

Charge microbienne et vitalité biologique, deux indicateurs globaux pour apprécier le fonctionnement microbiologique des sols.

Opale CHILLOU & Vincent RENOUF Laboratoire EXCELL, 25 rue Aristide Berges, 33270 Floirac

Le sol fait partie des piliers qui constituent le terroir, ses caractéristiques conditionnent la production des vins de façon quantitative et qualitative. Mais pour qu'un sol puisse être exploité de façon durable il est essentiel d'entretenir sa fertilité qui repose, entre autres sur la matière organique. Cette matière organique est en constante évolution également grâce aux organismes vivants.

La vie du sol joue donc un rôle primordial dans notre capacité à produire des cultures. Pourtant cette vie étant en majeure partie invisible à l'œil nu, elle a pendant longtemps été négligée. Aujourd'hui les enjeux majeurs concernant l'érosion et la perte de fertilité des sols nous poussent à mieux comprendre son fonctionnement pour en préserver l'équilibre. Au laboratoire, nous travaillons depuis 5 ans sur la mesure de paramètres nous permettant de mieux comprendre comment fonctionnent les micro-organismes du sol et ce qui les impacte.

Nos dernières conclusions nous éclairent sur la façon d'utiliser, en pratique, les indicateurs.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer le

développement des micro-organismes dans les sols. Ces techniques peuvent être très sommaires ou très sophistiquées et elles ne sont pas forcément comparables entre elles. Pourtant, le compartiment vivant du sol est de plus en plus pris en compte dans les choix d'itinéraires techniques et les cahiers des charges. Par exemple les dernières versions de la certification HVE 3 demandent une analyse de la charge microbienne, via mesure de l'ADN.

Notre choix s'est porté sur l'ADN et l'ATP car ce sont deux molécules communes à tous les organismes vivants, dont l'extraction et la mesure sont possibles via deux méthodes référencées qui nous permettent d'effectuer une mesure globale et sans discrimination des micro-organismes présents dans le sol au moment du prélèvement.

L'ADN extrait de l'échantillon nous permet d'avoir une donnée sur la charge microbienne.

L'ATP est la molécule qui transporte l'énergie, elle représente l'activité des micro-organismes, donc leur vitalité biologique.

Matériel et Méthode

Les prélèvements de terre sont réalisés à l'aide de matériels de prélèvement classiques (tarière, petites pelles, plantoir à main...) préalablement nettoyés. Les prélèvements se font sous la litière végétale jusqu'à 20/30 centimètres de profondeur. Au laboratoire tous les éléments biologiques visibles à l'œil nu (végétaux, insectes, vers de terre...) sont éliminés.

L'humidité de la terre est alors mesurée puis la terre est mise en solution selon des conditions définies et l'ATP et l'ADN sont mesurés avec des dispositifs spécifiquement dédiés.

Nous avons pu regrouper près de 2 000 analyses, que nous avons pu corrélérer avec d'autres paramètres physico-chimiques du sol.

Deux indicateurs différents et complémentaires

Il est possible de retrouver de très faibles quantités d'ADN dans les sols, et à l'inverse certains échantillons montent bien au-delà des quantités que l'on retrouve habituellement. Dans la majorité des cas, nos échantillons comportent entre 3,8 et 10,8 μg d'ADN/g de terre sèche.

De même, les valeurs d'ATP peuvent être proches de zéro et atteindre des niveaux bien plus importants, la plupart des échantillons sont situés entre 126 et 358 ng d'ATP/g de terre sèche.

