

Cursus ingénieur 1ère année
Pré-requis de domaine D1-D3

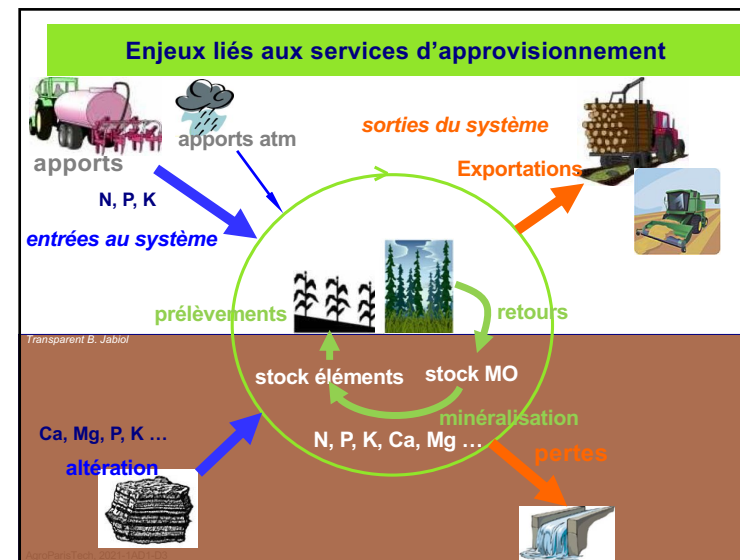


Cours 4 - Biotransformations du C et de l'N dans le sol

Claire Chenu
UMR Ecosys
chenu@agroparistech.fr



1

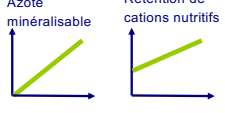


2

Enjeux liés aux services d'approvisionnement

- Maintien et amélioration des propriétés des sols

fertilité chimique



fertilité biologique

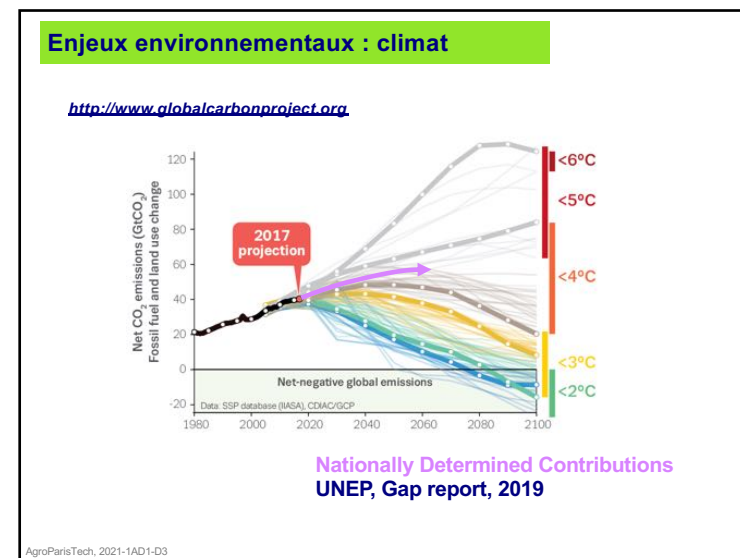


fertilité physique

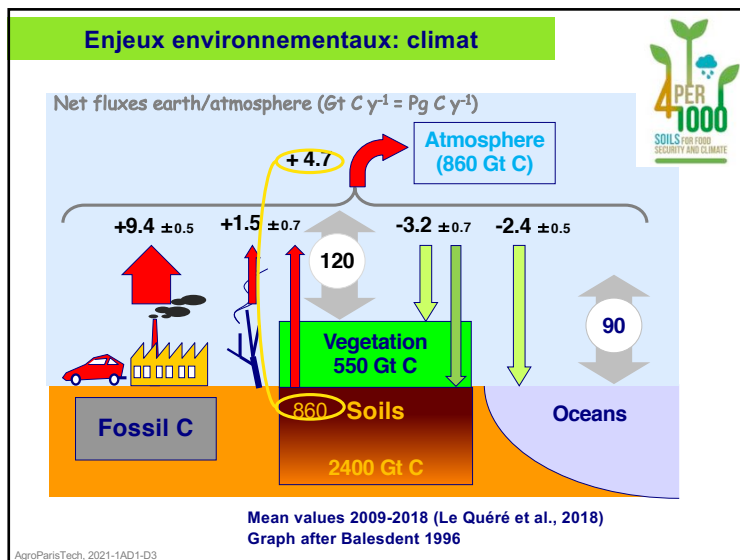


AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

3



4



5

PARIS2015
an official event of the
COP21-CMP11

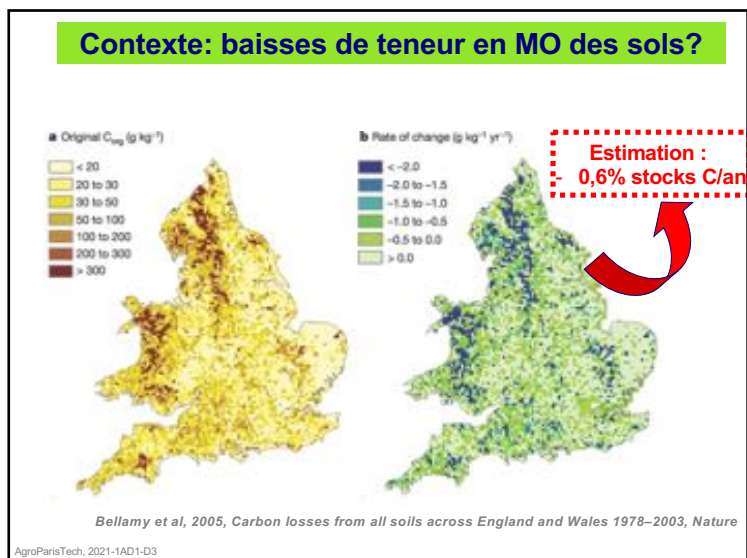
www.4p1000.org

JOIN THE 4%¹⁰⁰⁰ INITIATIVE

Soils for food security and climate

Building on solid scientific documentation and concrete actions on the ground, the "4%¹⁰⁰⁰ Initiative: soils for food security and climate" aims to show that food security and countering climate change are complementary and to ensure that agriculture provides solutions to climate change. This initiative consists of a voluntary action plan under the Lima Paris Agenda for Action (LPA), backed up by a strong and ambitious research program.

