



CSEA

Cartes de Santé des
Écosystèmes Agricoles

Que sont les CSEA ?

Les CSEA ou Cartes de Santé des Écosystèmes Agricoles sont des **manuels pratiques** qui nous expliquent de façon simple comment nous pouvons diagnostiquer nous-mêmes l'état de santé de différents écosystèmes agricoles ou "agroécosystèmes". Au-delà de nous informer sur leur état actuel, elles nous permettent d'évaluer l'impact que peut avoir sur cette santé tout changement que nous introduirions dans ces agroécosystèmes (par exemple, une pratique agraire).

Pour ce faire, les CSEA nous expliquent en détail les indicateurs de santé à mesurer, les procédés, le sens de chacun des indicateurs et les plages de valeurs considérées comme "bonnes", "passables" et "mauvaises", et nous donnent une série de conseils finaux pour les améliorer.

Usage agricole

Les CSEA étant spécifiquement conçues pour diagnostiquer l'état de santé **d'écosystèmes agricoles**, leur usage NE CONVIENT PAS à d'autres types d'agroécosystèmes (prairies permanentes, par exemple, pour lesquelles il existe déjà les Cartes de Santé des Écosystèmes Pastorales). Pour cela, il faudrait introduire certains changements dans les indicateurs à mesurer, ainsi que dans leurs valeurs de référence.

Elles ont été mises au point par NEIKER-Institut basque de Recherche et Développement Agraire, BLE-Biharko Lurraren Elkartea, ENEEK-Conseil de l'Agriculture et de l'Alimentation Bio d'Euskadi et ABERE-Zerbitzu Teknikoak Kooperatiba Sozietatea, au sein d'un projet commun financé par l'Eurorégion Aquitaine-Euskadi (Appel d'offres 2013).

Leur principal objectif est de doter les techniciens et les agriculteurs (professionnels et non professionnels) d'un nouvel outil - les CSEA - qui leur permette de connaître par eux-mêmes l'impact de leurs pratiques agricoles sur la santé de leurs agroécosystèmes et ainsi pouvoir opter pour les alternatives de gestion

agricole qui se seront démontrées être les plus durables du point de vue socioéconomique (production agricole) et environnemental (conservation de la biodiversité et lutte contre le changement climatique).

Qui peut utiliser les CSEA ?

Tout le monde peut utiliser les CSEA, grâce à ce qu'elles comportent une série d'indicateurs dits "de base" qui permettent de mesurer et d'interpréter sans nécessité d'une formation spécifique préalable ni dépenser de l'argent. Comment ? Simplement en suivant le manuel et avec un instrumental maison. Avec les résultats de ces indicateurs nous pouvons diagnostiquer l'état de santé de notre agroécosystème à un niveau élémentaire, à la page 51 du manuel.

Pour un diagnostic plus complet, il est nécessaire de mesurer en outre une série d'indicateurs dits "professionnels" qui exigent plus d'équipement et une formation préalable. Ces nouvelles analyses peuvent être demandées à NEIKER (www.neiker.net) et leurs résultats permettent d'effectuer un diagnostic professionnel de la santé de l'agroécosystème (p. 52).

3. Suelo	3.1. Físico-Erosión (gama vs. pierda) Pág. 16	60 - 30	30 - 10	10 - 0	6	7,3
	3.2. Físico-Tiempo de infiltración (min) Pág. 17	0 - 10	10 - 20	20 - 40	6	
	3.3. Físico-Compactación (cm) Pág. 18	3-4,5 ó 8-9	4,5-5,5 ó 8-7	5,5-7	9	
	3.4. Químico-Acidoz/Alcalinidad (pH) Pág. 19	Ninguna Pálido	Débil Medio	Fuerte Oscuro	8	
	3.5. Químico-Materia orgánica (reacción /color) Pág. 20	Pálida ó anormal	Media	Uniforme y oscura	8	
	3.6. Químico-Nutrientes minerales (coloración) Pág. 21	Ver pág. 23	Ver pág. 23	Ver pág. 23	6	
	3.7. Químico-Pesticidas/contaminantes (uso) Pág. 22	0 - 15	15 - 35	35 - 50	7	
	3.8. Biológico-Actividad (% degradación) Pág. 24	0 - 3 ó -20	3 - 7 ó 10-20	7 - 10	7	
	3.9. Biológico-Lombrices (nr) Pág. 25	Superficial	Medio	Profundo	8	
	3.10. Biológico: Raíces (desarrollo) Pág. 26	Ninguna Pálido	Débil Medio	Fuerte Oscuro	7	
4. Cambio climático	4.1. Materia orgánica (reacción y color) Pág. 27	Ver pág. 29	Ver pág. 29	Ver pág. 29	8	
	4.2. Sistema de producción (gama vs. pierda C) Pág. 28					Nota Final 7,4

Comment les CSEA nous indiquent-elles la santé d'un agroécosystème ?

Chaque fois que nous mesurons un indicateur en suivant les instructions du manuel (pp. 1-51), nous allons comparer notre résultat aux valeurs de référence considérées "mauvaises", "passables" ou "bonnes" dans les tableaux de collecte de données (pp. 51 et 52) et ainsi attribuer une valeur de 1 à 10 à chaque indicateur (valeur de l'indicateur : avant-dernière colonne de la table).

Tant sur la table du diagnostic "de base" (p. 51) que sur celle du diagnostic avancé ou "professionnel" (p. 52), les indicateurs se trouvent regroupés en quatre services, ceux que nous procurent les agroécosystèmes sains : 1. Ils produisent des aliments ; 2. Ils préservent la biodiversité ; 3. Ils soignent le sol ; 4. Ils atténuent le changement climatique. Pour connaître l'état de chacun de ces services, nous calculons la moyenne des indicateurs de façon à savoir dans quelle mesure -de 1 à 10- notre agroécosystème est apte à procurer ce service (valeur de service; dernière colonne).

Finalement, le **diagnostic global de santé** de notre agroécosystème est réalisé en calculant la moyenne des quatre services de façon à obtenir une note de 0 à 10 (Note finale*, dernière case).

*Précision 1 : Un agroécosystème est censé être sain s'il est en mesure d'offrir tous les quatre services clés indiqués dans la table. Ainsi donc, une valeur inférieure à 5 dans l'évaluation de l'un quelconque des services écosystémiques entraînera un diagnostic global "mauvais", même si la moyenne globale est supérieure à 5.

*Précision 2 : S'il vous est impossible de mesurer tous les indicateurs ou services de la table, vous pourrez cependant réaliser le diagnostic à partir des indicateurs et des services que vous aurez pu mesurer. Mais comme ceci pourrait affecter la fiabilité et le caractère global prétendu du diagnostic, nous conseillons de les mesurer tous ou, du moins, les 8 indicateurs de base que nous avons signalés comme "indispensables" (2 par service).

Avant de commencer...

Quand utiliser les CSEA ?

En règle générale, les mesures doivent être faites quand le terrain et le climat sont plus stables, car les propriétés du sol (notamment celles de type biologique) varient selon les saisons et les pratiques agricoles, comme le labour. C'est pourquoi la meilleure époque est quand approche la récolte d'automne ou de printemps, moment où les températures sont douces et le travail du sol est plus éloigné dans le temps.

Au sein de cette période, essayez d'effectuer vos mesures dans un délai de 2-3 jours après une pluie significative, de façon à éviter que le sol soit excessivement humide ou sec (idéalement, à capacité au champ). Évitez également les jours/moments du jour particulièrement froids ou chauds, car là aussi l'activité des organismes vivants est altérée.

Où utiliser les CSEA ?

La réponse à cette question va dépendre de la méthode choisie pour effectuer le suivi de santé de votre agroécosystème. Il existe deux façons de procéder :

PAR PARCELLE : Choisissez une parcelle comme "représentant" de votre agroécosystème et réalisez vos prélèvements toujours sur elle, indépendamment de la culture qu'elle reçoit chaque année. Pour suivre son évolution, il vous faudra répéter le diagnostic chaque année (si vous répétez la culture) ou à la fin de chaque rotation (si la culture change) lorsque les conditions sont comparables (par exemple, tous les 4 ans lorsque vous reprenez une culture de tomates sur cette parcelle).

PAR CULTURE : Choisissez une culture comme "représentant" de votre agroécosystème et réalisez vos prélèvements toujours sur la parcelle qui accueille cette culture, même si elle change d'endroit. Cette méthode

permet de répéter le diagnostic chaque année indépendamment des rotations, mais elle ne convient PAS aux terrains qui ne sont pas particulièrement uniformes (pente, orientation, type de sol, etc.).

Indépendamment de la modalité de suivi choisie, les prélèvements de sol devront toujours être effectués entre les lignes de culture et en évitant les irrégularités (traces de roue des machines, etc.).

Comment utiliser les CSEA ?

Suivez fidèlement les instructions du manuel, car la fiabilité de votre diagnostic en dépend. Et assurez-vous de le faire toujours de la même façon (même personne, technique, etc.) pour que les résultats soient comparables et que vous puissiez réellement suivre leur évolution.

Et surtout... COURAGE! Ne vous découragez pas si au début vous trouvez des valeurs pauvres dans votre agroécosystème, car elle dépendent de son usage passé et des conditions édapho-climatiques naturelles locales, contre lesquelles on ne peut (ni ne doit) lutter. Si vous voulez connaître l'importance de ces conditions locales, vous pouvez toujours réaliser vos mesures sur un écosystème naturel riverain qui vous servira de référence.

En tout état de cause, sans nécessité de vous comparer à personne, ce qui compte surtout, c'est que vous perceviez une évolution positive de la santé de votre agroécosystème au fil du temps, comme résultat de vos bonnes pratiques. C'est pourquoi nous insistons à nouveau sur le fait qu'il est très important que les conditions pendant la mesure (quand, où et comment mesurer) soient toujours les mêmes, dans la mesure de vos possibilités.

Au boulot!

Diagnostic de Santé de Base

Que me faut-il comme outils ?

- **Poids (0-10kg)** – Pour peser les récoltes (Indicateur de base 1.1).
- **Loupe (10X)** – Pour identifier les ravageurs (Indicateur de base 1.2).
- **Pelle plate** – Mesure macrofaune, lombrics et racines (Indicateurs de bases 2.4, 3.9 et 3.10).
- **Ampoule (50W), passoire (1mm) et entonnoir** – Mesure de la mésofaune (Indicateur de base 2.5).
- **Tige (8 mm Ø) graduée** – Érosion et compactage (Indicateurs de bases 3.1 et 3.3).
- **Cylindre (10 cm Ø) et marteau** – Mesure de la capacité d'infiltration (Indicateur de base 3.2).
- **Bandelettes de pH, acide chlorhydrique (HCl 10%) et eau oxygénée (110vol)** – pH et matière organique (3.4 et 3.5).
- **Cordelette de sisal (3 mm Ø)** – Mesure de l'activité biologique (Indicateur de base 3.8).
- **CSEA** – Pour réaliser les mesures selon vos indications et noter les résultats.



Comme vous pouvez le voir, vous n'avez besoin d'aucun outil sophistiqué pour faire un diagnostic objectif de la santé de votre agroécosystème au niveau de base. Nous vous expliquons dans les pages qui suivent quels sont les indicateurs à mesurer et comment le faire, un par un.

Diagnostic de Base

1^{er} Service d'un agroécosystème : Produire des aliments

Indispensable!

Indicateur de base 1.1. Récolte (g/plante)

Bien évidemment, cette mesure va dépendre de la culture choisie. Pour cela, vous trouverez ci-dessous une table avec les récoltes que l'on peut attendre pour les cultures les plus communes, selon le cadre de plantation indiqué et en tenant compte d'une culture hors ou en serre. Dans la mesure où nous effectuons un diagnostic de base, pour faciliter la tâche nous allons mesurer la récolte en grammes de fruit frais par plante (fruits de une plante de tomate ou poids d'une laitue, par exemple).

Comparez votre récolte aux valeurs de référence de la table de diagnostic de base (p. 51) et attribuez en conséquence une valeur de 0 à 10 à cet indicateur. Notez-la dans la case correspondante.

Important ! Il convient de répéter votre mesure en différents points ("répliques") de votre parcelle et d'utiliser la valeur moyenne de ces répliques, ce qui représentera beaucoup mieux votre agroécosystème qu'une unique mesure. Cet avertissement vaut pour tous les indicateurs que nous mesurons, 4 répliques étant en général suffisantes (sauf sur des parcelles très irrégulières).

Pourquoi mesurons-nous la récolte ?

La récolte que nous obtenons, outre sa valeur en elle-même, nous indique la vigueur de notre agroécosystème. À l'instar de ce qui se passe avec les personnes, le manque de vigueur d'un agroécosystème est fréquemment lié à une mauvaise santé.



Table de Récoltes Attendues (G/Plante)

FAMILLE	CULTURE	0 < 3	3 - 7	> 7 - 10
Solanacées	Tomate à l'extérieur (1,85 plantes/m ²)	0 - 1027	1027 - 2378	2378 - 3405
	Tomate en serre (1,85 plantes/m ²)	0 - 2270	2270 - 5243	5243 - 7514
	Piment à l'extérieur (2,86 plantes/m ²)	0 - 301	301 - 699	699 - 1014
	Piment en serre (2,86 plantes/m ²)	0 - 455	455 - 1084	1084 - 1538
	Pomme de terre (4,75 plantes/m ²)	0 - 421	421 - 968	968 - 1368
Légumineuses	Fève (15 plantes/m ²)	0 - 31	31 - 73	73 - 100
	Févette (7 plantes/m ²)	0 - 21	21 - 49	49 - 70
	Petit pois (25 plantes/m ²)	0 - 18	18 - 44	44 - 60
	Haricot (16 plantes/m ²)	0 - 25	25 - 58	58 - 81
	Haricot vert à l'extérieur (16 plantes/m ²)	0 - 46	46 - 106	106 - 156
	Haricot vert en serre (16 plantes/m ²)	0 - 75	75 - 175	175 - 250
Crucifères	Chou (4 plantes/m ²)	0 - 675	675 - 1550	1550 - 2225
	Chou de Bruxelles (2,5 plantes/m ²)	0 - 840	840 - 1960	1960 - 2800
	Brocoli (2,9 plantes/m ²)	0 - 207	207 - 483	483 - 690
	Chou-fleur (2,4 plantes/m ²)	0 - 708	708 - 1625	1625 - 2333
	Colza (30 plantes/m ²)	0 - 5	5 - 12	12 - 18
	Navet fourrager (70 plantes/m ²)	0 - 20	20 - 47	47 - 67
Composées	Laitue à l'extérieur (13 plantes/m ²)	0 - 138	138 - 315	315 - 454
	Laitue en serre (13 plantes/m ²)	0 - 177	177 - 415	415 - 585
	Tournesol (6 plantes/m ²)	0 - 18	18 - 45	45 - 63
Liliacées	Oignon à l'extérieur (15 plantes/m ²)	0 - 107	107 - 247	247 - 353
	Oignon en serre (15 plantes/m ²)	0 - 120	120 - 280	280 - 400
	Poireau (25 plantes/m ²)	0 - 56	56 - 128	128 - 184
Chénopodiacées	Betterave (10 plantes/m ²)	0 - 380	380 - 890	890 - 1280
	Poirée (6,5 plantes/m ²)	0 - 323	323 - 754	754 - 1092
	Épinard (20 plantes/m ²)	0 - 45	45 - 105	105 - 150
Ombellifères	Carotte (40 plantes/m ²)	0 - 43	43 - 100	100 - 145
Cucurbitacées	Citrouille (0,4 plantes/m ²)	0 - 3750	3750 - 8500	8500 - 12250
Graminées	Blé (300 plantes/m ²)	0 - 1,0	1,0 - 2,4	2,4 - 3,7
	Orge (300 plantes/m ²)	0 - 1,0	1,0 - 2,3	2,3 - 3,3
	Maïs fourrager (9 plantes/m ²)	0 - 322	322 - 744	744 - 1067
	Ray-grass annuel (300 plantes/m ²)	0 - 6	6 - 14	14 - 20

Diagnostic de Base

1^{er} Service d'un agroécosystème : Produire des aliments

Indicateur de base 1.2. Ravageurs (% de plantes saines)

En tenant compte de l'ensemble de vos cultures, estimez visuellement le pourcentage de plantes saines, autrement dit, celles qui NE MONTRENT PAS de symptôme d'être significativement touchées par un ravageur (un ravageur pouvant être tant un macro qu'un microorganisme pathogène).