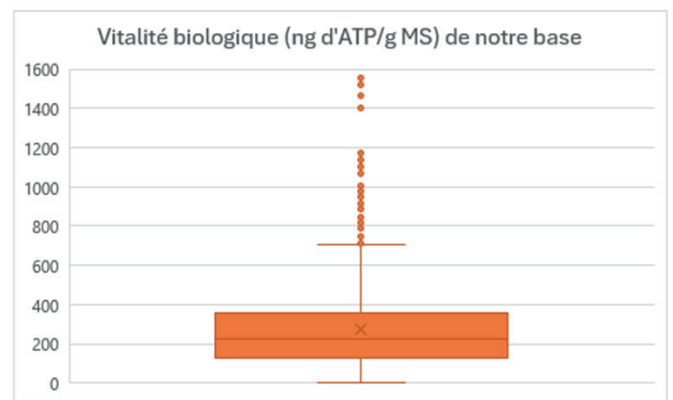
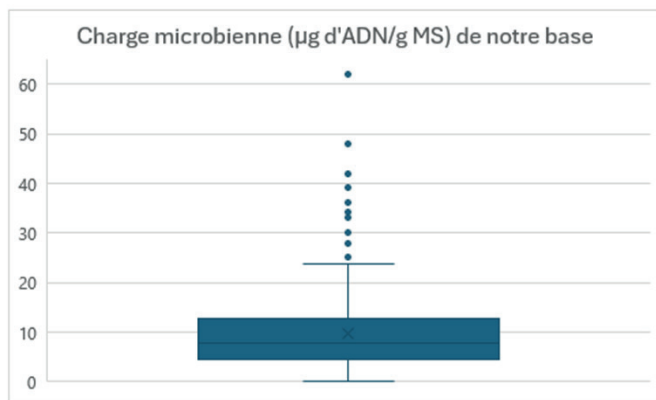


Figure 1 : Représentation en graphique type boîte à moustaches de l'exploitation de la base de données des analyses de microbiologie des sols par mesure de l'ADN et de l'ATP au laboratoire EXCELL ces 5 dernières années.

Le ratio Vitalité biologique/Charge microbienne nous permet de savoir si l'activité est importante sans

condition de quantité. Plus ce ratio est élevé, plus les micro-organismes ont un métabolisme élevé.

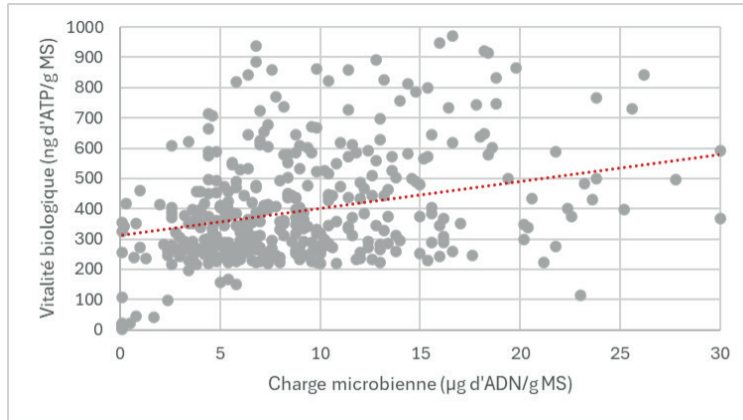


Figure 2 : Nuage de points du ratio ATP/ADN.

Plus il y a d'ADN plus la vitalité biologique est élevée, mais l'inverse est moins vrai, ce qui est cohérent avec le fait qu'il est rare d'avoir une bonne activité

avec peu de biomasse mais qu'il est possible d'avoir une biomasse peu active. Les deux mesures sont donc bien complémentaires.

Quelles conditions pour effectuer un prélèvement ?

Influence de la teneur pondérale en eau

Pour chaque analyse d'ADN et d'ATP, nous avons mesuré la teneur pondérale en eau de l'échantillon. Sur les échantillons, on voit qu'une teneur trop faible en eau (5%) ou trop forte (15%) ne donne que des résultats plus bas. Ce constat nous conforte dans

l'idée qu'un prélèvement « au meilleur potentiel » doit être fait en conditions humides mais sur sol ressuyé. Cependant, la teneur en eau peut également refléter le type de sol indépendamment des conditions.