6



7

Le sol est le réceptacle des déchets des écosystèmes terrestres

- Litière
- Résidus de culture
- Racines et exsudats
- Cadavres animaux
- Déchets organiques (fumiers, composts, boues...)

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

8

Plan cours 4

1. Les enjeux liés aux cycles C et N dans les écosystèmes terrestres
2. Les biotransformations des matières organiques (carbone)
3. Les biotransformations de l'azote dans les sols et interactions C N
4. Conclusion

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

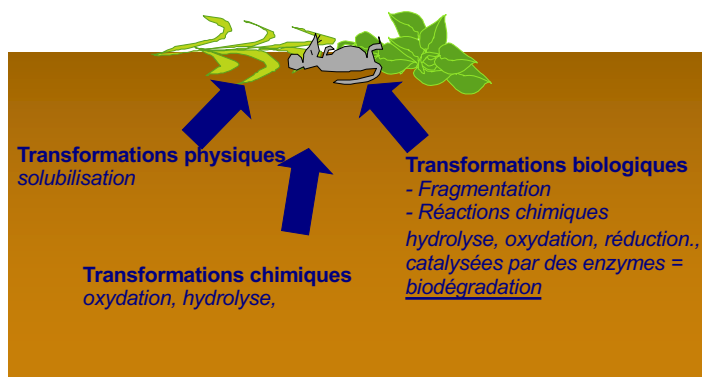
9

4.3. Les biotransformations des matières organiques (carbone)

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

10

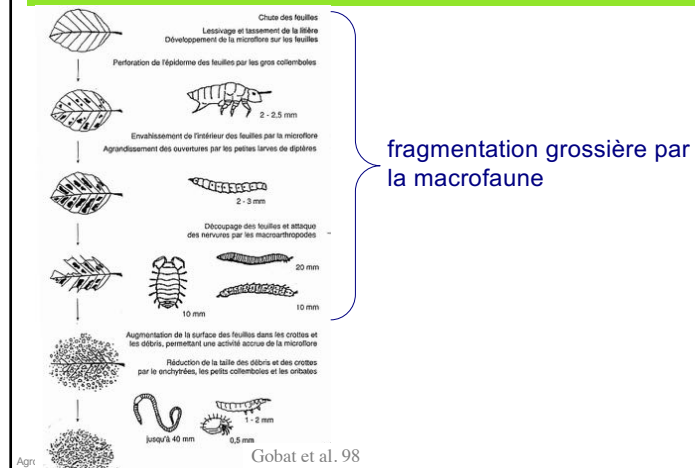
Devenir d'une matière organique qui arrive au sol:



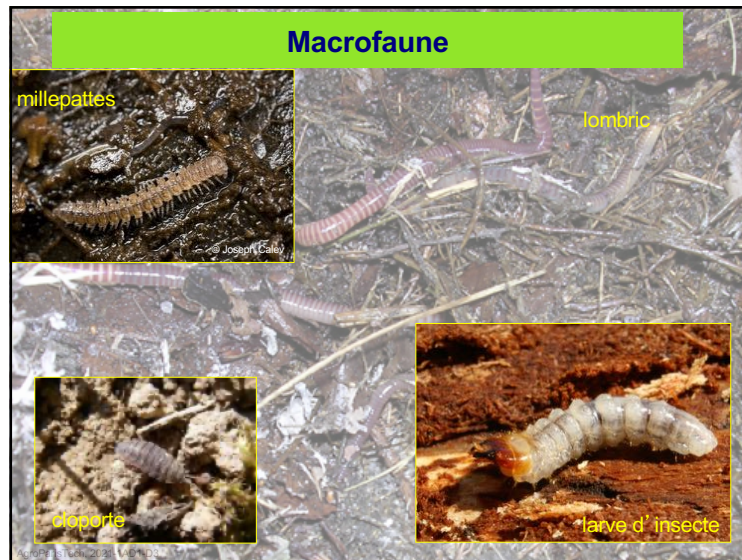
AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

11

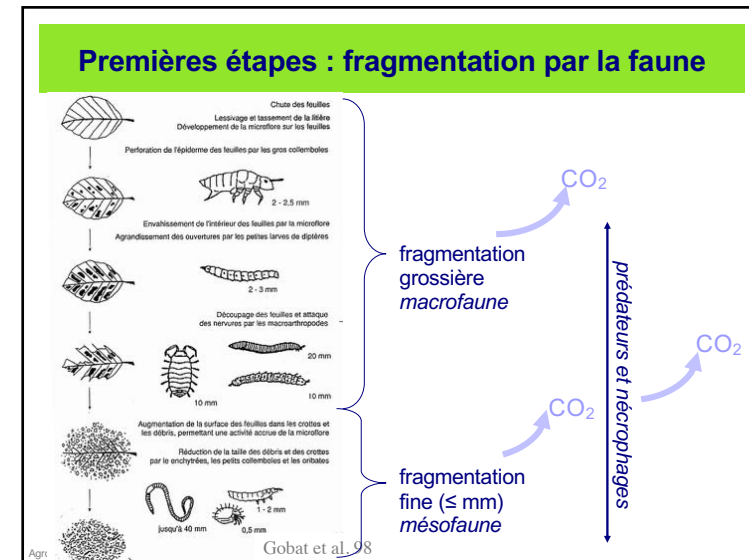
Premières étapes : fragmentation par la faune