Comparez votre résultat (% de plantes saines) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10. Notez-la dans la case correspondant à cet indicateur.

Pour vous aider à identifier les ravageurs de vos cultures, voici ci-dessous quelques images de certains

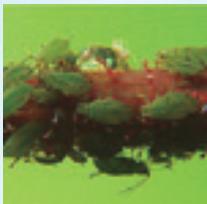
ravageurs qui sont communs et peuvent indiquer certains déséquilibres dans votre agroécosystème.

Pourquoi mesurons-nous l'incidence de ravageurs ?

L'apparition de certains ravageurs, outre qu'elle entraîne une réduction des récoltes et une dépréciation du produit sur le marché, peut nous signaler l'existence d'autres problèmes qui affectent la santé de notre agroécosystème et que nous devons corriger (travail du sol ou cadre de plantation inadaptés, compactage, engorgement d'eau, manque de faune auxiliaire, etc.). À l'instar de ce qui se passe avec les personnes, les agroécosystèmes non soignés sont plus susceptibles de souffrir des maladies.

Insectes

SUCEURS (possible excès d'engrais et/ou manque de sol adoucissant les plantes)



Puceron
(Aphides)



Mouche blanche
(Aleurodides)



Araignée rouge
(*Tetranychus urticae*)



Thrips
(Thysanoptères)



MINEURS (possible manque de rotation de cultures et/ou excès de matière organique)



Taupin (*Agriotes sp.*)



Pyrales ou scolytes



Mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*)



DÉFOLIATEURS (manque de rotation des cultures)



Chenilles du chou
(*Pieris sp.*, *Plutella sp.*)



Perce-oreilles
(dermaptères)



Doryphore
(*Leptinotarsa decemlineata*)

Champignons

PARTIE AÉRIENNE (possible manque de rotation et/ou de ventilation entre plantes)



Mildiou
(*Phytophthora infestans*)



Cladosporiose
(*Fulvia fulva*)



Rouille
(*Puccinia sp.*)



Pourriture grise
(*Botrytis cinerea*)

RACINE (manque de rotation. Excès d'humidité et/ou de matière organique dans le sol)



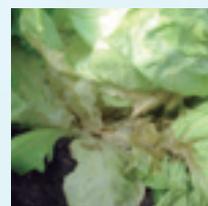
Pourriture racines et collet
(*Phytophthora capsici*)



Pourriture noire
(*Rhizoctonia solani*)



Pourriture blanche
(*Sclerotinia sp.*)



Pourriture molle
(*Fusarium oxysporum*)

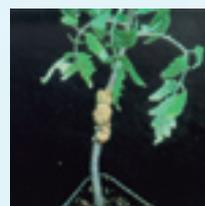
Bactéries



Pourritures humides
(*Erwinia sp. ó pseudomonas sp.*)



Chancre bactérien
(*Pseudomonas syringae*)



Tumeurs sur la tige
(*Agrobacterium sp.*)



Autres

VIRUS



Maladie bronzée
(TSWV)



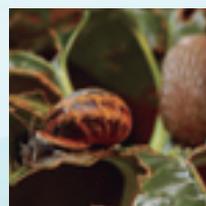
Mosaïque
(TMv)

NÉMATODES



Tumeurs sur racine
(*Meloidogyne sp.*)

GASTÉROPODES



Escargots et limaces

RONGEURS ET TAUPES



Campagnol
(*Microtus arvalis*)

Diagnostic de Base

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indispensable!



Indicateur de base 2.1. Diversité des cultures (n° espèces)

Observez le nombre de cultures différentes qui sont présentes sur votre parcelle d'étude, en prenant comme limite 1 ha. Ces cultures font peut-être partie d'une rotation temporaire et, dans ce cas, additionnez le nombre total de cultures différentes qui seront présentes tout le long de la rotation sur cette parcelle.

Comparez votre résultat aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10. Notez-la dans la case correspondant à cet indicateur.

Pourquoi mesurons-nous la diversité des cultures ?

Les cultures ont une valeur en elles-mêmes en raison de l'agrobiodiversité qu'elles représentent. De plus, la présence de diverses cultures est à l'origine de différentes niches écologiques, tant au niveau aérien qu'au niveau souterrain (zone racinaire), qui peuvent être habitées par une foule d'organismes.

Diagnostic de Base

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité



Indicateur de base 2.2. Diversité végétale adjacente (nbre. strates)

Il existe probablement des arbustes et/ou des arbres qui font partie des limites de votre parcelle d'étude. En prenant comme limite 1 ha (bords compris), identifiez si les 3 strates végétales (herbacée, arbustive et arborée), 2 ou 1 sont présentes. Comparez le résultat de votre mesure (n°) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10, selon l'échelle suivante :

3 strates = 8,5 points.
2 strates = 5 points.
1 strate = 1,5 point.

Pourquoi mesurons-nous le nombre de strates végétales ?

Outre la biodiversité qu'ils représentent, les arbustes et/ou les arbres qui accompagnent nos cultures servent de refuge à une foule d'organismes. Ces organismes ont une valeur non seulement comme membres de notre biodiversité, mais parce qu'en outre nombre d'entre eux sont bénéfiques pour nos propres cultures (ils les pollinisent, contrôlent leurs maladies, etc.).

Diagnostic de Base

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur de base 2.3. Absence d'espèces invasives (nbre. espèces)

Identifiez visuellement si une espèce végétale ou animale considérée invasive, selon les catalogues de l'IHOBE sur la flore et la faune invasive dans la Communauté Autonome Basque (CAPB) est présente dans votre zone d'étude. Vous pouvez les télécharger gratuitement de son site web (www.lhobe.net; publications). Comparez le résultat de votre mesure (nbre.) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10, selon l'échelle suivante :

0 espèces invasives = 8,5 points.

1 espèce invasive = 5 points.

2 espèces invasives = 1,5 point.

3 ou plus espèces invasives = 0 point.

Si vous n'avez pas la possibilité d'accéder à ces catalogues de l'IHOBE, nous vous présentons ci-dessous des images de quelques-unes des espèces envahissantes que vous pouvez trouver en raison de leur expansion croissante dans la CAPB. (IHOBE, 2009).

Pourquoi mesurons-nous le nombre d'espèces invasives ?

Outre le risque qu'elles représentent pour la biodiversité en raison de leur grand pouvoir colonisateur, les espèces considérées invasives peuvent être le signal d'un déséquilibre de notre agroécosystème. Ainsi, l'apparition de *Cortaderia* est commune sur les terrains subitement dépourvus de végétation à cause de mouvements de terres ou de l'application continue d'herbicides totaux sans resemis postérieur.



Cortaderia selloana (herbe de la Pampa)



Buddleja davidii



Vespa velutina (frelon asiatique)

Diagnostic de Base

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préservier la biodiversité

Indispensable!

Indicateur de base 2.4.

Diversité de macrofaune (nbre. de types)

Nous étudions à la fois la macrofaune présente à la surface et aussi au niveau souterrain (sol).

SURFACE : Réalisez une virée de 5 minutes dans votre parcelle d'étude, en comptant les types de macrofaune différents que vous observez. Rappel : nous appelons "macro" - faune les organismes visibles à l'œil humain (1mm).

SOL : À l'aide d'une pelle plate, découpez un bloc cubique de sol de 25 cm de côté et 30 cm de profondeur en essayant de le faire en moins de 1 minute pour éviter la fuite d'organismes vers des strates inférieures. Examinez d'abord la surface, puis émiettez-la manuellement et comptez les types différents de macrofaune présents (NON PAS les individus). Voici ci-dessous des photos de quelques-uns des organismes

que vous pouvez trouver dans votre sol.

Additionnez le nombre de types observés dans le sol et en surface, et comparez cette somme aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51). Attribuez-lui une valeur de 0 à 10.

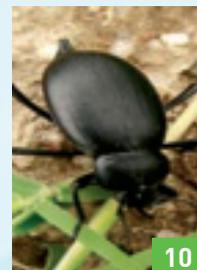
Pourquoi mesurons-nous la diversité de macrofaune ?

Outre la biodiversité qu'elle représente, la macrofaune est le maillon supérieur de la chaîne trophique. Dans le sol elle s'occupe de commencer le processus de décomposition des restes organiques en fragmentant les restes de plus grande taille et les rendre ainsi disponibles pour la méso- et la microfaune, qui à leur tour les transforment en nutriments pour les cultures, fermant ainsi le cycle.

1. Lombrices (Oligochaeta)
2. Cucarachas (Dictyoptera)
3. Cochinitas (Isópoda)
4. Milpiés (Diplopoda)
5. Cienpiés (Chilopoda)



6. Tijeretas (Dermaptera)
7. Hormigas (Hymenoptera)
8. Termitas (Isoptera)
9. Saltamontes (Orthoptera)
10. Escarabajos (Coleoptera)



11. Chinchas (Heteroptera)
12. Arañas (Arachnida)
13. Caracoles (Gasteropoda)
14. Chicharras (Homoptera)
15. Otros (Larvas, etc.)



Diagnostic de Base

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur de base 2.5.

Diversité de mésofaune dans le sol (indice de qualité biologique)

Prélevez un fragment cylindrique de sol de 10cm de diamètre et 5cm de profondeur. Pour extraire la mésofaune, nous utiliserons la méthode d'extraction de Berlese-Tullgren, selon laquelle nous plaçons sur un entonnoir une maille métallique de 1 mm de pore (p. ex. une passoire). Nous plaçons le fragment de sol sur la passoire et sous une ampoule de 50W, à 20cm de distance. Pour recueillir les organismes qui fuient la lumière et la chaleur de l'ampoule, sous l'entonnoir nous plaçons un petit bocal avec de l'alcool. Au bout d'une semaine, ramassez le bocal contenant de l'alcool et, à l'aide d'une loupe et des images jointes à la page suivante, comptez les types différents de mésofaune présents (NON PAS les individus) et attribuez la valeur qui figure en rouge à côté du nom de chaque groupe. Additionnez ces valeurs pour obtenir la valeur de l'indice de qualité biologique.

Comparez le résultat de votre mesure (indice) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

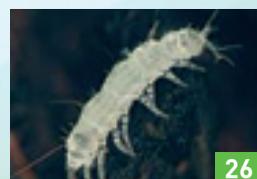
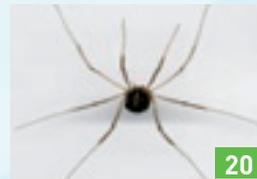
Pourquoi mesurons-nous la diversité de mésofaune ?

La mésofaune est le maillon trophique inférieur à la macrofaune qui poursuit le travail de décomposition commencé par cette dernière. Rappel : nous appelons "méso"-faune les organismes de taille intermédiaire entre les macro-organismes (>1mm, visibles à l'œil humain) et les microorganismes (<0,1 mm, visibles au microscope), qui demandent une loupe de 10X pour les observer.



Diversité de mésofaune dans le sol

1. Protura 20
2. Diplura 20
3. Collembola 10
4. Microcoryphia 10
5. Zygentomata 10
6. Dermaptera 1
7. Orthoptera 10
8. Embioptera 10
9. Blattaria 5
10. Psocoptera 1
11. Hemiptera 5
12. Thysanoptera 1
13. Coleoptera 10
14. Hymenoptera 3
15. Diptera (L) 10
16. Holometabolous(L) 10
17. Holometabolous 1
18. Acari 20
19. Araneae 3
20. Opiliones 10
21. Palpigradi 20
22. Pseudoscorpion 20
23. Isopoda 10
24. Chiliopoda 15
25. Diplopoda 15
26. Pauropoda 20
27. Symphyla 20



Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.1.

État physique-Érosion (gain vs. perte de sol)

Parfois, les processus d'érosion sont progressifs et il peut être difficile de les percevoir s'ils ne sont pas très évidents (ravines, poussières, etc.). C'est pourquoi, pour quantifier l'érosion de façon objective, une année auparavant, il nous faut ficher une balise graduée dans le terrain (un pieu, une tige, voire un arbre), par rapport à laquelle nous pourrions vérifier si, entretemps, le niveau de la surface du sol a baissé, ce qui indiquerait un processus d'érosion hydrique ou éolique.

En revanche, la hausse du niveau du terrain par rapport à la balise indiquera un gain de sol net. Pour vérifier si nous gagnons ou nous perdons du sol, la balise comportera un repère tous les centimètres, en partant de la surface du sol vers le haut (valeurs +) et vers le bas (valeurs -). Dans les zones pentues, prenez toujours la mesure dans le bas de la balise.

Comparez le gain ou la perte de sol sur votre terrain (en centimètres) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

PRÉCISION 1 : Le risque d'érosion est beaucoup plus important dans les zones pentues et/ou exposées au vent. C'est pourquoi, si votre parcelle d'étude présente des zones différentes, il vous faut placer plusieurs balises et utiliser la valeur moyenne pour votre diagnostic.

PRÉCISION 2 : Indépendamment de l'érosion, le niveau du sol varie en raison du travail du sol (il s'élève initialement avec l'augmentation de sa porosité, puis redescend progressivement). Ainsi, tant la mise en place de la balise que la mesure de l'érosion (l'année suivante) doivent être faites au moment de la récolte, lorsque le sol est assis.



Pourquoi mesurons-nous l'érosion ?

Le sol cultivable est une ressource limitée qui met des centaines d'années à se former à partir de la roche-mère. Dans des conditions idéales de gestion du sol, il peut se former à une allure de 0,8 mm année⁻¹. Paradoxalement, nous pouvons perdre de grandes quantités de sol en à peine quelques heures si nous effectuons une gestion inadaptée du terrain qui le laisse sans protection face à la pluie et au vent. Ainsi par exemple, maintenir le terrain sans couverture végétale pendant de longues périodes de temps, ou réaliser des labours et des arrosages intensifs-inadaptés, peut donner lieu à des pertes de sol pratiquement irrécupérables.

Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.2. État physique-Temps d'infiltration/ circulation d'eau (minutes)

Il vous faut un morceau de tube de 10cm de diamètre intérieur (usage commun en construction) et 10 cm de longueur. À l'aide d'un marteau et d'un bloc de bois, fichez-le de 2cm dans le sol en évitant les discontinuités de type fissures, pierres, bâtons, etc. et versez doucement 235ml d'eau à l'intérieur. Attendez que l'eau disparaisse et re-versez doucement 235ml d'eau, cette fois en notant le temps écoulé jusqu'à ce que l'eau disparaisse (si le sol est humide, effectuez une seule application d'eau). Cette mesure vous indiquera la capacité de votre sol à infiltrer l'eau de pluie (attention, sa capacité d'infiltration sera d'autant meilleure qu'il lui faut PEU de temps !).

Comparez le résultat de votre mesure (minutes) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez en conséquence une valeur de 0 à 10 à cet indicateur.

PRÉCISION : Au-delà de la mesure de l'infiltration au niveau superficiel, il serait intéressant d'observer la coloration du sol au niveau sub-superficiel (jusqu'à 50 cm de profondeur), pour vérifier la capacité de drainage de cette eau infiltrée : le fer (Fe) et le manganèse (Mn) présents dans le sol s'oxydent et adoptent des tons marrons-jaunes-rougâtres lorsque le sol est bien aéré-drainé. Sinon, les sols adoptent des colorations typiquement gris-bleutées lorsqu'ils souffrent d'un défaut d'oxygène (par saturation d'eau ou par compactage sévère).



Pourquoi mesurons-nous la capacité d'infiltration et de drainage ?

Le volume d'eau que nous appliquons dans la mesure de l'infiltration simule la quantité qui tomberait sur la surface intérieure du tube pendant une heure de pluie forte-très forte (30 l/m², selon l'AEMET). Si notre sol n'est pas capable d'infiltrer cette quantité d'eau en une heure (en raison d'une structure déficiente avec peu de pores) lorsqu'il pleut intensément, l'eau en excès va s'écouler sur la surface au lieu de se stocker dans le sol pour nos cultures, avec en outre un risque élevé d'érosion (particulièrement sur les sols nus et inclinés). Pour sa part, un drainage insuffisant au niveau sub-superficiel accroît le risque de stagnation-saturation du sol, avec un risque d'asphyxie des racines et d'apparition de certaines maladies radiculaires dues à des champignons pathogènes appartenant aux genres *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* ou *Fusarium*.

Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indispensable!

Indicateur de base 3.3. État physique-Compactage (cm)

Pour réaliser cette mesure, il vous faut une tige de 8mm de diamètre (usage commun en construction) et 1m de longueur. Fichez-la dans le sol le plus en profondeur possible en réalisant un effort modeste avec une seule main. Si vous rencontrez une pierre empêchant le passage de la tige, réessayez à proximité.

Comparez la profondeur atteinte (en centimètres) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une note de 0 à 10.

PRÉCISION : Comme vous pouvez l'imaginer, cette mesure dépend grandement de la personne qui l'effectue et de l'état d'humidité du sol au moment de la mesure. Ainsi, pour que les résultats soient comparables entre une année et une autre, il convient que ce soit toujours la même personne qui s'en charge et que la mise en place soit effectuée dans la zone humectée lors de la mesure d'infiltration précédente.

Pourquoi mesurons-nous le compactage du sol ?

Un compactage excessif du sol complique le développement des racines de notre culture, qui ne peuvent pas gagner en profondeur et ainsi atteindre de nouveaux nutriments et l'eau, avec comme résultat une production amoindrie. Elle rend aussi difficile l'entrée d'eau et d'air dans le sol, les deux étant indispensables aux racines et aux organismes. Le compactage du sol est fréquemment lié à l'apparition de maladies radiculaires.



Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.4.

État chimique-acidité/basicité du sol (pH et richesse en calcium)

L'acidité ou la basicité d'un sol est déterminée par son pH, qui n'est autre qu'une mesure de la concentration en ions H^+ présente dans sa solution aqueuse. Elle varie de 0 à 14, les sols acides étant ceux avec un $pH < 7$ et les sols alcalins ceux avec un $pH > 7$.

Le pH est lié à la richesse en bases (p.ex. Calcium, Magnésium, Potassium) d'un sol : dans les sols acides, face au manque de Ca (principalement) l'aluminium (Al) sature les points d'échange des alcalis du sol, devenant toxique pour les plantes à des concentrations supérieures à 10% de saturation. En revanche, dans les sols alcalins, le Ca en excès peut "séquestrer" des nutriments comme le fer (Fe) ou le phosphore (P), formant ainsi des composés insolubles que les racines ne peuvent pas absorber. Dans ces sols, la décoloration des feuilles appelée "chlorose ferrique", indicatrice d'un manque de Fe, est typique.

L'acidité-basicité du sol étant un facteur très important en agriculture, nous recommandons de mesurer tant son pH que sa richesse en carbonates de calcium ($CaCO_3$, source de Ca) :

1. pH : Il existe des appareils spécifiques pour le mesurer avec exactitude, appelés pH-mètres. À ce niveau (de base), nous allons déterminer le pH approximatif du sol avec des bandelettes de couleurs indicatrices de pH, meilleur marché. Prélevez un échantillon de sol sec (d'environ 10 grammes) et ajoutez-lui 2,5 fois son volume en eau (25ml). Agitez, laissez reposer 10 minutes pour qu'il sédimente et introduisez une bandelette dans le liquide surnageant pour connaître son pH selon la couleur qu'elle va prendre.

2. Richesse en $CaCO_3$: Les carbonates réagissent aux acides en dégageant des bulles de dioxyde de carbone. Ajoutez quelques gouttes d'acide chlorhydrique à

10% (à défaut, de l'eau-forte ou de l'acide chlorhydrique commun) sur un petit échantillon de sol (10g) et observez sa réaction :

- Nulle (aucune réaction visible ou audible) : très pauvre en $CaCO_3$ (problèmes d'acidité probables)
- Légère (réaction invisible mais audible) : sol pauvre en $CaCO_3$ (problèmes d'acidité possibles)
- Moyenne (une certaine réaction) : richesse moyenne en $CaCO_3$ (situation idéale)
- Forte (réaction intense mais peu de mousse) : riche en $CaCO_3$ (problèmes de basicité possibles)
- Très forte (réaction violente avec mousse) : très riche en $CaCO_3$ (problèmes de basicité)

Comparez le résultat des deux mesures (pH et richesse en $CaCO_3$) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous le pH et la richesse en $CaCO_3$ du sol ?

Le pH du sol affecte la disponibilité des nutriments, l'activité de microorganismes et la solubilité de minéraux du sol. La plage de pH optimale pour la plupart des cultures est de 5,5 à 7. L'importance du Ca par rapport à l'aluminium et au blocage de certains minéraux comme le Fe (et d'autres micronutriments comme le manganèse, le zinc ou le cuivre) a déjà été mentionnée plus haut.

Nous pouvons corriger l'acidité naturelle de notre sol avec l'application d'amendements chaulés (chaux éteinte, $CaCO_3$, sables calcaires ou cendres de bois, p.ex.). En cas de problèmes de basicité, il convient de renforcer l'activité microbienne solubilisatrice de nutriments en appliquant de la matière organique et/ou des fertilisants verts (particulièrement des crucifères, riches en soufre), des sulfures minéraux (soufre élémentaire, sulfate de Fe), voire même des fertilisants riches en ammonium (à dose modérée!) comme les fientes de poule ou les purins.

Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.5. État chimique-Matière organique

La matière organique (MO) du sol provient des êtres vivants qui y vivent, essentiellement des végétaux. Une partie d'elle conserve encore sa structure, mais la plus grande part est décomposée et impossible à reconnaître car mélangée à la fraction inorganique du sol. C'est pourquoi nous vous indiquons ci-après deux méthodes de base pour vous aider à estimer l'abondance de MO dans votre sol :

1. Réaction à l'eau oxygénée (110 volumes). L'eau oxygénée ou peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) attaque la MO et, dans ce processus, se décompose en eau (H_2O) et oxygène (O_2). Ajoutez quelques gouttes d'eau oxygénée à un petit échantillon de sol (10g) et observez la formation de bulles, qui seront d'autant plus grandes que le sol est riche en matière organique*.

2. Couleur : Observez la couleur de votre sol ; les sols riches en MO sont typiquement bruns. Comme vous pouvez le voir, nous ajoutons des indices pour nous aider à vérifier ce qui se passe dans notre sol...

Comparez le résultat des deux mesures aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez en conséquence une valeur moyenne de 0 à 10 à cet indicateur.

PRÉCISION : La couleur et la réactivité du sol varient beaucoup selon son humidité. Afin que les résultats soient comparables entre une année et une autre et ainsi pouvoir suivre son évolution, nous vous rappelons la convenance d'effectuer vos mesures 2-3 jours après une pluie (voir p. 4).

Pourquoi mesurons-nous le contenu en matière organique du sol ?

La matière organique est le réservoir de nutriments du sol, qui grâce à l'action microbienne (principalement), se transforment en minéraux assimilables par les cultures. De plus, elle améliore d'autres propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (structure, infiltrabilité, retenue hydrique, pH, activité microbienne, etc.) du sol. C'est l'un des meilleurs indicateurs de sa santé.

* Si la réaction à l'eau oxygénée est lente, mais prolongée dans le temps, cela signifie que la matière organique est plus stable (type humus) et se conservera plus longtemps dans le sol. En revanche, une réaction rapide indique qu'il contient des nutriments plus labiles qui faciliteront le développement de microorganismes et de plantes plus rapidement.



Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.6.

État chimique-Nutriments minéraux

Pour connaître avec précision les niveaux de nutriments minéraux d'un sol, il nous faudrait le faire analyser dans un laboratoire, mais ceci fait partie du diagnostic avancé que nous expliquons plus avant. Ici, nous allons simplement donner quelques indices qui, même s'ils ne sont pas aussi précis, peuvent nous donner une certaine idée des niveaux de nutriments dont dispose notre sol :

1. Couleur du sol et des cultures : Comme les sols riches en matière organique (source de nutriments) qui sont bruns, les feuilles des cultures "bien alimentées" présentent habituellement une couleur vert-brun et uniforme. En revanche, la couleur pâle-jaunâtre ("chlorose") indique fréquemment un déficit d'azote (naturellement en l'absence de sécheresse) ou de fer (chlorose "ferrique", typique des sols basiques) et les bandes violacées peuvent indiquer une carence de P.

2. Plantes adventices : les communément appelées "mauvaises herbes" sont aussi un indice. Ainsi, si nous voyons sur notre terrain du chénopode blanc, de l'amarante, des orties, du mouron ou des véroniques

nous pouvons penser à de hauts niveaux de nutriments dans le sol. Vous trouverez plus d'information sur les adventices dans cet blog : <http://rediles.com/agroecologia/documentos/>

Comparez le résultat de la mesure 1 aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez en conséquence une valeur de 0 à 10 à cet indicateur. La mesure 2 servira uniquement à confirmer de hauts niveaux de nutriments en cas de présence des plantes citées, puisque leur absence peut être simplement due à notre travail de sarclage.

Pourquoi mesurons-nous les niveaux de nutriments dans le sol ?

Les sols agricoles ont besoin d'une fertilisation suffisante qui permette aux cultures (et aux organismes édaphiques) de puiser les macro- et les micronutriments dont elles ont besoin pour se développer de façon optimale. D'autre part, n'oublions pas qu'une fertilisation excessive/inadaptée donnera lieu à un lessivage de l'excès de nutriments, qui finiront par eutrophiser-polluer les cours d'eau.



Chénopode blanc
(*Chenopodium album* L.)



Amarante
(*Amaranthus retroflexus* L.)



Ortie
(*Urtica dioica* L.)



Mouron
(*Stellaria media* L.)



Véronique
(*Veronica chamaedrys* L.)

Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.7. État chimique-Polluants/pesticides

Pour analyser l'éventuelle présence de substances polluantes dans notre agroécosystème, il nous faut faire un balayage de laboratoire comme celui effectué dans le diagnostic avancé. À ce niveau de base, nous allons uniquement évaluer l'emploi ou non de pesticides potentiellement dangereux selon la Classification recommandée de Pesticides par risque et les directives pour la Classification 1996-1997 de l'Organisation Mondiale de la Santé-OMS. Cette classification ventile les pesticides en fonction du risque aigu pour la santé humaine, avec le résultat suivant :



CLASSE IA- Extrêmement dangereux
CLASSE IB- Hautement dangereux
CLASSE II- Modérément dangereux
CLASSE III- Légèrement dangereux
CLASSE IV- Improbablement dangereux

En raison de leur dangerosité spéciale, certains de ces pesticides sont considérés comme étant des Polluants Organiques Persistants (POP). L'emploi de composés POP et de certains autres produits appartenant aux catégories précédente (même non POP) est actuellement interdit dans l'Union Européenne (UE), selon la Directive européenne 91/414/EEC –Annexe 1.

Compte tenu de cette classification, nous évaluons négativement l'usage de pesticides dans notre agroécosystème de la façon suivante : en partant d'une note maximale de 10 dans le diagnostic de base (p. 51), nous allons soustraire 1 point pour chaque composé de CLASSE IV utilisé; 2 points pour chaque composé de CLASSE III; 3 points pour chaque produit de CLASSE II; 4 points pour chaque produit de CLASSE IB; 5 points pour chaque produit de CLASSE IA. En cas d'utilisation d'un produit interdit (COP ou non), 10 points seront soustraits, autrement dit, la note de cet indicateur sera 0.

Pour vous aider, sur la page qui suit, nous indiquons les produits appartenant à chaque classe. De même, vous pouvez consulter tous les produits actuellement autorisés dans l'UE sur le lien suivant : http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=activesubstance.selection&a=1.

Pourquoi évaluons-nous l'usage de pesticides ?

Le mot "pesticide" désigne en général une substance chimique (mélangée ou non avec d'autres substances) utilisée pour détruire un organisme nuisible pour l'homme. Toutefois, ces produits peuvent avoir un effet nocif sur d'autres organismes "non cible", y compris l'être humain. La classification ci-dessus de l'OMS évalue la dangerosité de chaque produit selon sa DL₅₀. Cette valeur représente une estimation statistique de la quantité de cette substance nécessaire pour tuer 50% d'une population d'animaux étudiés (normalement des rats). Autrement dit, sa toxicité aiguë.

POP

- Insecticides : Aldrine, Chlordane, chlordecone, DDT, Dieldrine, Endrine, Heptachlore, Mirex, Toxaphène, Lindane, Endosulfan.
- Fongicide : HCB.

CLASSE IA- Extrêmement dangereux

- Insecticides : Etoprophos.
- Fongicides : Cycloheximide.
- Nématocides : Fénamiphos.
- Rodenticides : Bromadiolone.

CLASSE IB- Hautement dangereux

- Insecticides : Oxamyl, Théflutrine, Thioxamyl.
- Acaricides : Formétanate.

CLASSE II- Modérément dangereux

- Insecticides : Alpha-cyperméthrine, bêta-Cyfluthrine, Cyfluthrine, Cyperméthrine, Chlorpyrifos, Deltaméthrine, Diméthoate, Fenvalérate, Fipronil, Fosmed, Phtalophos, Imidaclopride, Lambda-cyhalothrine, Mercaptodimétur, Metiocarb, Pyréthrine.
- Herbicides : Bromoxynil, Clomazone, Chlorpyrifos, 2,4 D, Diquat, Ioxinil, Molinate, 2,4-PA, Prosofocarb, Quizalofop-P-téfuril, Reglone.
- Fongicides : Carbation, Métham-sodium, Oxyde de cuivre, Imazalil, Propiconazole, Tétraconazole.
- Acaricides : Fénazaquin, Fosmed, Phtalophos.
- Mollusquicides : Métaldéhyde.
- Aphicide : Pyrimicarbe.