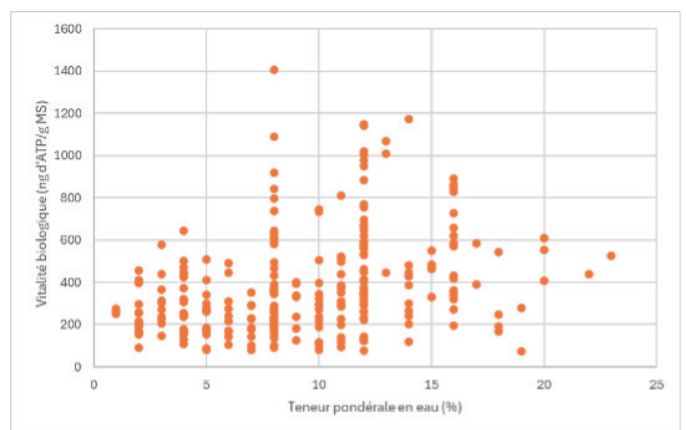
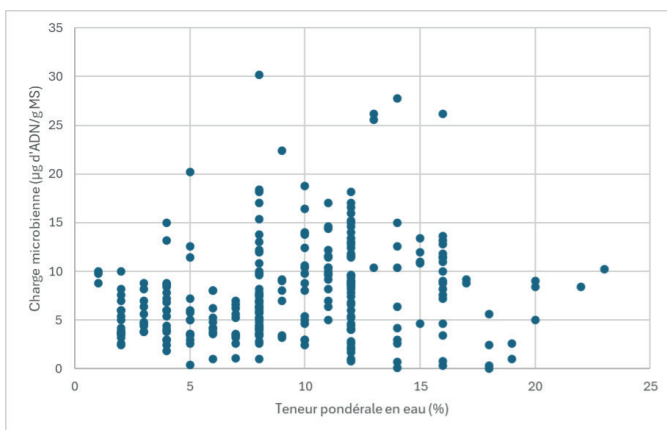


Figure 3 : Graphique représentant la charge microbienne et la vitalité biologique selon la teneur pondérale en eau.

Influence de la profondeur

Plusieurs études ont été menées sur différentes parcelles avec des prélèvements à différentes profondeurs, pour mieux comprendre la répartition des micro-organismes sur les différents horizons.

On observe une décroissance assez rapide des deux paramètres, ici sur 6 parcelles d'un même domaine ce qui nous permet de valider la prise d'échantillon

du premier horizon comme étant suffisante pour avoir une bonne information sur la vie du sol. Cela peut s'expliquer par deux raisons : les bactéries sont principalement aérobies, elles ont besoin d'oxygène pour être à leur plein potentiel et les micro-organismes sont également dépendants de la matière organique, qui diminue avec la profondeur.

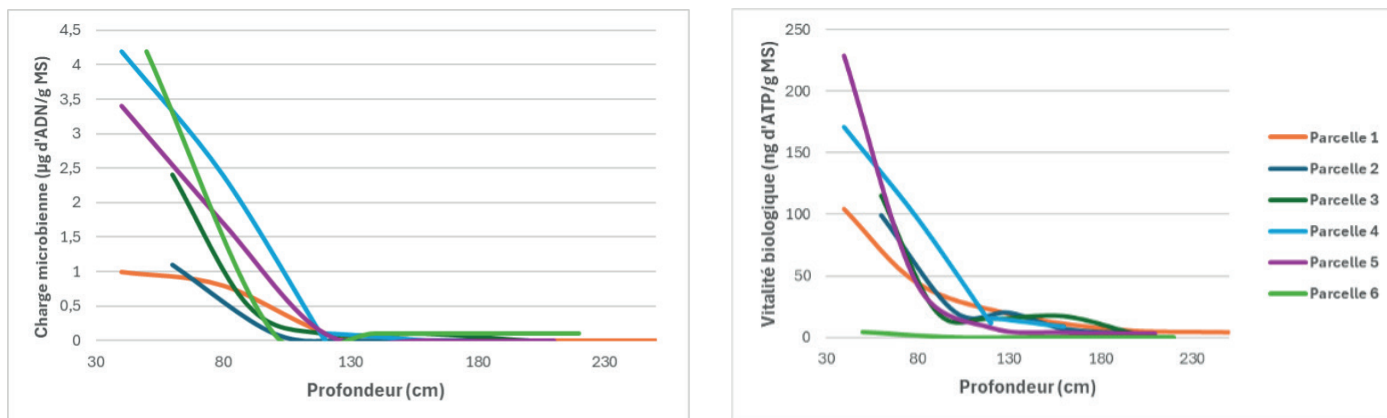


Figure 4 : Courbes représentant la charge microbienne et la vitalité biologique selon la profondeur (de 0cm à 230cm) étudiée sur 6 parcelles d'un même domaine, à la même date.

Influence de la saison et du millésime

Si l'on regarde tous les échantillons sur plusieurs années, il semble que les prélèvements faits au printemps présentent les valeurs les plus importantes, avec donc la possibilité de mieux interpréter les différences entre parcelles.

Pour un suivi pluriannuel il est donc important de faire les analyses à la même période, pour avoir des données comparables.

Mais il est également important de vérifier que les conditions (température et humidité) sont similaires car ce sont elles qui font varier l'activité des micro-organismes.