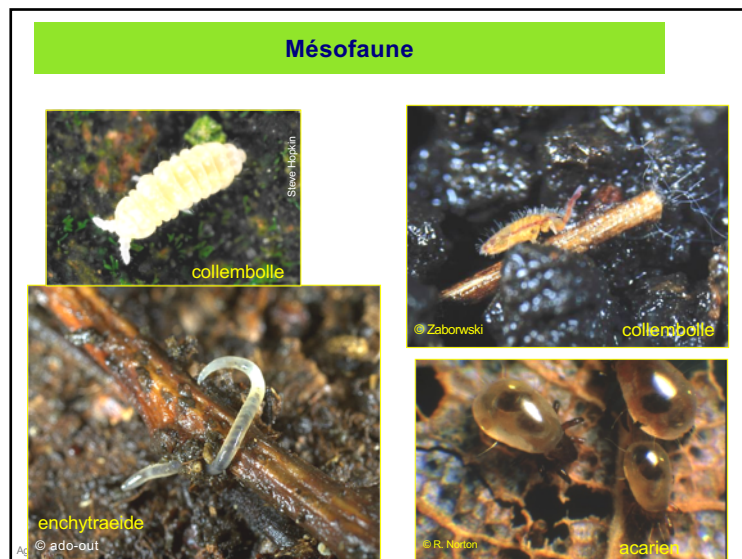
12



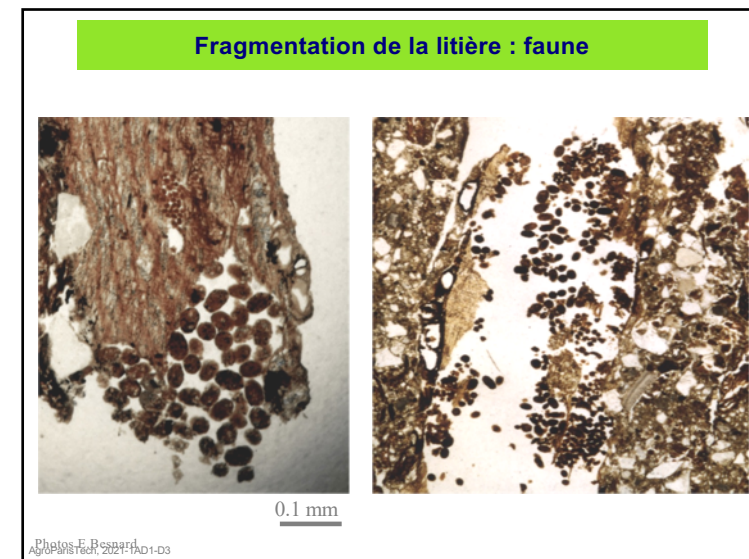
13



14



15



16

Les prédateurs et nécrophages



©D Broughton



©D Broughton



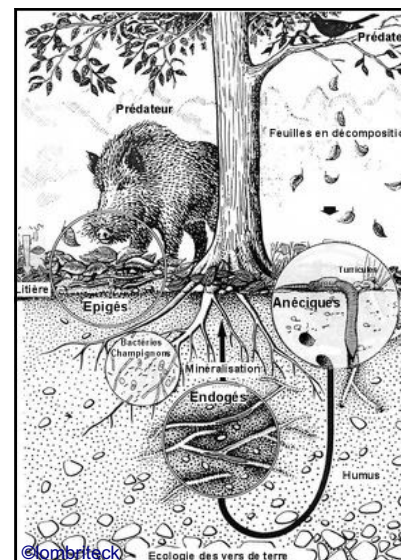
© aborvski



© R Brx

17

Vers de terre



Ingénieurs de l'écosystème

(termite, fourmis)

18

Contribution à la minéralisation

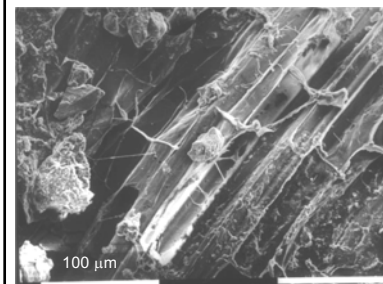
	C-CO ₂ (% total respiré)			
	Microorganismes	Vers de terre	Autres invertébrés	Total invertébrés
Sols cultivés (Pologne)	96,0	0,3	3,7	4,0
Forêt décidue (GB)	83,0	2,5	14,5	17,0
Savanne (Côte d'Ivoire)	80,0	9,5	10,5	20,0

In Lavelle & Spain, 2001

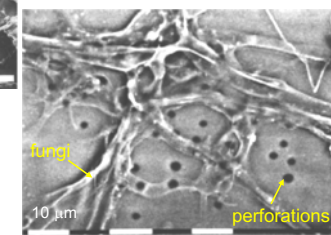
AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

