols sur la productivité forestière, la disponibilité en nutriments

- **Vers un outil de diagnostic de la sensibilité de la biodiversité des sols à la gestion ?**

- Progresser pour une **meilleure appréhension des formes d'humus** et de leur lien avec la biodiversité des sols
- Autres indicateurs : taxons bio-indicateurs ? Analyses de sols ? Analyses nématofauniques ?
- Multiplier les contextes d'application du protocole InSylBioS pour élargir les référentiels -> outil de diagnostic : **quelle sensibilité de la biodiversité des sols :**

Dans un contexte donné :

Substrat ?

Essences ?

Humus ?

Domaine biogéo ?

Ancienneté de l'état boisé ?

...

A une pratique de gestion donnée :

Coupe rase ?

Eclaircie légère ?

Eclaircie forte ?

Travail du sol ?

Transformation par plantation ?

...



# Merci pour votre attention

Et un grand merci...

## ... à l'équipe projet !

CRPF/CEN : Loïc Molines, Céline Emberger  
INRAE : Marion Vinot-Gosselin, Frédéric Gosselin, Yann Dumas  
ECODIV : Michaël Aubert, Lucie Vincenot, Vincent Moulin  
ELISOL : Camille Chauvin  
CEFE : Thibaud Decaëns  
CBN : Benoit Renaux, Gilles Corriol, Carole Hannoire  
Stages et CDD : Nicolas Roche, Blandine Baron, Sarah Rotiel



## ... au CRPF Occitanie

Lozère : Jean-Yves Magaud  
Gard : Christine Boyer  
Hérault : Jean-Michel d'Orazio  
Tarn : Pascal Mathieu, Magali Rossi  
Aveyron : Stéphane Serieye, Grégory Philippe  
**Et aux gestionnaires et propriétaires  
Pour leur aide dans la sélection des  
peuplements**

## ... aux financeurs



AGENCE  
NATIONALE  
DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES





Centre Régional  
de la Propriété Forestière  
OCCITANIE



Conservatoire  
d'espaces naturels  
Occitanie

## Temps d'échanges n°2