L'été, des analyses complémentaires peuvent être réalisées pour évaluer la réaction du sol et des micro-organismes face aux températures élevées.

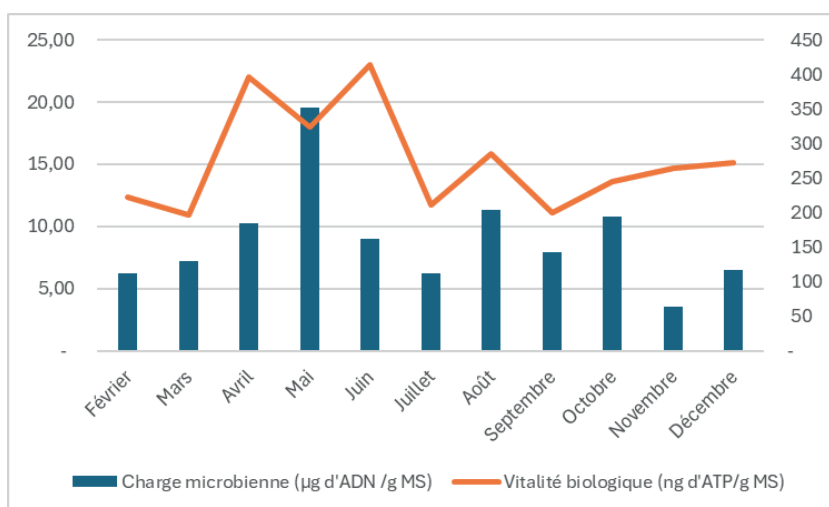


Figure 5 : Graphique combiné représentant les moyennes de la charge microbienne et de la vitalité biologique selon le mois du prélèvement, données récoltées sur les 5 dernières années.

Quels paramètres influencent la vie du sol ?

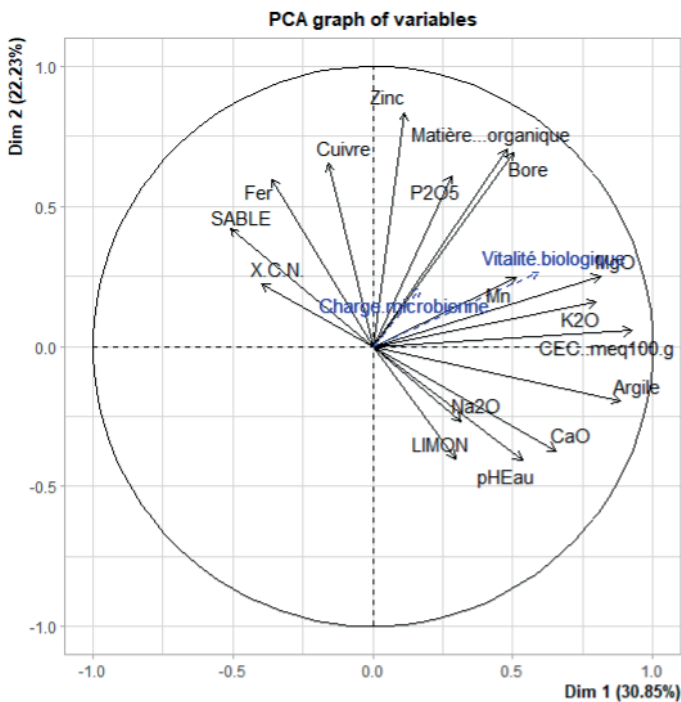


Figure 6 : Analyse en composantes principales sur les paramètres physico-chimiques et biologiques des échantillons de sols prélevés ces 5 dernières années au laboratoire Excell.

En comparant les différents paramètres physico-chimiques des parcelles avec les données microbiologiques, on peut voir des corrélations positives ou négatives. On peut se demander dans quelle mesure ce sont les conditions du milieu qui influencent la vie du sol ou l'inverse.

Une première analyse en composantes principales nous permet de voir que certaines variables comme la matière organique, la CEC ou certains oligo-éléments semblent plus influencer la charge microbienne et la vitalité biologique.

Étant donné la complexité des phénomènes qui interagissent, les coefficients de corrélation ne sont pas suffisants pour voir des effets entre certains paramètres et la vie du sol. En revanche les graphiques nous permettent de commencer à apprécier ces effets visuellement.