19

Qui sont les décomposeurs ? Champignons

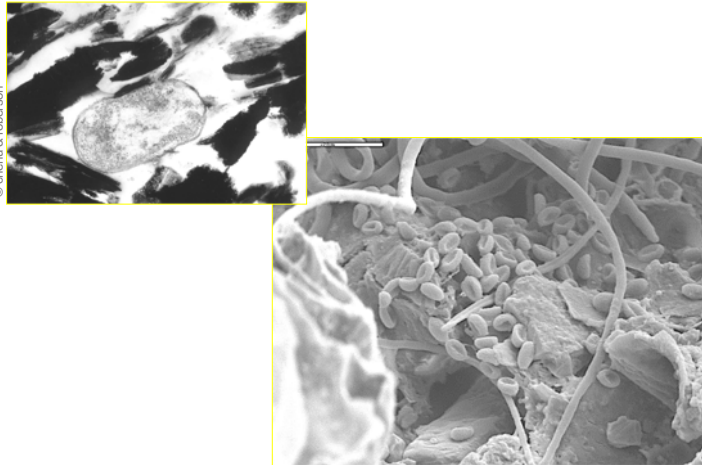


Pailles de blé incorporées au sol, t= 10 jours, observation au MEB

Chem, Fruit & Recous, 98
AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

20

Qui sont les décomposeurs ? Bactéries

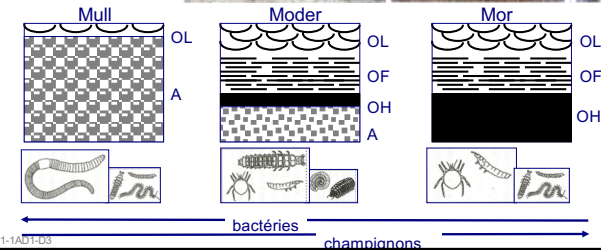


AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

21

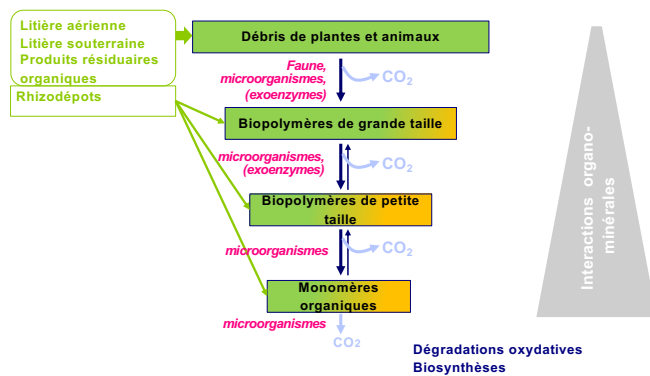
L'abondance relative des décomposeurs dépend du milieu

Types d'humus



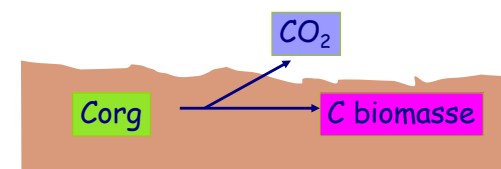
22

Transformations biochimiques : les étapes de la biodégradation



23

Le partage minéralisation / assimilation



• Rendement d'assimilation :