CLASSE III- Légèrement dangereux

- Insecticides : Carbophos (Fr), Malathion (Fr), Maldison (Fr), Pyrimiphos-méthyle.
- Herbicides : Bentazone, 2,4DB, Dicamba, Dichlob, Diméthachlore, Glufosinate, Isoproturon, MCPA, MCPB (Fr), Mécropop, Mécropop-P, Métaxon, Pendiméthaline, Pyridate, Quinoclamine, Tralkoxydime (Es), Trialate (Fr), Triclopyr.
- Fongicides : Cymoxanil, Cyproconazole, Citrex, Hydroxyde de cuivre, Oxychlorure de cuivre, Dazomet, Difénoconazole, Dithianone, Dodine, Doguadine, Étridiazole, Fenpropidine, Futriafol, Métalaxyl (Es), Mé-

taconazole (Fr), Myclobutanil, Prochloraze, Thirame, TMTD, Triadiménole, Zirame.

- Acaricides : Pyridabène.
- PGR (régulateur de croissance) : Clormequat, Chlorure de chlorocholine, Mépiquat, Pachlobutrazole

CLASSE IV- Improbablement dangereux

- Insecticides : Soufre, Buprofézine (Fr), Chlorpyrifos-méthyl, Étofenprox, Fénoxycarbe, Pyriproxifène, Tau-fluvaliate.
 - Herbicides : Aclonifène, Aminotriazole, Amitrol, Bénéfine, Benfluraline, Bensulfuron, Benthrodine, Benzamizole, Bifénox, Bispyribac (Es), Carbentamide, Cycloxadime, Clopyralide, Chloridazone, Chlortoluron (Fr), Chlorpropham, Chlorsulfuron, Daminozide, Desmédipham, Dichlofernidime (Es), Acide 3, 6 - dichloropicolinique, Diflufénican, Diuron(Es), Dodémorphe, Étofumésate, Phenmédipham, Fénoxaprop-éthyle, Fluométuron (Es), Fluorochloridone (Fr), Fluroxypyr, Glyphosate, Imazaquine (Fr), Isoxabène, Lénacile, Linuron, Métamitrone, Métazachlore, Métosulame (Fr), Métribuzine, Metsulfuron, Napropamide, Nicosulfuron, Oryzalde, Oxadiazon, Oxyfluorène, Pyclorame, Pyrazone, Propaquizafop, Propineb (Es), Propyzamide, Quinmérac (Fr), Rimsulfuron, Tébutilazine (Es), Tifensulfuron, Triasulfuron (Es), Tribénurone.
 - Fongicides : Soufre, Béalaxyl, Bupirimate, Captan, Carbendazime (Es), Carboxine, Chlorothalonil (Fr), Diétofenarbe (Es), Diméthomorphe, Phenpropimorphe, Flutolanil, Folpel, Fosetil, Hydroxyi-soxazole Hymexazol, Iprodione, Mancozèbe, Manèbe, Ménanipirim, Métirame, Pencicuron, Penconazole, Pyriméthanyl, Propamocarbe, Tébuconazole, Thiabendazole, Tiophanate-méthyl (Fr), Tolclohos-méthyl, Triticonazole.
 - Acaricides : Clofentézine, Hexithiazox.
 - Larvicides : Cyromazine, Diflubenzuron.
- PGR (régulateur de croissance) : Étephon, Acide gibbéliérique, Hydrazide maléique, 2-(1-Naphtyl) thioacétamide (Fr).

Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.8. État biologique-Activité des organismes du sol

Nous vous proposons une série de mesures directes et indirectes pour estimer, au niveau de base, l'activité biologique de votre sol.

1. Directes : En profitant des trous que vous avez réalisés dans le sol avec la tige pendant la mesure de compactage (indicateur de base 3.3.), introduisez dans trois d'entre eux un cordon de sisal comme celui de l'image ci-dessous (longueur 10cm ; diamètre 5mm). Au bout d'un mois, retirez le cordon et observez son niveau de dégradation, qui sera d'autant plus important que l'activité des organismes du sol est dynamique.

2. Indirectes : Si pendant la mesure de diversité de macrofaune (indicateur de base 2.4.) réalisée auparavant, vous avez observé d'abondants restes végétaux non décomposés à une certaine profondeur (20-30cm), ceci indiquera une faible activité biologique qui affectera le recyclage de la matière organique. En revanche, si vous observez que votre sol a une structure grumeleuse (sous forme de petits granulés), vous pouvez en déduire une haute activité biologique, créatrice de ces agrégats.

Comparez le résultat de la mesure 1 (directe) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51) et attribuez en conséquence une valeur de 0 à 10 à cet indicateur. Les mesures indirectes vous serviront à confirmer les résultats de la mesure 1.

Pourquoi mesurons-nous l'activité biologique du sol ?

Un sol sain est un sol vivant dans lequel les propres organismes édaphiques se chargent de faire en sorte que le sol "fonctionne" (transforme les restes organiques en minéraux pour les plantes, forme des agrégats permettant le passage des racines et de l'eau entre eux, etc.). Si nous employons des pratiques agricoles adéquates, nous améliorerons les propriétés physiques et chimiques du sol, ce qui se traduira par une plus grande activité biologique. Il s'agit donc là d'un indicateur qui intègre en grande mesure les autres.



Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indispensable!

Indicateur de base 3.9. état biologique- Lombrics (nbre. individus)

Cet indicateur se mesure en même temps que la diversité de macrofaune expliquée précédemment (indicateur 2.4). Pour cela, il vous suffit de compter le nombre de lombrics (individus) présents dans la portion de sol extraite (25x25x30cm) et de comparer votre résultat aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51). Attribuez-lui en conséquence une note de 0 à 10.

PRÉCISION : Les paramètres biologiques dépendent particulièrement de l'époque de l'année et des conditions de humidité et de température du sol. Ainsi, pour mesurer ces indicateurs tenez bien compte de nos recommandations sur les meilleurs époques et moments de prélèvement (p. 3). Par exemple, pendant l'été, comme les vers de terre recherchent la fraîcheur et restent enroulés aux strates plus profondes, il sera difficile de la trouver dans les 30 premiers cm. Par contre, lorsque les sols sont détrempés, ils sortent respirer à la surface où nous les trouvons en plus grand nombre que d'habitude. C'est pourquoi

aucun de ces moments n'est bon pour effectuer le comptage des lombrics, car ils pourraient donner lieu à des conclusions erronées sur l'état de notre sol.

Pourquoi mesurons-nous l'abondance de vers de terre dans le sol ?

Trouver des lombrics dans votre sol est une "bonne nouvelle" en ce qu'ils indiquent des sols fertiles et des systèmes de labour peu agressifs (une passe de cultivateur rotatif peut tuer 30% de la population). De plus, ils améliorent le sol grâce au réseau de canaux qu'ils créent et qui favorise la pénétration de racines, eau, air et nutriments.

Mais une présence excessive de lombrics peut indiquer que la matière organique fraîche est en voie d'accumulation en raison d'un défaut d'activité microbologique de décomposition. Par contre, leur manque peut nous avertir d'un stress de type chimique (pesticides), physique (labour excessif) ou biologique (surpopulation de taupes ou de rongeurs). Les valeurs optimales sont données page 52 à titre d'orientation.

LOMBRIC À 40 CM DE PROFONDEUR (ÉTÉ)



Diagnostic de Base

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur de base 3.10. état biologique-Développement des racines

Observez les racines de votre culture. Vous pouvez profiter du trou creusé pour mesurer la macrofaune (indicateur 2.4) et les vers de terre (indicateur 3.9) et l'agrandir jusqu'à atteindre la tige de l'une des plantes. Depuis la tige, faites une coupe verticale avec la pelle plate pour observer nettement le profil racinaire. Les racines doivent être blanches et bien ramifiées, tant à l'horizontale qu'à la verticale (surtout), avec de nombreux poils radiculaires. Si vous voyez des racines pelotonnées ou qui croissent uniquement vers les côtés, vous pouvez soupçonner la présence d'une couche compactée à ce niveau (voir image ci-dessous). Dans ce cas, vous aurez probablement mis une note inférieure à 5 dans la mesure de base précédente de compactage (avec la tige, indicateur 3.3.). Si c'est le cas, vous avez bien mesuré!*

Pour sa part, le manque de poils radiculaires indique fréquemment un défaut d'oxygène dans la zone racinaire (problèmes d'infiltration-drainage...). La présence de grosseurs anormales (non pas les nodules de *Rhizobium* chez les légumineuses) peut être due à des nématodes pathogènes (*Meloidogyne* sp. est typique). Enfin, des colorations anormales des racines (jaune-rougeâtres, voire noires) indiquent classiquement un manque d'oxygène ou une infection par

des pathogènes bactériens (*Erwinia* sp., *Pseudomonas* sp., etc.) ou fongiques (*Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Phytophthora* sp., etc.).

Compte tenu de ces indications, comparez vos observations aux indications-références de la table-résumé de diagnostic de base (p. 51), et attribuez-leur en conséquence une note de 0 à 10.

* PRÉCISION 1 : La présence d'une couche saturée d'eau (zones humides) ou à haute teneur en sels (zones arides) peut aussi stopper le développement vertical des racines.

* PRÉCISION 2 : Si cela est plus commode pour vous, au lieu de faire un trou, vous pouvez arroser et arracher la plante. Le rapport partie aérienne /partie souterraine (racines) ne devrait pas être supérieur à 2,5.

Pourquoi mesurons-nous le développement des racines ?

Le développement optimal des racines dépend directement de l'état des indicateurs mesurés jusqu'à maintenant (compactage, infiltration, fertilité et activité biologique). Si elles se développent peu, elles vont moins explorer le sol en quête de minéraux, eau et oxygène et, de plus, la culture gaspillera de l'énergie constamment en essayant de les développer. Ces facteurs de stress réduiront la récolte.

RACINES DANS SOL NON COMPACTÉ



RACINES DANS SOL COMPACTÉ



Diagnostic de Base

4^{ème} Service d'un agroécosystème : atténuer le changement climatique

Indispensable!

Indicateur de base 4.1.

Teneur en matière organique du sol

Vous aurez noté que nous avons déjà réalisé cette mesure pour connaître l'état chimique du sol (indicateur de base 3.5.), dans le cadre du 3^{ème} Service : soigner le sol.

Il n'est donc pas nécessaire de répéter la mesure, mais vous pouvez utiliser le résultat obtenu précédemment et copier la note de 0 à 10 dans la table-résumé de diagnostic de base de la page 51 (mais à cette occasion, notez-la dans le 4^{ème} Service d'un agroécosystème : atténuer le changement climatique).

Pourquoi mesurons-nous la matière organique du sol à propos du changement climatique ?

La matière organique du sol est formée pour une large part de C qui a été "séquestré" de l'atmosphère par les plantes vertes, les algues et certaines bactéries. Ces organismes extraient le C qui fait partie des molécules de CO₂ atmosphérique pour le fixer sous forme de molécules organiques (matière organique vivante), qui finissent par passer au sol sous forme d'exsudats radiculaires et, principalement, de restes végétaux. Une partie de ce C organique restera dans le sol et une autre partie se retransformera en CO₂ rendu à l'atmosphère pour contribuer au réchauffement global.

Ainsi donc, du point de vue du changement climatique, plus la quantité de matière organique que nous parvenons à introduire et à conserver dans nos sols est importante, mieux c'est.

SOL CLAIR (Peu de M.O.)



SOL BRUN (Beaucoup de M.O.)



Diagnostic de Base

4^{ème} Service d'un agroécosystème : atténuer le changement climatique

Indispensable!

Indicateur de base 4.2 Système de production (Gain ou perte de C?)

En tant qu'agriculteur, vous êtes libre de choisir le système de production qui convient le mieux à vos possibilités et aux conditions locales de sol et de climat (dans ce manuel nous ne donnons pas de recettes universelles car il n'y en a pas). Mais vous devez savoir que certaines pratiques agricoles contribuent à ce que votre sol gagne ou perde du C :

- Labour : L'emploi assidu d'engins qui inversent les profils du sol (charrue à versoir) et /ou détruisent complètement sa structure (cultivateur rotatif) et les jachères sans couverture végétale (sols nus) augmentent la perte du C séquestré dans le sol dans l'atmosphère. À l'extrémité opposée (le plus favora-

ble pour réduire les émissions de CO₂) se trouverait le semis direct sans labour.

- Fertilisation : Incorporer les restes de la culture précédente et/ou des engrais organiques (fumier ou compost de préférence) est une façon d'incorporer du C au sol, contrairement aux engrais minéraux de synthèse.
- Contrôle des adventices : Il dégage du CO₂ qu'il soit effectué mécaniquement (frais de carburant) ou au moyen d'herbicides (combustible pour leur fabrication, ainsi que pour fabriquer d'autres pesticides).
- Destination finale de la récolte : son transport peut supposer de hautes consommations de carburants.

Pour vous aider à évaluer votre système de production, voici un tableau-résumé : en partant d'une note initiale de 5, additionnez/soustrayez des points selon vos pratiques habituelles et notez le résultat final dans la table-résumé du diagnostic de base (p. 51).

POINTS	-1 (PERTE DE C)	0	+1 (GAIN DE C)
Travail du sol	Fréquent. Versoir ou cultivateur rotatif	Minimum (1-2 fois/an). Sous-soleur ou cultivateur	Pas de labour. Semeuse directe
Fertilisation	Minéral de synthèse ou rien	Purin ou boue	Fumier ou compost
Restes récolte	Brûlis	Retrait total	Incorporation au sol
Sol nu	Toute l'année	Une partie de l'année	Jamais (engrais vert)
Destination récolte	Autre pays	Autre région	Consommation locale

Pourquoi évaluons-nous le système de production au regard du changement climatique ?

Au niveau de base, nous ne pouvons pas mesurer les émissions de CO₂ de notre sol (nous le ferons dans le diagnostic avancé), mais les estimer grosso modo selon le système de production que nous utilisons. Par

exemple, le labourage intensif peut multiplier par 5 les émissions de CO₂ du sol et par 6 celles dérivées de la consommation de carburant, par rapport à un système de semis direct. En ce qui concerne les engrais et les pesticides de synthèse, outre qu'ils n'apportent pas de C au sol, ils supposent de nouvelles émissions de CO₂ en consommant de l'énergie fossile pendant leur fabrication (ex. : 1t engrais N : 40GJ ; 1t engrais P : 15GJ ; 1t engrais K : 10GJ ; 1GJ=25l de pétrole).