Influence du type de sol

Malgré certaines études qui le mettent en avant, la granulométrie, ou texture du sol (pourcentages d'argile, de sable et de limon) ne semble pas avoir une forte corrélation avec les teneurs en ADN et ATP des échantillons.

Influence de la matière organique

La matière organique, elle, est fortement corrélée avec l'ADN et encore plus sur l'ATP. Cette corrélation est assez évidente à comprendre, puisque les micro-organismes sont de la matière organique eux-mêmes, et utilisent la matière organique pour différentes fonctions notamment comme support de nutrition.

Influence du pH

En dehors d'un pH vraiment bas (< 6) qui semble impacter le développement des micro-organismes, il n'y a pas de linéarité spécifique des données par rapport au pH, il est possible que la flore soit en revanche différente car elle s'adapte au pH.

Ratio matière organique / argile

Le ratio matière organique / argile semble avoir une corrélation avec la charge microbienne, avec un idéal entre 15 et 25, en revanche le ratio vitalité biologique / charge microbienne est plus élevé sur des ratios faibles et décroît progressivement.

Influence des oligo-éléments

Les oligo-éléments sont présents en faibles quantités dans les sols, mais ils sont essentiels au développement des êtres vivants. En revanche, en trop forte quantité ils peuvent devenir toxiques, c'est notamment ce que l'on observe pour le cuivre et le zinc, dont on connaît les effets antibactériens. Ici on peut voir la répartition des indicateurs de vie du

sol en fonction de la teneur en cuivre échangeable. Les données sont identiques lorsque l'on utilise les teneurs en cuivre total. On remarque que le décrochage se fait de manière régulière. Mais on voit aussi que les trois quarts des échantillons comportent moins de 75 mg/kg de cuivre échangeable, et qu'à cette valeur l'impact est faible.

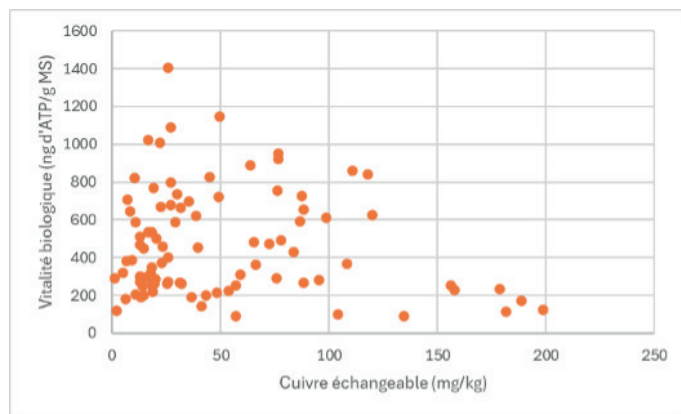
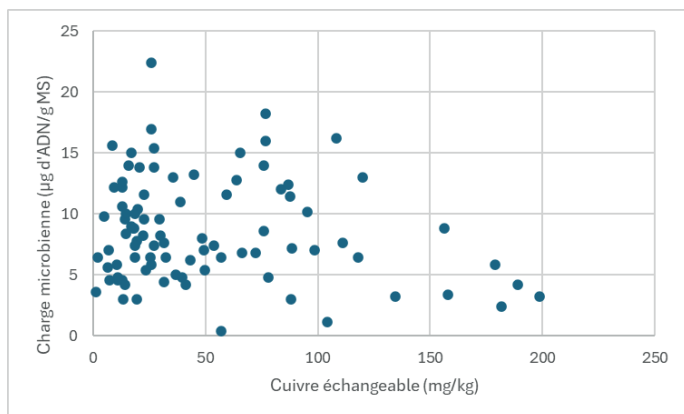


Figure 7 : Représentation en graphiques type nuage de points de la charge microbienne et de la vitalité biologique selon la teneur en cuivre échangeable.

Lien avec le Potentiel RedOx

Depuis 2021, le laboratoire a développé la mesure du potentiel Redox sur les feuilles et les sols. Grâce à plus de 200 analyses réalisées sur sol, nous

pouvons étudier le lien entre microbiologie du sol et potentiel Redox.