$$R = \frac{\text{biomasse formée}}{\text{biomasse} + \text{CO}_2}$$

R = 20- 60% selon les substrats et conditions

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

24

Cinétiques de biodégradation

• Cinétique d'ordre 1

- la vitesse de transformation est % à la concentration en substrat A

$$\frac{dA}{dt} = -k A$$

$$A_t = A_0 e^{-k t}$$

ou k = constante de vitesse

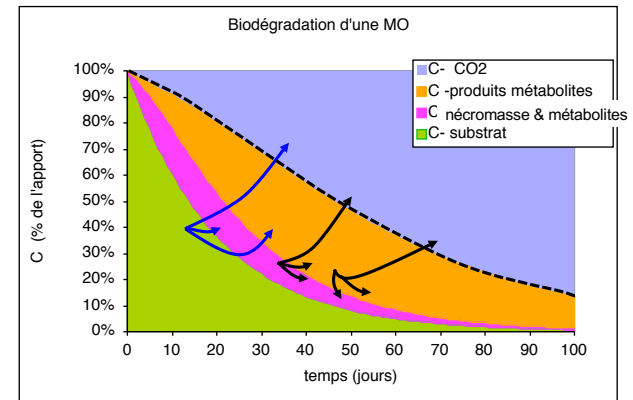
$1/k$ = temps de résidence moyen

temps de demi-vie $t_{1/2} = \ln 2/k$

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

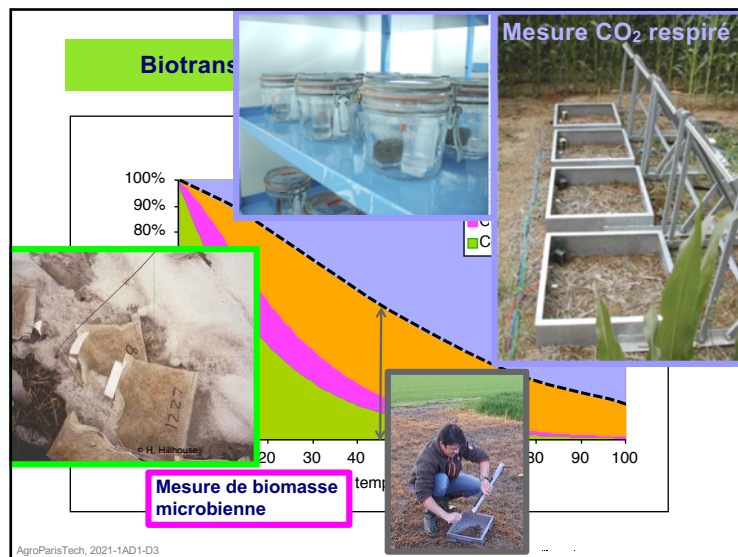
25

Biotransformations : devenir d'un apport



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

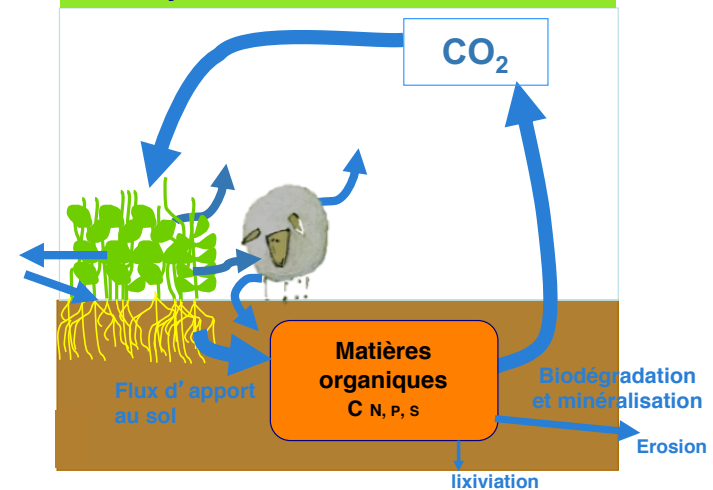
26



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

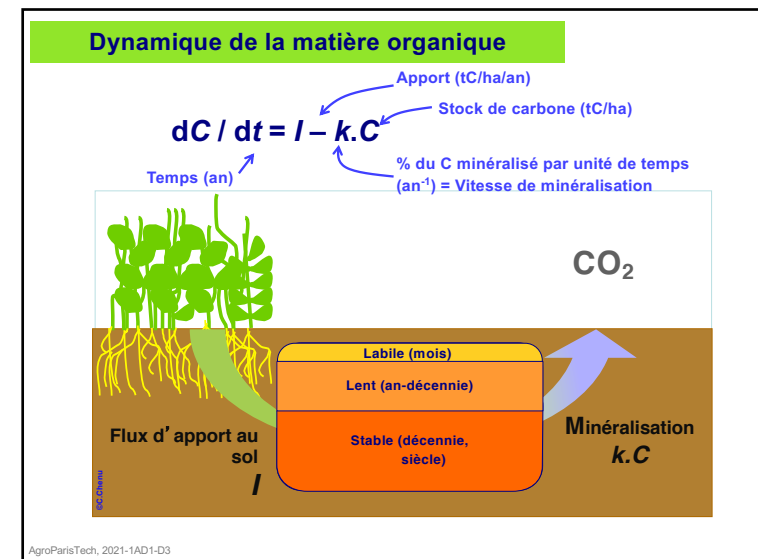
27

Le cycle du carbone à l'échelle locale



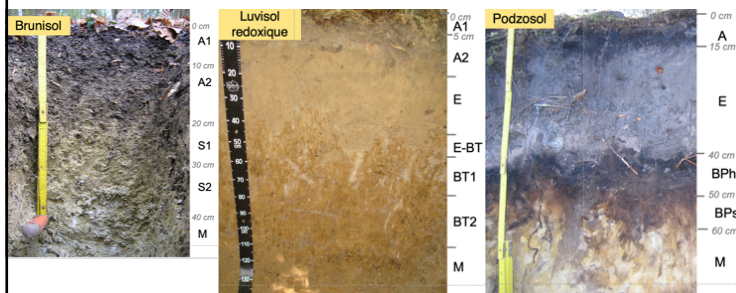
AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

28



Facteurs de la biodégradation

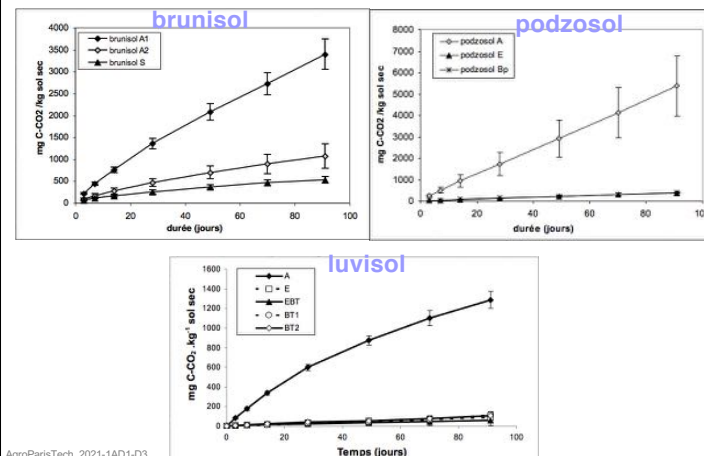
TD 1



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

33

Minéralisation basale: résultats



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

34

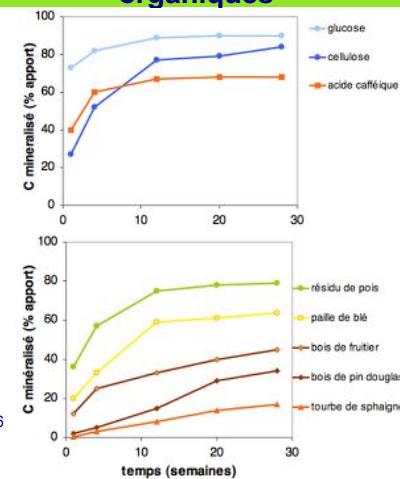
Biomasse et minéralisation basale: résultats

