

Fertilité des sols

(Diverses sources indiquées sur les diapositives)

Les sols naturels possèdent des propriétés physiques, chimiques et biologiques qui dépendent des facteurs de pédogenèse. Ces propriétés, telles que la profondeur, le taux de matière organique, le régime hydrique ou la biomasse lombricienne confèrent aux sols des fonctions potentielles qui, à leur tour, déterminent leur usage par l'homme. Par exemple, un sol engorgé d'eau favorise le développement d'un marais, qui peut être dévolu à la protection de la nature (fonction de milieu de vie, ex. réserve naturelle). Ce sol marécageux participe également au stockage du carbone, une des composantes de la régulation climatique. Un sol profond et perméable est plutôt propice à la croissance du maïs (fonction de production, usage agricole) alors qu'un sol de pente, riche en matière organique et en pierres, permet le développement d'une hêtraie (usage forestier) exploitée pour le bois de construction (fonction de production) et assure aussi une protection contre l'érosion et favorise la stabilisation des versants. Les fonctions ne sont pas toujours exclusives, les trois exemples cités ici favorisent dans le même temps l'infiltration et la rétention des eaux de pluie (fonction de régulation).

Pour appréhender la capacité des sols à assurer les fonctions associées, plusieurs définitions sont à préciser, dont celle de la qualité du sol :

- **Qualité du sol :**

Concept clairement centré **sur les fonctions et les services** – la qualité du sol est définie comme «la capacité à fonctionner afin d'**assurer**, selon les différents usages du sol (agricole, forestier, urbain...) **les différentes fonctions et services** tels que l'amélioration de la qualité de l'eau, le maintien de la productivité, assurer la qualité des aliments, augmenter la biodiversité... » (Karslen et al. 1997).

Pour évaluer une fonction, comme celle de production, il faut tenir compte du sol qui est une composante de cette fonction de production. Elle dépend également d'autres facteurs : climatiques par exemple ou pratiques culturales et est définie comme ceci : « le sol est le support d'une végétation naturelle ou cultivée à des fins alimentaires, fourragères ou horticoles. Les sols forestiers participent à la production de bois énergie, ou de construction. Cette définition est proche du service d'approvisionnement. Un sens plus global : production de biomasse, source de matière organique pour l'ensemble des êtres vivants de l'écosystème....

- **Fonction de production :**

« Le sol est le support d'une végétation naturelle ou cultivée à des fins alimentaires, fourragères ou horticoles. Les sols forestiers participent à la production de bois énergie, ou de construction. Plus d'un tiers des sols de Suisse contribuent à la production alimentaire et fourragère » (OFEV). Cette définition est proche de celle service d'approvisionnement. D'une manière plus globale il s'agit de : production de biomasse, source de matière organique pour l'ensemble des êtres vivants de l'écosystème....

La fertilité des sols a une origine est grecque, devenue latine, qui signifie « qui porte l'abondance » et est « proche de la fécondité ». La fertilité est associée à la notion de **production** (des récoltes) et est donc une notion importante dans les domaines de l'agriculture et de l'agronomie, désignant l'aptitude d'un sol à produire dans les conditions actuelles de culture. Même s'il n'existe pas de

définition consensuelle de la fertilité des sols, elle est une des composantes de la qualité des sols. Selon Morel (1989), la « **fertilité d'un sol** » répond de la facilité avec laquelle la racine peut, en quantités suffisantes, bénéficier du sol des différents facteurs de croissance végétale : chaleur, eau, ensemble des éléments chimiques **nécessaires à la plante**, substances organiques de croissance ». La fertilité « actuelle »/« acquise » représente la capacité d'un sol à produire dans les conditions initiales/après intervention humaine.

- **Fertilité du sol :**

Capacité du sol de fonctionner comme un **système vivant**, et selon les écosystèmes et les usages, de fournir une **production végétale et animale**, de maintenir ou d'améliorer la **qualité** de l'eau et de l'air et de promouvoir la **santé des plantes et des animaux** (FAO ,2008).

L'OSol, l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols, donne une définition légale de la fertilité des sols. On prend donc en compte les conditions de la station, les notions de sécurité, mais ne prend pas réellement en compte celles de fonctionnalité.

La fertilité du sol peut se mesurer par exemple par le rendement obtenu. Elle désigne donc l'aptitude d'un sol à produire dans les conditions actuelles et elle est donc une des composantes de la qualité des sols. Le principe d'évaluation est basé sur la quantification du **potentiel** du sol à fournir les nutriments nécessaires à la croissance optimale de la plante, et donc d'identifier les autres facteurs qui pourraient réduire la productivité du sol (acidité, salinité, éléments phytotoxiques), et de déterminer si l'utilisation du sol peut avoir des impacts négatifs sur la qualité de l'environnement.

La fertilité d'un sol est généralement décrite grâce à ses trois composantes : chimique, physique et biologique.