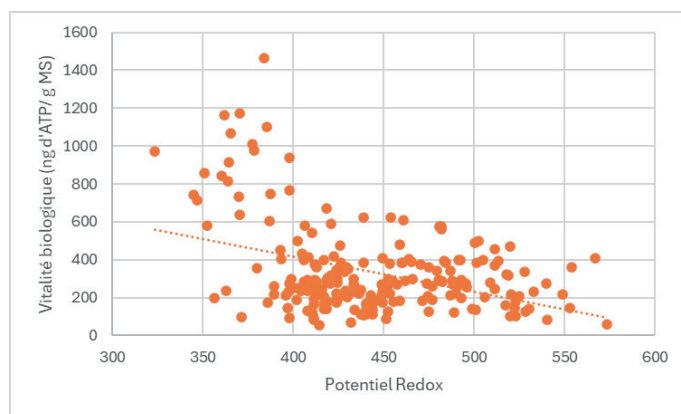
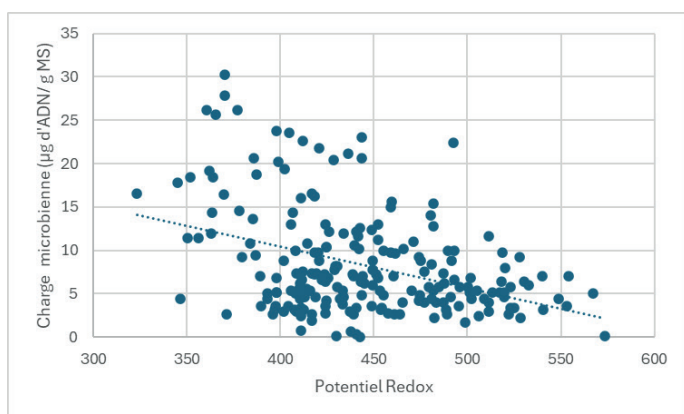


Figure 8 : Représentations en graphique type nuage de points de la charge microbienne et de la vitalité biologique selon le potentiel Redox.

Les indicateurs les plus élevés se trouvent dans la zone 350 – 400 mV, au-delà, la biomasse et la vitalité décroissent de façon plutôt régulière.

Conclusion et perspectives

Cette compilation de données illustre les deux voies analytiques retenues par le laboratoire, le dosage de l'ATP microbien pour estimer la vitalité biologique des sols et le dosage de l'ADN microbien pour quantifier la charge microbienne. Elle permet aussi d'affiner les critères d'interprétation de ces valeurs. Le ratio ATP/ADN apparaît aussi clairement comme un critère pertinent pour évaluer d'éventuels déséquilibres.

Ces approches doivent permettre de mieux comprendre comment évoluent les populations microbiennes. Les masses d'ADN et d'ATP présentes dans les sols peuvent évoluer rapidement, selon la saison qui reflète les conditions extérieures. De même la répartition est différente en fonction de la profondeur, avec des valeurs plus élevées sur le premier horizon de sol (0 – 30 cm). Les autres facteurs qui semblent influencer la vie dans le sol sont des caractéristiques intrinsèques du sol ou le résultat d'un itinéraire technique mené. La matière organique joue ici un rôle crucial puisque c'est le carburant des micro-organismes. Au laboratoire EXCELL, nous avons développé un test de caractérisation de cette matière organique, en analysant sa partie libre et sa partie liée, ce qui va pouvoir encore affiner notre référentiel.

Si les sols présentent évidemment de grandes disparités, il est aussi important de considérer la diversité potentielle de la communauté microbienne. A un même niveau d'ADN ou d'ATP, les micro-

organismes présents peuvent être radicalement différents. Il est donc aussi important de pouvoir disposer d'indicateur de cette diversité microbienne. Tout en conservant le leitmotiv de disposer d'indicateur fiable et reproductible et ne pas être tenté d'utiliser des techniques révolutionnaires encore fragiles techniquement et hasardeuses à interpréter, le laboratoire EXCELL a récemment développé la mesure du ratio champignons/bactéries par PCR. Ce ratio est considéré par les spécialistes comme un élément de caractérisation du stade écologique du sol étudié en lien notamment là aussi avec la matière organique. Un sol avec une matière organique élevée aura tendance à une dominance fongique et inversement un sol avec une matière organique faible devrait être dominé par les bactéries. Ce nouvel indicateur sera donc très intéressant pour compléter les données de vitalité biologique et de charge microbienne et apprécier les actions d'amendement, l'adaptation des couverts végétaux ou de période de repos des sols avant plantation.