	horizons	Profondeur (cm)	Caractéristiques analytiques				Mesures biologiques	
			teneur en C (g C.kg ⁻¹)	C/N	teneur en argiles (g.kg ⁻¹)	pH	Biomasse microbienne au jour 0 (g C.kg ⁻¹ sol)	Minéralisation du C après 91 jours (% du C total du sol)
brunisol	A1	0-10	49.1 ± 9.5	16.0 ± 0.4	437 ± 15	7.5 ± 0.0	1.89 ± 0.29	6.91 ± 0.39
	A2	10-20	19.8 ± 8.0	10.5 ± 0.4	455 ± 20	7.7 ± 0.1	0.71 ± 0.32	5.47 ± 0.17
	S	20-40	10.5 ± 0.57	10.2 ± 7.0	454 ± 35	7.9 ± 0.2	0.31 ± 0.12	5.13 ± 0.23
podzsol	A	0-20	159.7 ± 24.5	26.3 ± 0.9	23 ± 10	4.8 ± 0.1	3.64 ± 0.13	3.33 ± 0.37
	E	20-60	14.2 ± 1.4	23.7 ± 1.0	15 ± 3	5.2 ± 0.1	0.069 ± 0.015	2.61 ± 0.53
	Bp	60-80	28.8 ± 1.3	25.8 ± 0.6	21 ± 4	5.1 ± 0.0	0.056 ± 0.020	1.32 ± 0.05
luvisol	A	0-25	26.9 ± 1.1	14.7 ± 0.7	160 ± 2	5.8 ± 0.2	1.08 ± 0.04	4.78 ± 0.31
	E	25-45	6.1 ± 0.4	13.8 ± 0.6	146 ± 5	4.9 ± 0.0	0.24 ± 0.01	1.46 ± 0.19
	E+BT	45-60	2.1 ± 0.3	8.6 ± 1.2	275 ± 32	4.9 ± 0.1	0.03 ± 0.01	1.48 ± 1.63
	BT1	60-80	1.6 ± 0.0	7.1 ± 0.1	365 ± 7	5.2 ± 0.0	0.02 ± 0.00	1.32 ± 0.13
	BT2	80-105	1.6 ± 0.0	7.2 ± 0.2	381 ± 22	5.3 ± 0.0	0.02 ± 0.00	1.36 ± 0.24

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

35

Facteurs de la biodégradation : nature des matières organiques



Haider & Martin 1986

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

36

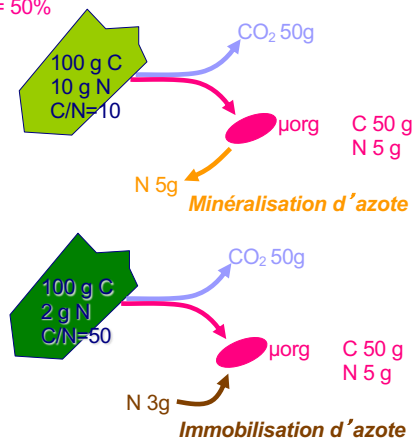
Facteurs de la biodégradation: disponibilité de l'azote

μ org:

Rendement d'assimilation = 50%

C/N=10

	C/N
Bactéries	5-7
Champignons	8-13
Luzerne	13
Feuilles de décidu	45-70
Aiguilles de Pin	60-70
Pailles de céréales	80-120
Lisier de porcherie	6
Boue résiduaire	7
MO des sols	10

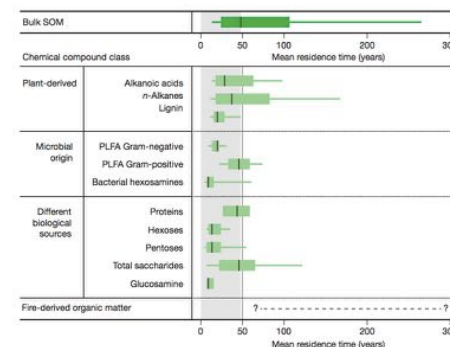


AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

37

Facteurs de la biodégradation : nature des matières organiques

Temps de résidence de molécules organiques dans les sols : synthèse de données renouvellement du C de familles moléculaires GC-C-IRMS (^{13}C)

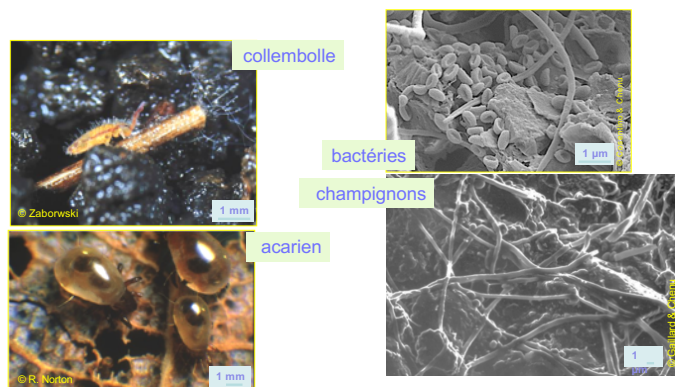


Amelung et al. 2008, Adv Agron dans
Schmidt et al. 2011

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

38

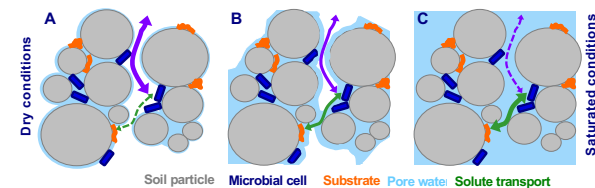
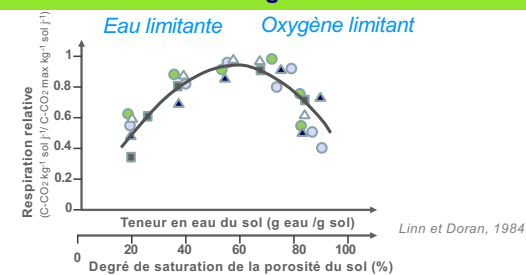
Abondance et nature des décomposeurs



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

39

Facteurs de la biodégradation : eau et air



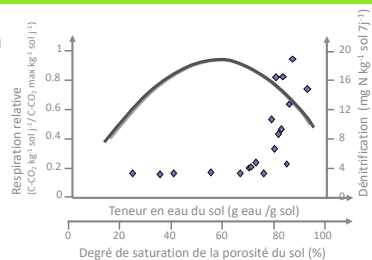
AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