1) La fertilité physique :

Pour définir la fertilité physique du sol, des caractéristiques physiques peuvent être identifiées par exemple à l'aide du test à la bêche. Les sols en bon état physique offrent aux racines des plantes et à toute la pédofaune un espace de vie et de travail et suffisamment d'air à respirer. La tâche de l'agriculteur est de stabiliser la structure au sol avec les racines des plantes, à le rendre portant et à éviter les tassements en n'utilisant les différentes machines qu'en prenant de grandes précautions.

Les agrégats se mesurent en termes d'abondance, mais également de stabilité au laboratoire, notamment par la mesure de densité, mais également par la tomographie 3D et le test de Hénin (dia 17) et sur le terrain par l'évaluation de la structure du sol par la méthode VESS – Evaluation visuelle de la structure du sol (dias 18-19). Pour la teneur en eau, des observations sur le terrain peuvent être effectuées, mais bien-sûr aussi au laboratoire (dia 20). Ces éléments-là sont repris par le Prof. Barry dans sa partie du cours.

Les principales atteintes à la fertilité physique sont la compaction (causes mécaniques), les croûtes de battance (causes mécaniques), et la dispersion d'éléments fins, des ciments (causes chimiques). Pour la définition de la **compaction** les paramètres importants sont ceux liés aux machines, à savoir la charge des machines (poids et pression au sol) et les paramètres sols, dont l'état d'humidité du sol – plus le sol est humide plus il est déformé par le poids de l'engin qui circule et donc plus il va se compacter. Un paramètre qu'il faut également prendre en compte est la texture du sol, en effet, une texture limoneuse va rendre les sols plus sensibles à la compaction. Les conséquences sont multiples, notamment l'augmentation de la densité apparente qui va pénaliser l'enracinement,

diminuer la travaillabilité du sol, diminuer l'infiltrabilité, ce qui favorise le ruissellement et l'érosion hydrique. Il y a aussi une diminution de l'aération provoquant une diminution de l'oxygène (dia 22).

En amont d'un projet de construction qui pourrait porter atteintes aux sols en général, et aux sols agricoles en particulier, un concept de gestion des sols doit être établi où différentes données doivent figurer, telles que :

- Données de bases du projet (localisation, surfaces impactées, plans et types d'emprise, éléments historiques sur l'utilisation du sol, affectation actuelle, utilisation future, etc.),
- Description de l'état initial du sol (cartographie des sols, régime hydrique, sensibilité à la compaction, soupçon de pollution, atteintes biologiques potentielles). Pour la définition de la sensibilité des sols à la compaction (dia 28), veuillez-vous référer à la norme SN 640 581 Terrassement, sol-protection des sols et construction (VSS Zurich, 2017).
- Description des impacts du projet sur le sol,
- Mesures prévues pour la protection, cartes de décapage, localisation des emprises, objectif de la remise en culture, filières de valorisation des matériaux terreux, etc.

Les principes généraux de protection sont les suivants :

- Décapage et entreposage séparés de la couche supérieure du sol et de la couche sous-jacente du sol.
 - Valorisation des matériaux terreux excavés.
 - Travaux de terrassements lorsque le sol est sec.
 - Mise en place de pistes de chantier.
 - Choix des machines appropriées selon la qualité/sensibilité des sols (faire un état initial des sols présents).
- Nécessité d'élaborer un concept de gestion des sols et de réaliser un suivi pédologique de chantier !

2) La fertilité chimique :

La fertilité chimique du sol concerne la **nutrition élémentaire minérale des plantes**. Elle désigne sa capacité à stocker et à libérer les éléments nutritifs dont les plantes ont besoin, notamment l'azote, le phosphore, le potassium et le magnésium, ainsi que les oligo-éléments. Elle se définit également par l'aptitude d'un sol à créer et à maintenir un statut chimique caractérisé par son pH, son potentiel redox favorable à la croissance des plantes.

Les éléments sont classés en **macro-éléments**, et en **micro-éléments** ou oligo-éléments. Les macro-éléments sont le carbone, oxygène, azote, phosphore, soufre, potassium, calcium, magnésium, ils forment les tissus et représentent 99% de la matière sèche. S'y ajoutent en quantité plus faible et très variable selon les espèces : le sodium, le chlore et le silicium. Pour les oligo-éléments, ils sont présents en quantités très faibles, c'est la raison pour laquelle les concentrations sont indiquées en ppm = partie par millions (plutôt que % = partie par centaine). Pourtant, ils sont indispensables à la vie des plantes et des microorganismes car ils sont impliqués dans les réactions physiologiques de la plante : respiration cellulaire, photosynthèse. Le fer par exemple n'est pas un constituant de la chlorophylle mais il intervient durant la photosynthèse. Certains sont prélevés sous la forme cationique comme le magnésium Mg^{2+} , mais aussi le manganèse, cuivre, zinc, bore, molybdène, cobalt, nickel, qui sont actifs en très petites quantités dans l'activation de nombreux complexes

enzymatiques. Ils en existent d'autres, qui sont sous forme anionique. Ils sont indispensables à la respiration, à la photosynthèse, à la fixation de l'azote atmosphérique, etc...