Diagnostic de Santé Avancé

Il exige du personnel et des équipements spécialisés.
Si vous ne pouvez pas le faire par vos propres moyens, vous pouvez le commander à Neiker.
Contact : cgarbisu@neiker.net; +34 944034300

1^{er} Service d'un agroécosystème : produire des aliments

Indicateur avancé 1.1. Récolte (t/ha)

Comme il a été indiqué dans le diagnostic de base, cette mesure dépend logiquement de la culture que nous aurons choisie. Sur la page suivante vous pouvez comparer votre production aux récoltes attendues pour les cultures les plus communes, selon les cadres de plantation indiqués. Comme maintenant nous effectuons un diagnostic avancé, dans le tableau de référence la productivité est mesurée en tonnes de poids frais par hectare et culture.

Comparez votre récolte à ces valeurs de référence et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10 sur la fiche de diagnostic avancé (p. 52).

Pourquoi mesurons-nous la récolte ?

Comme il a été indiqué dans le diagnostic de base, la récolte que nous obtenons n'a pas seulement une valeur en elle-même, sinon qu'en outre elle nous indique la vigueur de notre agroécosystème. Comme pour les personnes, la vigueur d'un agroécosystème est fréquemment liée à sa santé.



Tableau de Récoltes Attendues (t/ha)

FAMILLE	CULTURE	0 < 3	3 - 7	> 7 - 10
Solanacées	Tomate à l'extérieur (1,85 plantes/m ²)	0 - 19	19 - 44	44 - 63
	Tomate en serre (1,85 plantes/m ²)	0 - 42	42 - 97	97 - 139
	Piment à l'extérieur (2,86 plantes/m ²)	0 - 8,6	8,6 - 20	20 - 29
	Piment en serre (2,86 plantes/m ²)	0 - 13	13 - 31	31 - 44
	Pomme de terre (4,75 plantes/m ²)	0 - 20	20 - 46	46 - 65
Légumineuses	Fève (15 plantes/m ²)	0 - 4,6	4,6 - 11	11-15
	Févette (7 plantes/m ²)	0 - 1,5	1,5 - 3,4	3,4 - 4,9
	Petit pois (25 plantes/m ²)	0 - 4,5	4,5 - 11	11 - 15
	Haricot (16 plantes/m ²)	0 - 4	4 - 9,3	9,3 - 13
	Haricot vert à l'extérieur (16 plantes/m ²)	0 - 7,4	7,4 - 17	17 - 25
	Haricot vert en serre (16 plantes/m ²)	0 - 12	12 - 28	28 - 40
Crucifères	Chou (4 plantes/m ²)	0 - 27	27 - 62	62 - 89
	Chou de Bruxelles (2,5 plantes/m ²)	0 - 21	21 - 49	49 - 70
	Brocoli (2,9 plantes/m ²)	0 - 6	6 - 14	14 - 20
	Chou-fleur (2,4 plantes/m ²)	0 - 17	17 - 39	39 - 56
	Colza (30 plantes/m ²)	0 - 5	5 - 12	12 - 18
	Navet fourrager (70 plantes/m ²)	0 - 14	14 - 33	33 - 47
Composées	Laitue à l'extérieur (13 plantes/m ²)	0 - 18	18 - 41	41 - 59
	Laitue en serre (13 plantes/m ²)	0 - 23	23 - 54	54 - 76
	Tournesol (6 plantes/m ²)	0 - 1,1	1,1 - 2,7	2,7 - 3,8
Liliacées	Oignon à l'extérieur (15 plantes/m ²)	0 - 16	16 - 37	37 - 53
	Oignon en serre (15 plantes/m ²)	0 - 18	18 - 42	42 - 60
	Poireau (25 plantes/m ²)	0 - 14	14 - 32	32 - 46
Chénopodiacées	Betterave (10 plantes/m ²)	0 - 38	38 - 89	89 - 128
	Poirée (6,5 plantes/m ²)	0 - 21	21 - 49	49 - 71
	Épinard (20 plantes/m ²)	0 - 9	9 - 21	21 - 30
Ombellifères	Carotte (40 plantes/m ²)	0 - 17	17 - 40	40 - 58
Cucurbitacées	Citrouille (0,4 plantes/m ²)	0 - 15	15 - 34	34 - 49
Graminées	Blé (300 plantes/m ²)	0 - 3,1	3,1 - 7,3	7,3 - 11
	Orge (300 plantes/m ²)	0 - 3	3 - 6,9	6,9 - 9,9
	Mais fourrager (9 plantes/m ²)	0 - 29	29 - 67	67 - 96
	Ray-grass annuel (300 plantes/m ²)	0 - 18	18 - 41	41 - 60

Diagnostic Avancé

1^{er} Service d'un agroécosystème : produire des aliments

Indicateur avancé 1.2. Ravageurs (% de plantes saines)

Comme il a été expliqué au niveau de base, il s'agit d'estimer visuellement le pourcentage de plantes saines (autrement dit, celles qui N'ONT PAS été significativement affectées par un ravageur) et de le comparer aux valeurs de référence (p. 52), en attribuant une valeur de 0 à 10 à cet indicateur avancé. Rappel : nous considérons comme des "ravageurs" tant les macro- que les microorganismes pathogènes.

Au niveau de base, nous avons montré des images des symptômes visuels produits par quelques-uns des ravageurs les plus communs, afin de connaître au minimum quel type d'organisme peut être en train d'attaquer vos cultures (ex. : mollusques, insectes, nématodes, champignons, bactéries ou virus). Au niveau avancé, nous identifions le pathogène au moyen d'analyses de laboratoire afin de cerner les causes possibles de son apparition et mettre en place des mesures de prévention et/ou guérison spécifiques. Dans le cas des microorganismes (les plus difficiles à identifier en raison de leur petite taille), il est souvent nécessaire de les cultiver et de les isoler en laboratoire avant de les identifier au microscope. A titre d'exemple, les images suivantes montrent les différences au microscope de trois champignons pathogènes communs.

Pourquoi mesurons-nous l'incidence de ravageurs ?

Comme il a été signalé dans le diagnostic de base, les ravageurs non seulement supposent un préjudice économique pour les exploitations agricoles, mais encore ils peuvent avertir d'une autre série de problèmes expliquant la prolifération de ravageurs (travaux agricoles inadaptés).



Phytium sp.
Hyphes non septées.

Rhizoctonia sp.
Hyphes septées.
Ramifications en angle droit, rétrécies à la base.

Sclerotinia sp.
Hyphes septées.
Ramifications en forme de Y.

Diagnostic Avancé

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur avancé 2.1. Diversité des cultures (nbre. d'espèces et de variétés)

Comme nous l'avons expliqué lorsque nous effectuons le diagnostic de base (indicateur de base 2.1.), comptez le nombre de cultures (espèces) différentes qui sont présentes dans votre agroécosystème (limite 1 ha) tout le long de la rotation.

À ce nombre nous ajouterons en outre la présence de différentes variétés de chaque culture, selon le calcul suivant :

Chaque variété différente (à partir de la première), si elle est pure et conservée par soi-même=0,4 point.

Chaque variété différente (à partir de la première), si elle est pure et achetée=0,3 point.

Chaque variété différente (à partir de la première), si elle est hybride et conservée par soi-même=0,2 point.

Chaque variété différente (à partir de la première), si elle est hybride et achetée=0,1 point.

Comparez votre résultat aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

PRÉCISION : lorsque nous disons « chaque variété différente (à partir de la première) », cela signifie que la première variété observée ne s'ajoute pas (ex. : 1 culture de 2 variétés hybrides achetées=1,1 point).

Vous pouvez trouver plus d'information sur les variétés locales, pures vs. hybrides, etc. dans les travaux publiés par le Réseau de Graines d'Euskadi (<http://issuu.com/silviaguillen-studio/docs/variedades-locales-hortcolas-de-euskal-herria>) et par ENNEK-Biolur (http://www.eneek.org/descargas/dteknikoak/20131202_POSIBILite%20DE%20SEMI-LLAS%20Y%20PLANTEl%20ECOLOGICO%202013.pdf).

Pourquoi mesurons-nous la diversité de cultures et de variétés ?

Comme nous l'avons expliqué dans le diagnostic de base, la biodiversité des cultures et des variétés a une valeur en elle-même (particulièrement les variétés pures locales) et, de plus, abrite différents organismes. Par contre, la monoculture continue diminue la diversité d'organismes associés et favorise les ravageurs adaptées à cette monoculture, outre qu'elle épuise certains nutriments prélevés de préférence. Par ailleurs, le rôle des agriculteurs comme "gardiens" de graines favorise leur conservation, réduisant ainsi la dépendance des firmes commerciales de graines.



Diagnostic Avancé

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur avancé 2.2. Diversité végétale adjacente (nbre. d'espèces)

Probablement il existe des zones non cultivées (semi-naturelles) dans les limites de votre parcelle d'étude (1 ha) qui abritent une diversité végétale considérable. Comptez le nombre d'espèces végétales différentes présentes (richesse spécifique) et comparez le résultat de votre mesure (n°) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 53). Attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la diversité végétale adjacente ?

Entre les différentes parcelles de culture il reste souvent des franges non cultivées qui abritent une haute diversité botanique, ce qui est rarement pris en compte. Pour sa part, cette végétation adjacente attire une foule d'organismes qui ont non seulement une valeur pour la biodiversité qu'ils représentent, mais qui aussi sont bénéfiques pour les propres cultures (contrôle biologique, pollinisation, etc.).



Diagnostic Avancé

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur avancé 2.3.

Diversité fonctionnelle des champignons (nombre de substrats utilisé-NSU)

- Prélèvement d'échantillons : Au hasard dans la zone d'étude, avec une sonde de 2,5cm de diamètre et une profondeur égale à la couche labourée (fréquemment 0-30cm).

- Traitement : Les échantillons sont homogénéisés, tamisés (pore=2mm) et stockés à 4°C jusqu'à leur analyse, qui devra être effectuée dans un délai inférieur à 2 mois pour éviter d'altérer l'échantillon.

- Analyse en laboratoire : On mesure à 490nm la capacité des champignons du sol à dégrader les 95 substrats présents dans les microplaques FF de Biolog^R selon le procédé décrit par Shugeng et cols. (2009). Il s'agit essentiellement d'extraire et d'incuber les champignons de notre sol sur des plaques de culture comme celle que montre l'image ci-dessous, lesquelles contiennent une batterie de substrats différents (un dans chaque tube), et d'observer combien d'entre eux montrent une activité (couleur rougeâtre).

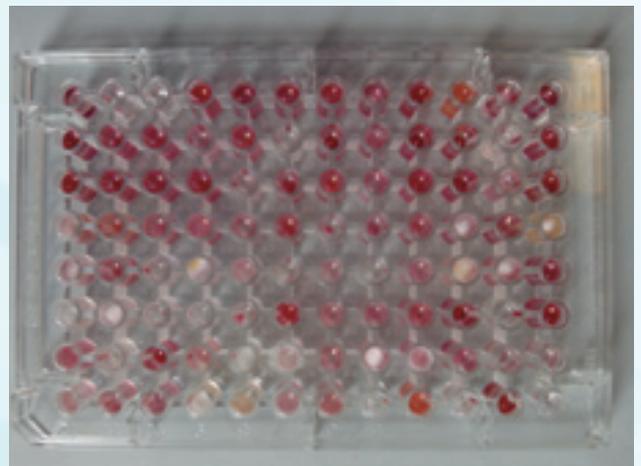
Comparez le résultat de votre mesure aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 53) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la diversité fonctionnelle des champignons?

Les champignons sont le groupe le plus abondant du biote édaphique en termes de biomasse (mais non en nombre puisqu'ils sont dépassés par les bactéries) et ils sont indispensables pour décomposer-recycler

la matière organique du sol (depuis les sucres et les acides aminés les plus simples jusqu'aux polymères les plus résistants comme la lignine et les acides humiques complexes) particulièrement dans les sols acides. C'est pourquoi nous analysons la capacité qu'ont les champignons de notre sol à métaboliser différents substrats (autrement dit, leur diversité métabolique ou fonctionnelle) en conditions contrôlées de laboratoire. De plus, certaines espèces de champignons établissent des symbioses avec nos cultures (mycorhizes) qui améliorent leur capacité à extraire l'eau et les nutriments du sol, ce qui augmente leur productivité.

La gestion que nous faisons de nos sols agricoles (particulièrement le système de labour et les traitements phytosanitaires) a une influence directe sur la diversité fonctionnelle des champignons, tant de ceux bénéfiques à nos cultures (l'immense majorité) que des pathogènes.



Diagnostic Avancé

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur avancé 2.4.

Diversité fonctionnelle des bactéries (nombre de substrats utilisé-NSU)

-Prélèvement et traitement des échantillons: Identiques à ceux du point précédent pour analyser la diversité fonctionnelle des champignons (indicateur 2.3.).

-Analyse en laboratoire : On mesure à 595nm la capacité des bactéries à dégrader les 31 substrats présents sur les microplaques ECO de Biolog^R selon la procédure décrite par Mijangos et cols. (2009). Il s'agit essentiellement d'extraire et d'incuber les bactéries de notre sol sur des plaques de culture comme celle qui est montrée sur l'image ci-dessous, lesquelles contiennent une batterie de substrats différents (un dans chaque tube, avec trois répliques), et d'observer combien d'entre eux montrent une activité (couleur violacée).

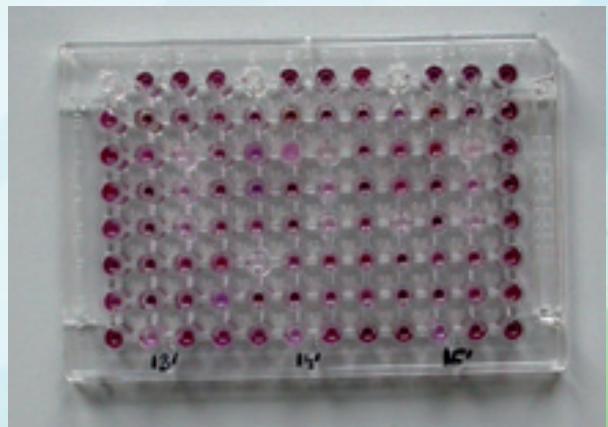
Comparez le résultat de votre mesure (indice) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la diversité fonctionnelle des bactéries ?

Parmi les fonctions exercées par les bactéries du sol, la plupart sont liées à la minéralisation de la matière organique, qui permet aux plantes de nourrir à partir du pool organique du sol. Certaines bactéries réduisent même les besoins en engrais grâce à leur capacité pour fixer l'azote atmosphérique, tant en

symbiose avec les légumineuses (genre *Rhizobium*) qu'en vie libre (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Bacillus*). Il en existe aussi qui sont pathogènes pour les cultures (ex. : *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Erwinia*).

La gestion que nous allons faire de nos sols agricoles (particulièrement le système de fertilisation et les traitements phytosanitaires) a une influence directe sur la diversité fonctionnelle des bactéries, la plupart d'entre elles étant bénéfiques pour nos cultures.



Diagnostic Avancé

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur avancé 2.5.

Diversité génétique des champignons (nombre de taxons-S)

- Prélèvement d'échantillons : Au hasard dans la zone d'étude, avec une sonde de 2,5 cm de diamètre à une profondeur équivalente à la couche labourée (fréquemment 0-30 cm).
- Traitement : Les échantillons sont homogénéisés, tamisés (pore = 2mm) et stockés à 4°C jusqu'à leur analyse, qui doit être effectuée sous 2 mois. Des stockages prolongés exigent de congeler l'échantillon (< -20°C).
- Analyse en laboratoire : Pour la technique dite ARI-SA, l'ADN des champignons du sol est extrait (kit Mo-Bio[®]) et amplifié par PCR avec des amorces universelles fongiques (Ranjard et cols., 2001). Un séquenceur automatique permet de séparer l'ADN en pics de différente taille, chacun de ces pics correspondant à une espèce fongique différente (idéalement). Ainsi donc, le nombre de pics est indicateur du nombre de champignons prédominants dans l'échantillon de sol.