Moyano et al. 2013, Soil Biol Biochem

40

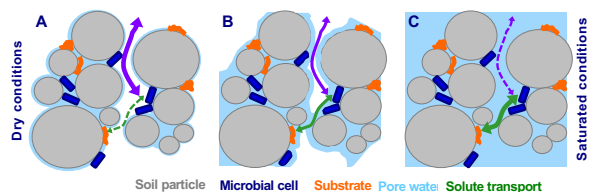
Facteurs de la biodégradation : eau et air

Respiration
aérobie



Dénitrification
= Respiration
anaérobie

Linn et Doran, 1984



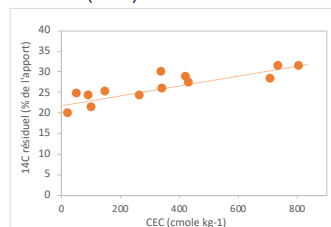
AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

Movano et al. 2013, Soil Biol Biochem

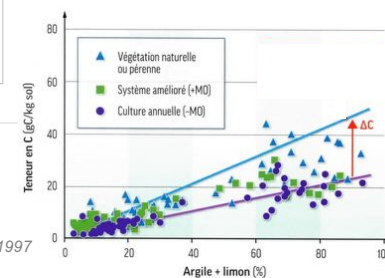
41

Facteurs de la biodégradation: texture

Incubation de luzerne ^{14}C pendant 66 semaines dans des sols de différentes textures (CEC):



Amato & Ladd, 1992



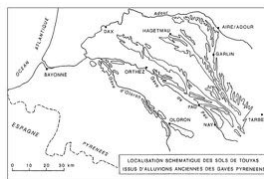
Feller & Beare, 1997

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

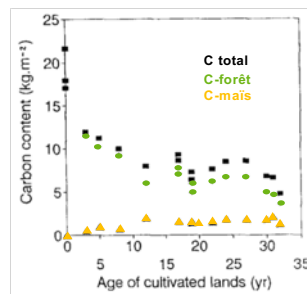
42

Facteurs de la biodégradation: structure

- Sols limoneux humiques dans le Sud Ouest de la France
forêt -> culture, horizon 0-30 cm



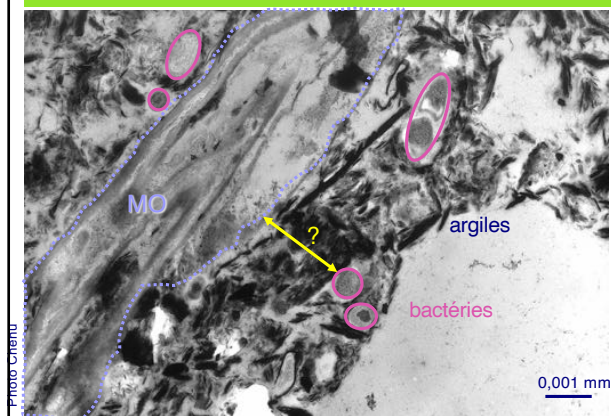
Arrouays et al. 1996



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

43

Accessibilité des MO aux microorganismes



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

44

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

45

Schmidt et al. 2011, Nature

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

46

AgroP:

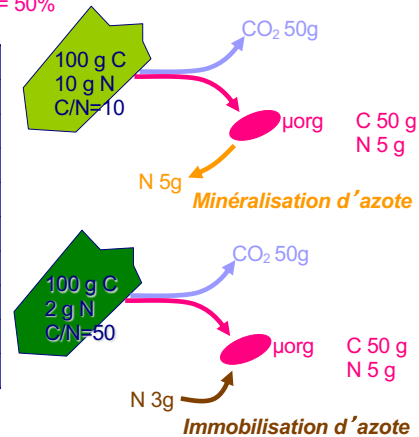
47

48

La disponibilité de l'azote contrôle la minéralisation du C

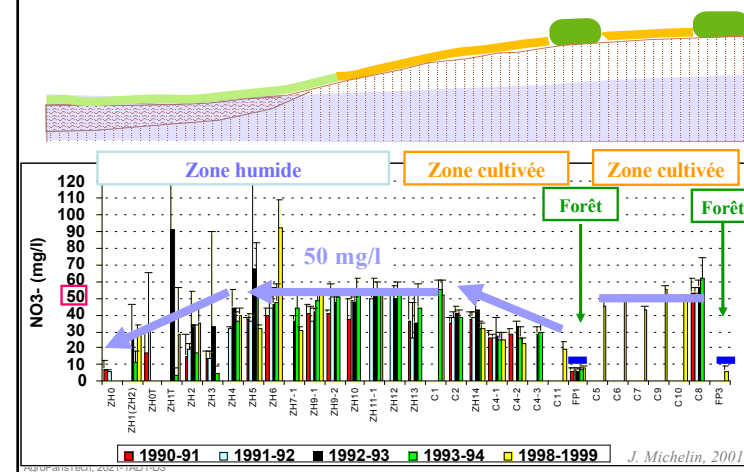
μorg:
Rendement d'assimilation = 50%
C/N=10

	C/N
Bactéries	5-7
Champignons	8-13
Luzerne	13
Feuilles de décidu	45-70
Aiguilles de Pin	60-70
Pailles de céréales	80-120
Lisier de porcherie	6
Boue résiduaire	7
MO des sols	10



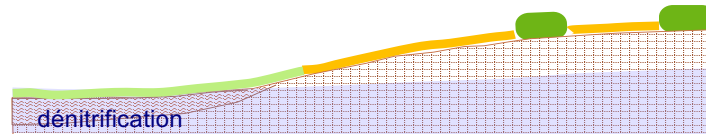
AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