Les près de 2 000 données accumulées ces dernières années ont confirmé la pertinence des indicateurs de vitalité biologique et de charge microbienne. Associés aux développements récents du laboratoire : la caractérisation de la matière organique et le ratio champignons / bactéries, ces éléments permettent clairement de progresser dans le fonctionnement et le pilotage des fonctionnements biologiques des sols.

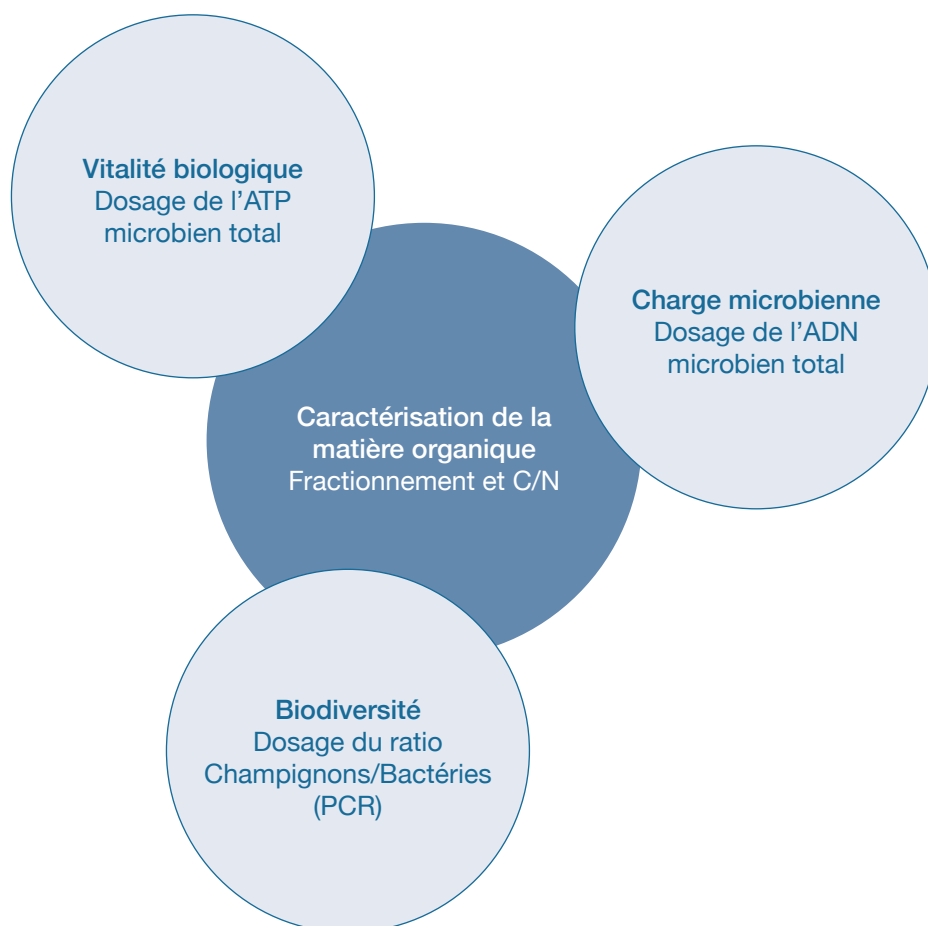


Figure 9 : Associées à la vitalité biologique des sols et à la charge microbienne, l'analyse de la diversité de la communauté microbienne (ratio champignons/bactéries) et la caractérisation de la matière organique fournissent des indicateurs clés dans la compréhension du fonctionnement biologique des sols et des interactions plante/sol.

Bibliographie

Jean Michel Gobat, Michel Aragno, Willy Matthey, 2003, Le sol vivant, deuxième édition revue et augmentée, Ed. Presses polytechniques et universitaires Romandes

Alain Carbonneau, Laurent Torregrosa, 2020, Traité de la vigne 3e édition, Ed Dunod

Karimi, B., Masson, V., Guiland C., Leroy E., Pelligrinelli S., Giboulot E., Maron P.A., Ranjard, L., 2021. La biodiversité des sols est-elle impactée par l'apport de cuivre ou son accumulation dans les sols vignes ? Synthèse des connaissances scientifiques. Etude et gestion des sols, vol. 28

Karimi B., Chemidlin Prévost-Bouré N., Dequiedt S., Terrat S., Ranjard L., 2018. - Atlas français des bactéries du sol. Biotope, Mèze, Muséum d'Histoire naturelle, Paris, 192p.