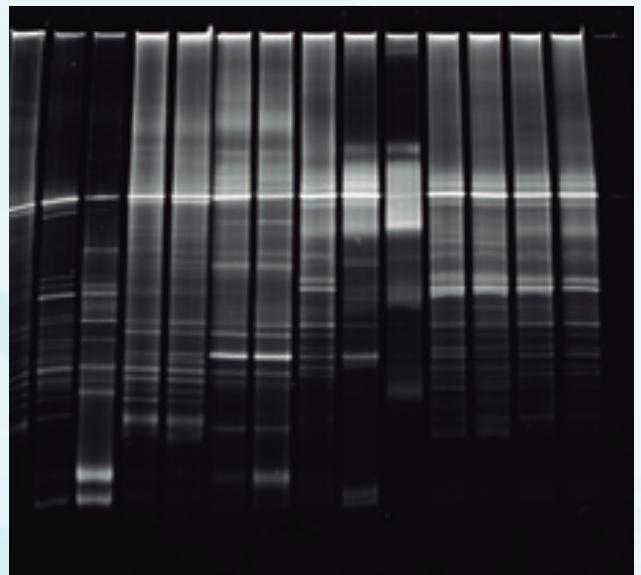
Comparez le résultat de votre mesure aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la diversité génétique des champignons ?

Nous avons déjà décrit les principales fonctions des champignons en expliquant comment nous pouvons estimer leur diversité fonctionnelle (Indicateur avan-

cé 2.3.). Toutefois, nous pensons qu'il est nécessaire d'analyser aussi leur diversité taxonomique-génétique, pour sa valeur intrinsèque et parce qu'elle est la garantie de ce que la communauté de champignons sera suffisamment résiliente pour conserver ses fonctions en dépit des perturbations qu'elle pourrait souffrir à l'avenir (changement climatique, pratiques agricoles, etc.).

L'image ci-dessous montre un gel d'agarose avec l'ADN de plusieurs sols agricoles amplifiés, mais avant leur séparation par séquenceur.



Diagnostic Avancé

2^{ème} Service d'un agroécosystème : préserver la biodiversité

Indicateur avancé 2.6. Diversité génétique des bactéries (nombre de taxons-S)

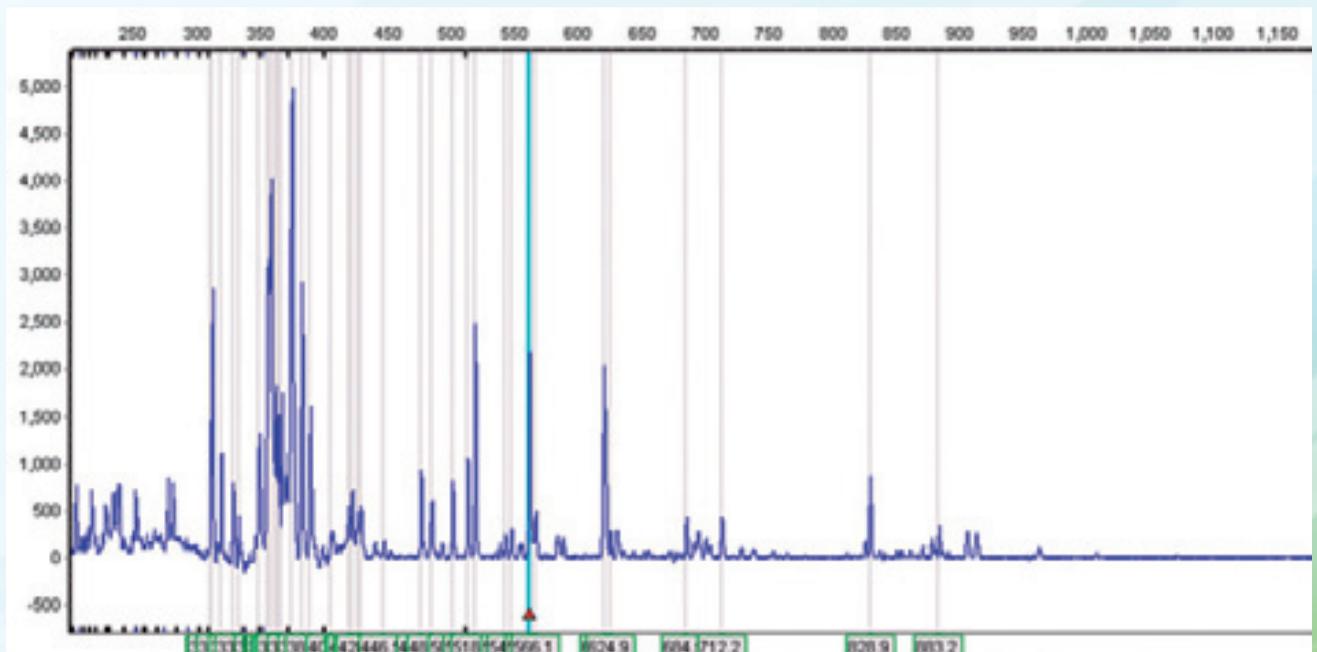
- Prélèvement et traitement de échantillons: Identiques à ceux de point précédent pour analyser la diversité génétique des champignons (indicateur 2.5.).
- Analyse en laboratoire : pour la technique dite ARI-SA, l'ADN des bactéries du sol est extrait (kit MoBio^R) et amplifié par PCR avec des amorces universelles bactériennes (Cardinale et cols., 2004). Un séquenceur automatique permet de séparer l'ADN en pics de différente taille, chacun de ces pics correspondant à une espèce bactérienne différente (idéalement). Ainsi donc, le nombre de pics est indicateur du nombre de bactéries prédominantes dans l'échantillon de sol.

Comparez le résultat de votre mesure aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la diversité génétique de bactéries ?

Les bactéries sont, très nettement, le groupe le plus nombreux et divers du biote édaphique. Il suffit de dire qu'une poignée de sol sain peut abriter jusqu'à 100 billions de bactéries, appartenant à plus de 50.000 espèces, pour nous faire une idée de la valeur des sols comme réservoir de biodiversité bactérienne.

L'image ci-après montre un profil de pics appartenant à un sol agricole.



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.1. État physique-Capacité de stockage de l'eau (%)

Il s'agit de vérifier la quantité d'eau que notre sol est capable de retenir pour le céder ultérieurement aux cultures. Comme les racines des cultures puisent de l'eau non seulement dans la couche labourée, il convient de réaliser cette mesure pour chacun des horizons différents du sol, jusqu'à une profondeur minimum de 50 cm. Pour cela il vous faudra approfondir le trou que vous avez creusé pour les mesures de base de la macrofaune (indicateur 2.4), des lombrics (3.9) et des racines (3.10).

-Prélèvement d'échantillons : Des carottes inaltérées sont prélevées dans les différents profils du sol.

- Traitement : Les échantillons sont saturés en eau 24 heures, avant de les mettre dans la chambre de pression.

-Analyse en laboratoire : Suivant le procédé de (Richards et Weaver, 1944), une pression de -33KPa est appliquée pour porter le sol à son point de capacité de terrain. Postérieurement la pression de succion est augmentée jusqu'à -1500KPa (point de flétrissement

permanent). La quantité d'eau comprise entre deux pressions est celle qui résulte utile à nos cultures.

Pour le diagnostic du sol, nous utiliserons le résultat obtenu pour la couche labourée (environ 0-30cm). Comparez ce résultat aux références de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la capacité de rétention hydrique de notre sol ?

La capacité du sol à stocker l'eau de pluie/arrosage influence décisivement son activité biologique et la productivité des cultures. Elle dépend autant de sa texture (argileuse, franche ou sablonneuse) que de sa structure et de sa teneur en matière organique (MO). La texture d'un sol dépend du matériel parental à partir duquel il s'est formé et nous pouvons difficilement la modifier. En revanche, sa structure dépend beaucoup de la gestion (système de labourage principalement) qui doit favoriser la présence de canaux et de pores permanents où sont stockés et circulent l'eau et l'air. De même, la MO favorise la capacité de stockage d'eau du sol.



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.2. État physique-Compactage (MPa)

Cette mesure avancée exige de disposer d'un appareil numérique ("pénétromètre") capable d'enregistrer la pression nécessaire pour traverser notre sol, tout le long d'un profil de 0-75cm de profondeur. Cinq pénétrations sont effectuées pour obtenir le graphique moyenné de résistance à la pénétration.

La résistance augmente en profondeur. Pour le diagnostic du sol, nous utiliserons la résistance moyenne montrée par la couche labourée (environ 0-30cm). Comparez le résultat de cette mesure (en MPa) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une note de 0 à 10.

PRÉCISION : Les valeurs de référence fournies dans ce manuel correspondent à un pénétromètre modèle Rimik CP40II. Souvenez-vous les moments propices au prélèvement d'échantillons (p. 3), car cette mesure dépend beaucoup de l'état d'humidité du sol au moment de la mesure.

Pourquoi mesurons-nous la compactage du sol avec un pénétromètre numérique ?

Cet appareil nous indique, centimètre à centimètre depuis la surface jusqu'à 75 cm de profondeur, la pression que doivent surmonter les racines de nos cultures pour traverser le sol en quête de nutriments et d'eau. En règle générale, on estime qu'à partir de 1,5MPa le développement des racines devient plus difficile et qu'à partir de 3MPa leur développement est pratiquement stoppé, même s'il est vrai que toutes les cultures ne se comportent pas pareil.



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.3. État chimique-Acidité/basicité du sol (pH, Al et calcaire actif)

Au niveau de base, nous avons déjà expliqué la signification du pH du sol et comment le mesurer, grosso modo, avec des bandelettes de pH. Au niveau avancé, nous allons effectuer la mesure avec un pH-mètre qui nous offre une plus grande exactitude, même si la préparation préalable du sol est la même : prélevez un échantillon de sol sec (environ 10 grammes) et ajoutez 2,5 fois son volume d'eau (25ml). Agitez, laissez reposer 10 minutes et introduisez l'électrode du pH-mètre dans le liquide surnageant.

Comparez votre résultat (pH) aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une valeur de 0 à 10.

PRÉCISION : Si le pH indique une valeur inférieure à 5,5, il est conseillé de mesurer le taux de saturation d'aluminium (% Al) dans le complexe de changement du sol, au moyen de méthodes standard (MAPA, 1994). En revanche, il convient de vérifier la présence de calcaires actifs si le pH est supérieur à 7,5 (notamment si, de plus, une haute réactivité à l'acide chlorhydrique a été observée pendant le diagnostic de base).

Pourquoi mesurons-nous le pH du sol ? Et l'aluminium ? Et le calcaire actif ?

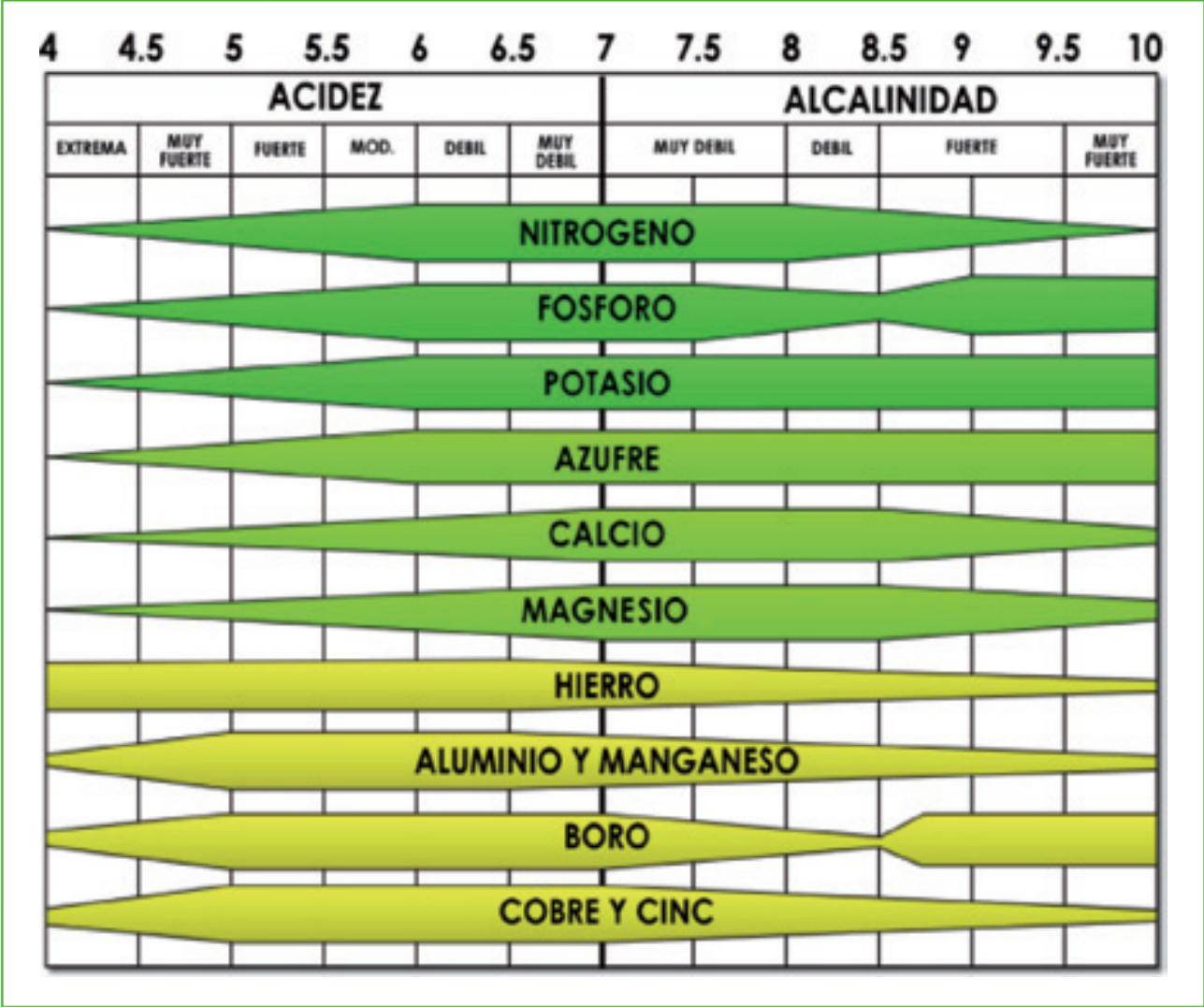
La plage de pH optimale pour les sols agricoles est comprise entre 5,5 et 7 car, sur cet intervalle, les nutriments minéraux sont plus solubles et peuvent ainsi être absorbés par les racines. Le tableau ci-dessous met en relation le pH et la solubilité de certains minéraux.

Aluminium: Avec un pH bas (acide), l'aluminium sature le complexe de changement du sol et gêne l'absorption d'autres minéraux, avec des effets phytotoxiques lorsque la saturation dépasse 10%.