Bassin versant des Roises (Champagne): teneurs moyennes en nitrates de la nappe



Agropar Institute, 2021-2022

Bassin versant des Roises (Champagne): teneurs moyennes en nitrates de la nappe



A l'aval : zone humide

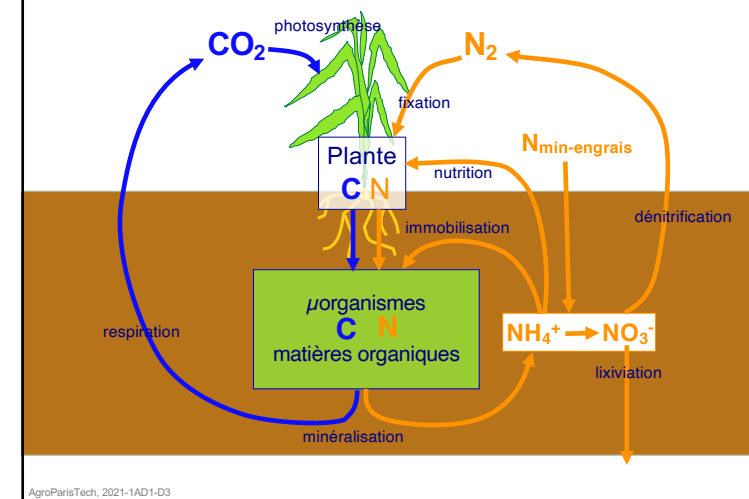


Corg + nitrates + anoxie: dénitrification

J. Michelin, 2001

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

Cycles couplés C et N dans les sols



AgroParisTech, 2021-1AD1-D0

Dynamiques C et N

- Couplées à l'échelle des microorganismes (C/N, dispo N minéralisation, dénitrification...)
- Importance : décomposition, disponibilité N, faim d'N, réduction fuite nitrates, émissions de N_2O ..
- Hétérogénéité spatiale des biotransformations à l'échelle du paysage: conditions physiques et physico-chimiques, transferts

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

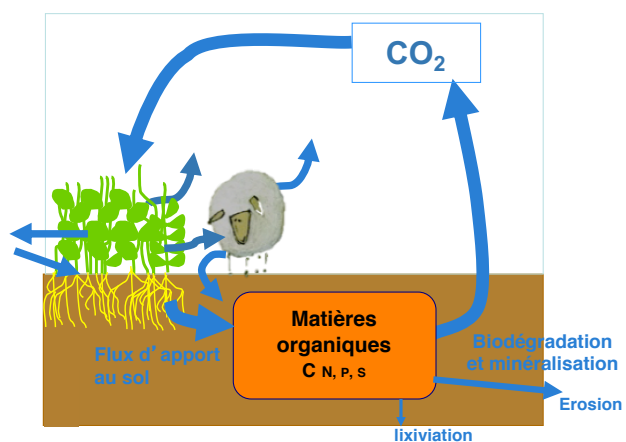
53

6. Conclusion

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

54

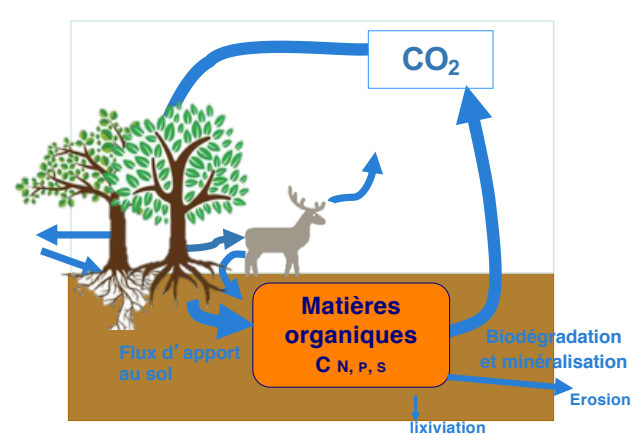
Stocker du carbone dans les sols: comment faire?



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

55

Stocker du carbone dans les sols: comment faire?



AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

56

Ce qu'il faut savoir-1

- Les sols du monde contiennent plus de C sous forme de matières organiques des sols qu'il n'y a de C dans l'atmosphère
- Les matières organiques (biomasse, déchets) arrivant au sol y subissent des transformations physiques, chimiques et surtout biologiques. La biodégradation est un ensemble de réactions de dégradation oxydatives réalisées par les organismes vivants du sol. Les microorganismes sont les principaux acteurs de ces biotransformations.
- Les matières organiques sont un ensemble hétérogène et en perpétuel renouvellement de constituants organiques hérités ou néoformés : débris végétaux en cours de décomposition, organismes vivants, composés solubles, charbons, matières organiques de petite taille associées aux minéraux (humus)
- Aspects quantitatifs: Le rendement d'assimilation des microorganismes ($=C$ biomasse formée/ C assimilé) est une variable importante. Les biotransformations sont décrites par des cinétiques d'ordre 1.

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

57

Ce qu'il faut savoir-2

- Le temps de résidence du carbone dans le sol est très hétérogène (jours à millénaires).
- Les facteurs de la biodégradation sont la nature chimique des matières organiques (biochimie, C/N), l'abondance et la diversité des organismes vivants, les caractéristiques de l'environnement (eau, air...), la texture et la structure du sol
- La combinaison de ces facteurs explique la diversité des temps de résidence des composés organiques dans un sol et selon les sols.
- L'évolution des stocks de carbone dans les sols dépend du bilan des entrées (entrées de biomasses au sol) et sorties (minéralisation surtout et érosion)
- Il y a un fort couplage entre les biotransformations du carbone et de l'azote dans les sols

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

58

Conclusion

- Les sols occupent une place majeure dans le cycle de C et N dans les écosystèmes terrestres
 - Diversité des biotransformations
 - Flux importants en jeu
 - Conséquences : végétation, qualité air, eau, biodiversité
- Echelles de temps et d'espace diverses
- Diversité des processus, interactions entre processus (Φ , X, bio)

Comprendre pour prévoir et gérer

AgroParisTech, 2021-1AD1-D3

59