Chaux active : Avec un pH haut (basique), le problème est en général l'excès de carbonates de calcium. Parmi les carbonates, ceux dont la taille est inférieure à 50 µm sont appelés calcaire actif pour leur haute solubilité dans l'eau et ils enrichissent la solution du sol en ions bicarbonate. De hauts niveaux de calcaire actif (>5%) peuvent entraîner des carences de certains nutriments comme le phosphore et le fer.



Solubilité des minéraux avec différents pH



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.4.

État chimique-Matière organique (%) et rapport C/N du sol

Au niveau de base, nous avons déjà expliqué le rôle de la matière organique (MO) en le sol et comment l'évaluer grosso modo. À ce niveau avancé, nous mesurerons le contenu exact en MO (%) et le rapport carbone/azote (C/N) du sol en utilisant des protocoles standard de laboratoire (MAPA, 1994):

- Prélèvement d'échantillons : Au hasard sans la zone d'étude, avec une sonde de 2,5 cm de diamètre et une profondeur égale à la couche labourée (fréquemment 0-30 cm).
- Traitement : Les échantillons sont homogénéisés, tamisés, séchés et conservés à température ambiante.
- Analyse en laboratoire : Le C organique du sol s'oxyde avec du dichromate en présence d'acide sulfurique. L'excès d'oxydant est évalué avec du sulfate d'ammonium ferreux et la quantité de C organique oxydée est calculée à partir de la quantité de dichromate réduit. Pour déterminer le N (Kjeldahl), l'azote organique total est transformé en sulfate d'ammonium au moyen d'une digestion dans l'acide sulfurique, neutralisé, recueilli dans une solution d'acide borique et intitulé acide chlorhydrique.

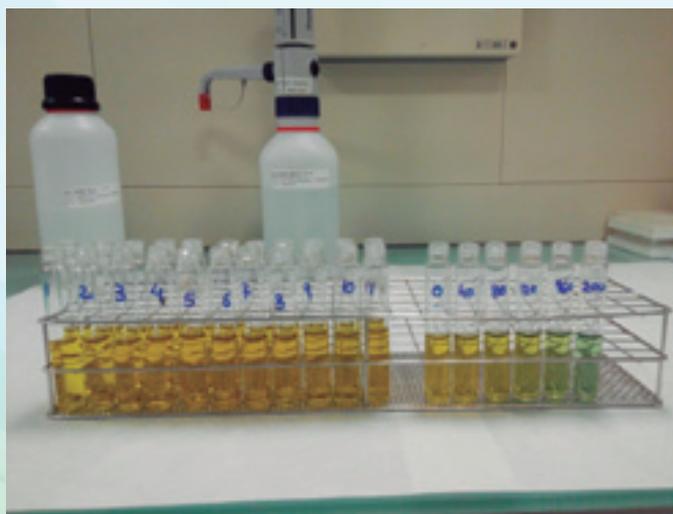
Comparez les deux résultats de %MO et C/N aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-leur en conséquence une valeur de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous le contenu en MO et le rapport C/N du sol ?

La MO sert d'aliment aux organismes du sol et, une fois minéralisée par eux, aux cultures. De plus, comme il a déjà été expliqué dans le diagnostic de base, elle améliore d'autres propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, ce qui en fait l'un des meilleurs indicateurs de sa santé.

Le rapport C/N nous indique l'évolution de cette matière organique. Les microorganismes du sol ont besoin de carbone (C) comme source d'énergie et d'azote (N) comme intermédiaire dans la synthèse des protéines. S'ils ne disposent pas de certains de ces éléments, la minéralisation se ralentit et les cultures ne disposent plus de nutriments suffisants pour leur développement.

Selon le système de production agricole que nous suivons (mode de labourage, fertilisation, etc.) nous pouvons modifier la teneur en matière organique et le rapport C/N du sol.



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.5. État chimique- Macronutriments minéraux (N, P, K)

Nous allons mesurer la teneur en azote nitrique (N), Phosphore (P) et Potassium (K) du sol en suivant une méthodologie de laboratoire standard (MAPA, 1994) :

- Prélèvement de échantillons et traitement : Comme au point précédent (indicateur avancé 3.4).

Analyse de laboratoire : Brièvement, les nitrates du sol sont extraits avec KCl 1M, réduits en nitrite et déterminés spectrophotométriquement à 540nm. Le phosphore est extrait du sol avec CO_3HNa et l'orthophosphate (PO_4^{3-}) finit par être réduit par l'acide ascorbique à la couleur bleue, qui est déterminée à 880nm. Le potassium est extrait à l'acétate d'ammonium et déterminé par absorption atomique.

Voici les niveaux optimaux approximatifs que doivent maintenir ces macronutriments dans les sols agricoles : azote nitrique (N) : 10-30 ppm ; Phosphore (P): 25-50 ppm ; Potassium (K) : 100-200 ppm.

Après l'analyse de votre sol, vérifiez combien de ces macronutriments se trouvent sur leur plage optimale et attribuez en conséquence une valeur de 0 à 10 à cet indicateur dans la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52), selon l'évaluation suivante :

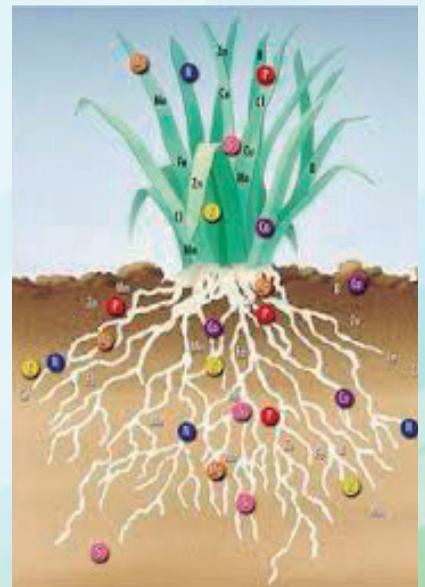
Trois macronutriments sur leur plage optimale=8,5 points. Deux macronutriments=5 points. Un=1,5 point.

PRÉCISION 1 : Ces plages sont calculées en pensant que l'échantillon de sol est prélevé au moment de la récolte, comme il est conseillé en début de manuel (page 3). À ce moment, une partie des nutriments du sol aura déjà été prélevée par les cultures.

PRÉCISION 2 : N'oubliez pas que ces plages ne sont qu'une indication et que toutes les cultures n'ont pas les mêmes besoins. Des informations plus détaillées sont disponibles sur le site <http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/recomenculitvosdeserrehuertas-yfrutales.pdf>

Pourquoi mesurons-nous les niveaux de macronutriments dans le sol ?

La disponibilité de minéraux a une influence directe sur la productivité des cultures et l'activité biologique du sol. Parmi ces minéraux, les plus importants en agriculture sont le N, P et K, car ils sont utilisés en plus grande proportion par les plantes ("macronutriments"). En-dessous de ces plages optimales indiquées, nous limitons le potentiel productif de nos cultures. Au-dessus, l'excès de nutriments peut se lessiver et eutrophiser-polluer les ressources fluviales proches.



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.6. État chimique-Salinité

La conductivité électrique (CE) d'un sol nous indique sa teneur en sels, ceux-ci étant essentiels à la croissance des plantes et au biote édaphique. Toutefois, l'accumulation excessive de sels peut affecter les cultures, ce problème étant relativement commun dans les zones arides et semi-arides (également dans les serres).

Pour mesurer la conductivité de notre sol, nous allons suivre une méthodologie similaire à celle décrite pour la détermination du pH [solution 1:2,5 de sol : eau ; voir l'indicateur avancé 3.3.], à la différence que maintenant nous utilisons un conductimètre et que nous effectuons le relevé avec les particules en suspension (MAPA, 1994).

Comparez votre résultat aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une note de 0 à 10.

PRÉCISION : La CE d'une solution augmente avec la température, à raison d'environ 2% par °C supplémentaire. C'est pourquoi les conductivités de la table-résumé de diagnostic sont standardisées pour 25°C.

Pourquoi mesurons-nous la salinité du sol ?

L'excès de sels affecte les cultures et les organismes du sol de plusieurs façons : (i) toxicité directe (ex. : Bore) ; (ii) destruction de l'équilibre ionique dans les tissus ; (iii) interférence avec l'absorption de nutriments (ex. : calcium dans la tomate) et d'eau (par baisse du potentiel osmotique).

En général, des valeurs de CE entre 0 et 1 sont acceptables pour la plupart des cultures et des organismes édaphiques, même si tous n'ont pas la même tolérance à la salinité. C'est pourquoi les tableaux suivants peuvent vous être utiles. Y sont indiquées les limites CE (en dS/m) que chaque culture peut supporter sans baisse de son rendement :

Cultures horticoles

Tomate	Concombre	Épinard	Chou	Piment	Oignon	Haricot	Fraise
2.5	2.5	2.0	1.8	1.5	1.2	1.0	1.0

Cultures extensives

Orge	Betterave	Blé	Soja	Maïs	Patate
8.0	7.0	6.0	5.0	1.7	1.7

Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.7. État chimique-Polluants/pesticides

Au moyen de la méthode TERRATTEST ® nous pouvons analyser la présence (et la concentration) de plus de 200 polluants possibles dans nos sols et nos eaux, appartenant aux groupes suivants :

- Métaux
- Composés Aromatiques
- Phénols
- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- Hydrocarbures Volatils Halogénés
- Chlorobenzènes
- Chlorophénols
- Polychlorobiphényles
- Autres chlorofluorocarbures
- Hydrocarbures totaux de pétrole
- Pesticides

Les concentrations maximales autorisées dans les sols agricoles pour chacun de ces composés varie entre les pays (voire même au niveau régional). En l'absence de développements législatifs spécifiques au niveau européen, nous prendrons comme limites les valeurs Indicatives d'Évaluation (VIE) définies dans la Loi 1/2005 du Pays Basque pour la prévention et la correction de la pollution des sols (http://www.ihobe.net/documentos/imagenpaginas/Ley_1-2005.pdf).

En définissant la VIE-A comme la "concentration maximum dans laquelle une substance se trouve

dans le sol de façon naturelle", et la VIE-B comme la "concentration maximale au-dessus de laquelle elle suppose un risque pour la santé humaine ou et l'environnement, en fonction de l'usage du sol", l'évaluation s'effectue de la façon suivante :

En partant d'une note maximale de 10 dans le diagnostic avancé (p. 52), nous allons soustraire 1 point pour chaque composé dépassant la VIE A. En cas de dépassement de la VIE B correspondant à l'usage le plus sensible du sol (catégorie "autres usages"), la note de cet indicateur sera de 0 point. La note sera aussi 0 en cas de détection de produits agrochimiques non autorisés actuellement selon la Directive européenne 91/414/EEC -Annexe 1 (voir indicateur de base, p. 23)

Pourquoi mesurons-nous la concentration de polluants/pesticides dans le sol ?

Les sols agricoles ne sont pas exempts de recevoir des polluants issus de processus chimiques industriels (via les dépôts atmosphériques et les déversements directs) et de la propre activité agricole (usage de produits agrochimiques). De fait, 63 des 240 substances potentiellement polluantes analysées par la méthode TERRATTEST ® sont des pesticides. Dans ce chapitre, nous essayons de vérifier si ces substances sont effectivement présentes dans notre agroécosystème et, si c'est le cas, si elles atteignent des concentrations pouvant entraîner un risque pour la santé humaine ou l'environnement.

Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.8. État biologique-Activité microbienne

Nous allons estimer l'activité des microorganismes du sol en mesurant leur taux de respiration. Ce taux est hautement variable et peut connaître de fortes fluctuations naturelles selon le substrat disponible, l'humidité, la température, etc. De plus, les racines des plantes contribuent aussi notablement à la respiration du sol. C'est pourquoi nous analysons la respiration du sol une fois retirées les racines et en conditions standard de laboratoire, selon la méthode ISO 16072 (2002):

- Prélèvement et traitement d'échantillons : identiques à ceux réalisés pour les analyse de diversité fonctionnelle microbienne (indicateurs avancés 2.3. et 2.4.).
- Analyse de laboratoire: Brièvement, le taux d'émission de CO₂ du sol est mesuré pendant les 3 premiers jours d'incubation dans des bocaux hermétiques

à 30°C, en présence d'une solution de NaOH et sans ajout de nutriments externes (respiration au niveau basal).

Comparez votre résultat aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une note de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la respiration basale du sol ?

La respiration du sol est une propriété bien établie pour surveiller l'activité microbienne de décomposition de la matière organique, car elle reflète l'activité oxydative globale des microorganismes. Une haute respiration basale indique que le sol est actif et que donc il fonctionne. Mais comme elle suppose une émission de CO₂ dans l'atmosphère, il ne convient pas de l'augmenter sans contrôle.



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.9. État biologique-Abondance microbienne

Nous allons estimer l'abondance microbienne du sol en mesurant son potentiel maximum de respiration dans des conditions idéales (température, humidité et disponibilité de substrats), selon la méthode ISO 17155 (2002) :

Brièvement, nous prenons les sols incubés à 30°C pendant 3 jours de la mesure précédente, nous leur ajoutons une solution nutritive consistant en un mélange de glucose, KH_2PO_4 et $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, et nous mesurons leur taux d'émission de CO_2 pendant 6 nouvelles heures d'incubation (à 30°C et en présence de NaOH).

Comparez votre résultat aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une note de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous la respiration induite par substrat du sol ?

La respiration induite par substrat est une mesure indirecte de la biomasse (abondance) microbienne. Un sol sain et riche en nutriments peut abriter une grande quantité de microorganismes, dont nous savons aujourd'hui qu'ils sont responsables de 80-90% de l'activité biologique du sol (recyclage de nutriments, etc.). Les indicateurs biologiques comme celui-ci offrent l'avantage d'être hautement sensibles à la gestion agricole et de répondre rapidement aux changements introduits dans le sol. Pour nous faire une idée de sa rapidité, pensons que dans cet essai une période maximale d'incubation de 6 heures est fixée, précisément pour éviter une augmentation significative de la population microbienne pendant le propre essai, en présence de conditions idéales.



Diagnostic Avancé

3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol

Indicateur avancé 3.10. État biologique- Quotient respiratoire (qCO_2)

Les deux propriétés du sol mesurées précédemment (respiration et abondance microbienne) sont habituellement combinées pour obtenir ce qu'on appelle le quotient respiratoire (qCO_2) qui exprime le taux respiratoire en fonction de la biomasse microbienne. Il se calcule en divisant les valeurs précédentes de respiration basale (numérateur ; indicateur 3.8.) et de respiration induite par substrat (dénominateur ; indicateur 3.9).

Comparez votre résultat aux valeurs de référence de la table-résumé de diagnostic avancé (p. 52) et attribuez-lui en conséquence une note de 0 à 10.

Pourquoi mesurons-nous le quotient respiratoire du sol ?

Le quotient respiratoire peut être utilisé pour étudier le développement des sols, la qualité du substrat, le développement de l'écosystème et la réponse face au stress. La théorie indique que, au fur et à mesure qu'un écosystème gagne en maturité et en diversité, la compétition pour l'énergie disponible augmente, entraînant une pression sélective plus forte vers des usages plus efficaces des ressources disponibles. En termes de biomasse, ceci signifie que les écosystèmes stables abritent une plus grande quantité de biomasse donnant lieu à des quotients respiratoires plus bas. En revanche, une hausse du quotient respiratoire (autrement dit, une plus forte hausse, proportionnellement, de la respiration que de la biomasse) peut indiquer une situation de stress de la communauté microbienne (par exemple suite à l'application d'un pesticide).



Diagnostic Avancé

4^{ème} Service d'un agroécosystème : atténuer le changement climatique

Indicateur avancé 4.1. Teneur en matière organique du sol (%)

Nous avons déjà réalisé cette mesure auparavant, comme indicateur de l'état chimique du sol (indicateur avancé 3.4.), dans le cadre du 3^{ème} Service d'un agroécosystème : soigner le sol.

Ainsi, il n'est pas nécessaire de répéter la mesure, car vous pouvez vous servir du résultat obtenu alors pour le comparer aux valeurs de référence de cet indicateur dans la table-résumé de diagnostic avancé de la page 52 (à cette occasion, les valeurs de référence changent puisque nous évaluons le 4^{ème} Service d'un agroécosystème : atténuer le changement climatique).

Pourquoi mesurons-nous la matière organique du sol en laboratoire ?

Au niveau de base, nous avons déjà expliqué l'importance de conserver la matière organique du sol par rapport au changement climatique. L'analyse en laboratoire nous permettra de surveiller avec une plus grande exactitude l'évolution de cet indicateur.



Diagnostic Avancé

4^{ème} Service d'un agroécosystème : atténuer le changement climatique

Indicateur avancé 4.2. Émissions de CO₂

Il s'agit de mesurer les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) qui se produisent depuis notre sol, dans la mesure où il s'agit de l'un des principaux gaz à effet de serre, avec le méthane (CH₄) et les oxydes nitreux (N_xO). Les émissions de CO₂ en champ sont calculées au moyen d'un appareil portable (SRC-1/EGM-4, de PP Systems^R).

Quatre points d'échantillonnage sont choisis dans la zone d'étude et pour chaque point nous obtenons une valeur moyenne d'émissions de CO₂ à partir des résultats de 5 relevés. Finalement, cette valeur moyenne d'émissions est comparée aux valeurs de référence indiquées dans le tableau de indicateurs avancés, avec attribution d'une note de 0 à 10.

Les sols qui maintiennent de bas taux d'émission de CO₂ aident à ralentir le changement climatique.

Pourquoi mesurons-nous les émissions de CO₂ ?

Au niveau de base, nous avons déjà expliqué l'importance de conserver la matière organique du sol vis-à-vis du changement climatique.



Service	Indicateurs de base	Mal 0...3	Passable 3...7	Bien 7...10	Note indicateur (0-10)	Note service (0-10)
1. Production	1.1. Récolte (g/plante) p. 6 iImprescindible!	Voir p. 6	Voir p. 6	Voir p. 6		
	1.2. Ravageurs (% plantes saines) p. 8 iImprescindible!	0 - 45	45 - 85	85 - 100		
2. Biodiversité	2.1. Diversité de cultures (n° espèces) p. 10 iImprescindible!	0 - 3	3 - 7	7 - 10		
	2.2. Diversité végétale adjacente (n° strates) p. 11	1	2	3		
	2.3. Absence d'espèces invasives (n° espèces) p. 12	2	1	0		
	2.4. Diversité de macrofaune (n° types) p. 13 iImprescindible!	0 - 6	6 - 14	14 - 20		
	2.5. Diversité de mésofaune dans le sol (indice) p. 14	0 - 30	30 - 70	70 - 100		
2. Sol	3.1. Physique-Érosion (gain vs. perte de sol; cm) p. 16	(-3,5) - (-2)	(-2) - 0	0 - (+1,5)		
	3.2. Physique-Temps d'infiltration (min) p. 17	60 - 30	30 - 10	10 - 0		
	3.3. Physique-Compactage (cm) p. 18	0- 10	10 - 20	20 - 40		
	3.4. Chimique-Acidité/Basicité pH p. 19 réaction	3-4,5 ó > 9 Aucune or très fort	4,5-5,5 ó 8-9 Faible or fort	5,5 - 8 Moyen		
	3.5. Chimique-Matière organique réaction p. 20 couleur	Aucune Pâle	Faible Moyenne	Forte Brune		
	3.6. Chimique-Nutriments minéraux (coloration) p. 21	Pâle ou anormale	Moyenne	Uniforme et brune		
	3.7. Chimique-Pesticides/polluants (usage) p. 22 iImprescindible!	Voir p. 23	Voir p. 23	Voir p. 23		
	3.8. Biologique-Activité (% dégradation) p. 24	0 - 10	10 - 20	20 - 40		
	3.9. Biologique-Lombrics (n°) p. 25 iImprescindible!	0 - 3 ó > 20	3 - 7 ó 10 - 20	7 - 10		
	3.10. Biologique: Racines (développement) p. 26	Superficiel	Moyen	Profond		
4. Changement climatique	4.1. Matière organique réaction p. 27 couleur iImprescindible!	Aucune Pâle	Faible Moyenne	Forte Brune		
	4.2. Système de production (gain vs. perte C) p. 28 iImprescindible!	Voir p. 29	Voir p. 29	Voir p. 29		
DIAGNOSTIC DE BASE						NOTE FINALE

Service	Indicateurs de base	Mal 0...3	Passable 3...7	Bien 7...10	Note indicateur (0-10)	Note service (0-10)
1. Production	1.1. Récolte (t/ha) p. 29	Voir p. 30	Voir p. 30	Voir p. 30		
	1.2. Ravageurs (% plantes saines) p. 31	0 - 45	45 - 85	85 - 100		
2. Biodiversité	2.1. Diversité de cultures (espèces+variétés) p. 32	0 - 3,2	3 - 7,5	7,5 - 11		
	2.2. Diversité végétale adjacente (n° espèces) p. 33	0 - 9	9 - 21	21 - 30		
	2.3. Diversité fonctionnelle champignons (NSU) p. 34	0 - 10	10 - 40	40 - 95		
	2.4. Diversité fonctionnelle bactéries (NSU) p. 35	0 - 10	10 - 20	20 - 31		
	2.5. Diversité génétique champignons (S) p. 36	0 - 10	10 - 30	30 - 50		
	2.6. Diversité génétique bactéries (S) p. 37	0 - 10	10 - 30	30 - 50		
3. Sol	3.1. Physique-Stockage d'eau (%) p. 38	0 - 9	9 - 21	21 - 30		
	3.2. Physique-Compactage (Mpa) p. 39	4 - 2,5	2,5-1,5	1,5-0		
	3.3. Chimique-Acidité/Basicité: pH p. 40 Al Ca act.	3 - 4 ó > 9 Al > 10% Ca > 5%	4,5-5,5 ó 9-8	5,5 - 8 Al < 10% Ca < 5%		
	3.4. Chimique-Matière organique (%) p. 42 -Rapport C/N	0 - 1 ó > 8 < 4 ó > 14	1-2 ó 8-4 4-8 ó 14-10	2 - 4 8 - 10		
	3.5. Chimique-Minéraux (N, P, K) p. 43	Voir p. 43	Voir p. 43	Voir p. 43		
	3.6. Chimique-Salinité (dS/m) p. 44	9 - 3	6 - 3	1 - 0		
	3.7. Chimique-Pesticides/Polluants (ppm) p. 45	Voir p. 45	Voir p. 45	Voir p. 45		
	3.8. Biologique-Activité micro (ppm C-CO ₂ /h) p. 46	0 - 0,6	0,6 - 1,4	1,4 - 3		
	3.9. Biologique-Abondance micro(ppm C-CO ₂ /h) p. 47	0 - 6	6 - 18	18 - 36		
	3.10. Biologique-quotient respiratoire (qCO ₂) p. 48	0,6 - 0,2	0,2 - 0,1	0,1 - 0,05		
4. Changement climatique	4.1. Matière organique (%) p. 49	0 - 1	1 - 3	3 - 6		
	4.2. Émissions CO ₂ p. 50	1,2 - 0,9	0,9 - 0,5	0,5 - 0,2		
DIAGNOSTIC AVANCÉ						NOTE FINALE

Mauvais résultats (de base)

Que signifient-ils ? Comment les améliorer?

Service	Indicateurs de base "malades"	Causes possibles	Solutions
1. Production	1.1. Récolte	Peu de nutriments Sol compacté Acidité / basicité extrêmes Ravageurs	Fertilisation Labour profond et apports organiques Acidité: chaux. Basicité: S ou ammoniums Voir ci-après
	1.2. Ravageurs	Suceurs Champignons et bactéries sol Nématodes sol Champignons, virus et insectes aériens Gastéropodes. Rongeurs et taupes	Réduire engrais. Utiliser fertilisants mûrs Éviter stagnation. Drainage Rotation cultures. Variétés résistantes Retirer parties endommagées. faune auxiliaire Encourager faune auxiliaire
2. Biodiversité	2.1. Diversité de cultures	Monoculture	Introduire nouvelles cultures. Rotations
	2.2. Diversité végétale adjacente	Remembrement	Maintenir des franges non cultivées
	2.3. Invasives	Sol nu	Maintenir la couverture végétale
	2.4. Diversité de macrofaune	Manque d'habitats Manque d'aliment Labour intensif Pesticides	Fournir refuges (haies, nichoirs) Apports organiques Labour minimum Ne pas utiliser de pesticides
	2.5. Diversité de mésofaune	Manque d'aliment Labour intensif Pesticides	Apports organiques Labour minimum Ne pas utiliser de pesticides
3. Sol	3.1. Physique-Érosion	Labour intensif Labour inadapté (terre vers le bas) Sol nu	Labour minimum Labour adapté (terre vers le haut) Maintenir la couverture végétale
	3.2. Physique-Infiltration	Tassement superficiel Compactage superficiel	Apports organiques. Incorporation restes Réduire passage de machines
	3.3. Physique-Compactage	Compactage superficiel Compactage sub-superficiel (semelle de labour)	Réduire passage de machines Éviter engins à lames horizontales Labours profonds (sous-solage)
	3.4. Chimique-Acidité/Basicité	Acidité extrême Basicité extrême	Chauler (CaO, Ca(OH) ₂ , cendres) Matière organique et sulfures
	3.5. Chimique-Mat.organique (MO)	Fertilisation minérale Retrait ou brûlage des restes de récolte	Fertilisation organique (compost, fumier) Incorporation de restes au sol
	3.6. Chimique-Minéreaux	Fertilisation insuffisante ou inadapté	Fertilisation correcte (doses et moments)
	3.7. Chimique-Pesticides	Usage pesticides potentiellement dangereux	Mesures préventives (voir 1.2)
	3.8. Biologique-Activité	Défaut de nutriments complexes Manque d'oxygène ou d'eau Présence de substances toxiques	Apports organiques (fertilisants, restes) Décompactage (voir 3.3). Arrosage Éviter polluants (pesticides ou non)
	3.9. Biologique-Lombrics	Stress physique (labour) Stress chimique (acidité, pesticides) Stress biologique (taupes et rongeurs)	Réduire/éviter usage cultivateur rotatif Éviter acidité et pesticides. Apporter MO. Prévenir ravageurs (voir 1.2)
	3.10. Biologique: Racines	Compactages Maladies radiculaires	Décompactage (voir 3.3) Éviter stagnation. Rotation (voir 1.2)
4. Changement climatique	4.1. Matière organique	Voir 3.5	Voir 3.5
	4.2. Système de production	Labour intensif Fertilisation minérale Retrait ou brûlage de restes de récolte Sol nu	Labour minimum Fertilisation organique (compost, fumier) Incorporation restes végétaux Couverture végétale

Mauvais résultats (de base)

Que signifient-ils ? Comment les améliorer ?

Service	Indicateurs de base "malades"	Causes possibles	Solutions
1. Production	1.1. Récolte	Peu de nutriments Sol compacté Acidité / basicité extrêmes Ravageurs	Fertilisation Labour profond et apports organiques Acidité: chaux. Basicité: S ou ammoniums Voir 1.2
	1.2. Ravageurs	Suceurs Champignons et bactéries sol Nématodes sol Champignons, virus et insectes aériens Gastéropodes. Rongeurs et taupes	Réduire fertilisation. Utiliser fertilisants mûrs Éviter stagnation. Drainage Rotation cultures. Variétés résistantes Retirer parties endommagées. Faune Encourager faune auxiliaire
2. Biodiversité	2.1. Diversité de cultures	Monoculture	Introduire nouvelles cultures. Rotations
	2.2. Diversité végétale adjacente	Remembrement	Maintenir franges non cultivées
	2.3. Diversité fonctionnelle champignons	Usage de fertilisants simples (N-P-K) Labour intense Basicité extrême	Usage de fertilisants composés (organiques) Labour minimum Maîtriser basicité (voir 3.3)
	2.4. Diversité fonctionnelle bactéries	Usage de fertilisants simples (N-P-K) Acidité extrême	Usage de fertilisants composés (organiques) Maîtriser acidité (voir 3.3)
	2.5. Diversité génétique champignons	Excès de nutriments labiles Labour intense Basicité extrême	Usage de fertilisants mûrs (compost) Labour minimum Maîtriser basicité (voir 3.3)
	2.6. Diversité génétique bactéries	Manque de nutriments labiles Acidité extrême	Usage fertilisants jeunes (fumier) Maîtriser acidité (voir 3.3)
3. Sol	3.1. Physique-Stockage eau	Structure édaphique pauvre (manque de pores)	Décompacter (voir 3.2.) et ajouter MO
	3.2. Physique-Compactage	Compactage superficiel Compactage sub-superficiel (semelle de labour)	Réduire passage de machines Éviter engins à lames horizontales Labours profonds (sous-solage)
	3.3. Chimique-Acidité/Basicité	Acidité extrême Basicité extrême	Chauler (CaO, Ca(OH) ₂ , cendres) Matière organique et soufres
	3.4. Chimique-Mat.Organique (MO)	Fertilisation minérale Retrait ou brûlage de restes de récolte	Fertilisation organique (compost, fumier) Incorporation de restes al sol
	3.5. Chimique-Minéraux	Fertilisation insuffisante ou inadaptée	Fertilisation correcte (doses et moments)
	3.6. Chimique-Salinité	Arrosage insuffisant ou inadapté	Contrôle de l'arrosage
	3.7. Chimique-Polluants	Déversement polluants (pesticides ou non)	Éviter déversements et pesticides (voir 1.2)
	3.8. Biologique-Activité micro	Manque de nutriments complexes Manque d'oxygène ou d'eau Présence de substance toxiques	Apports organiques (fertilisants, restes) Décompactage (voir 3.3). Arrosage Éviter polluants (pesticides ou non)
	3.9. Biologique-Abondance micro	Stress physique (labour) Stress chimique (pH, MO ou pesticides) Stress biologique (taupes et rongeurs)	Labour minimum Contrôle pH. Apporter MO. Pas de pesticides Prévenir ravageurs (voir 1.2)
	3.10. Biologique-Quotient respirat.	Sources de stress microbien (voir 3.9)	Augmenter biomasse microbienne (voir 3.9)
4. Changement climatique	4.1. Matière organique	Voir 3.4	Voir 3.4
	4.2. Émissions CO ₂	Labour intensif Transport récolte longue distance	Labour minimum Consommation locale