La nutrition (des plantes) dépend des stocks mais surtout de la cinétique des apports et processus à l'origine des **formes bio-disponibles**. L'observation des transformations chimiques dans le sol ne permet d'accéder qu'à une information globale. Les concentrations totales des substances en solution sont le résultat, non seulement des réactions chimiques et biochimiques, mais aussi d'autres phénomènes qui soit, mobilisent ou immobilisent les espèces réagissantes, soit les transportent dans l'espace poral. Il existe différents compartiments de réserves d'éléments nutritifs (dia 35) : un compartiment, qualifié de protégé, où les molécules ne sont pas accessibles aux systèmes enzymatiques et ne peuvent être éventuellement dégradées que par des réactions abiotiques. Il pourrait correspondre aux pores contenant la phase liquide immobile et aux constituants organiques et inorganiques possédant une microporosité (minéraux argileux gonflants, agrégats de substances humiques) ; et un compartiment, qualifié de non protégé, où les molécules sont facilement dégradées, soit par les micro-organismes, soit sur les surfaces de contact avec la phase liquide mobile. Ce compartiment est connecté à la phase liquide mobile avec des échanges rapides liés aux processus d'adsorption et désorption des surfaces adjacentes. Dans la solution du sol, les éléments nutritifs sont ainsi disponibles pour les plantes et les micro-organismes. Les réactions chimiques sont donc associées aux phénomènes de rétention et de transport.

La biodisponibilité, qui représente l'aptitude d'une substance à être absorbée à un instant donné, dépend donc des cinétiques globales. Les phénomènes physico-chimiques, chimiques et biologiques se déroulent dans un milieu poreux et leur expression dépend des propriétés de la phase solide et des phénomènes de transport dans l'espace poral.

Les oligo-éléments, nécessaires à la vie, peuvent être dans certaines situations toxiques à partir d'une certaine quantité (dia 36). Cela peut être dû à des contaminations : par exemple en cuivre (dans les vignes), en zinc (sur d'anciens sites miniers), par des boues d'épuration (Cu, Zn, ...) ou à une origine géogène (présent dans la roche-mère ou dans le sol). Cette limite est atteinte à partir d'une certaine concentration de l'élément dans le sol. En effet, le but visé est la production maximale et pour ceci il existe une concentration minimale en élément pour que la plante puisse croître (borne minimum) ainsi qu'une concentration maximale (borne maximale) au-delà de laquelle l'assimilation n'est plus possible ou alors qu'il y a toxicité pour la plante. La croissance suit donc une courbe en cloche. Au niveau des manques (gauche de la courbe), il y a une déficience qui peut être sévère, modérée ou limite. Puis il y a une gamme de concentration pour un élément où la croissance est optimale, mais au-delà d'un seuil critique maximal, l'élément devient toxique et la plante diminue sa croissance, ce qui démontre des limites à la fertilité.

L'acidité des sols a une très grande influence sur la biodisponibilité des éléments nutritifs, notamment pour les plantes (dia 37). Proche de la neutralité, dans une fourchette de pH comprise entre 6 et 7, l'absorption racinaire des éléments présents dans la solution du sol est optimale, notamment pour les nitrates, le potassium, les phosphates, le magnésium ou le soufre. A pH acide, les nitrates, le magnésium et le molybdène voient leur solubilité diminuer graduellement jusqu'à générer des carences. A pH acide également, les phosphates sont précipités avec l'aluminium, alors qu'ils le sont avec le calcium à des pH basiques (dia 38).

Il existe deux types de mesures du pH au laboratoire (dias 39-40), avec le pH qui comprend des mesures précises de l'acidité, à savoir l'acidité actuelle et l'acidité potentielle, qui correspond à la mesure de tous les H^+ y compris ceux qui sont fixés sur le complexe adsorbant. Le rôle du pH sur la fertilité chimique est importante, il existe par exemple des toxicités dites métalliques, avec une mobilité des métaux qui varient de très faible mobilité (les métaux sont sous forme de précipités) à grande mobilité (adsorbés par les constituants réactifs du sol). Plus la mobilité est grande, plus la toxicité est élevée. Ces mobilités sont liées au pH. Par exemple pour l'aluminium, plus un sol est acide plus l'aluminium se trouve sous des formes solubles et donc assimilables par la plante. Si l'aluminium est nécessaire à la plante en faible concentration, c'est un oligo-élément, donc il devient rapidement toxique. Cela concerne généralement des valeurs de pH inférieures à 5 (dia 41). La prise en compte de la teneur en aluminium échangeable permet de discriminer les situations avec des risques de pertes de production, mais avec des difficultés pour calculer un seuil précis. Mais pour certains éléments, comme le molybdène, l'arsenic, ou le sélénium, ils présentent un comportement opposé : leur mobilité augmente avec le pH et est donc plus élevée en sols calcaires. Actuellement, il semble que le contrôle du pH soit l'une des rares voies de contrôle de la mobilité des ETM.

Nous pouvons également observer d'autres impacts sur la fertilité des sols d'une manière plus générale, en effet, à des pH acides, la stabilité de la structure du sol peut être réduite, notamment par la destruction du complexe argilo-humique en lien avec la présence des agents flocculants comme le calcium. L'état dispersé des argiles est à son maximum à des pH entre 5.5 et 6.5 provoquant un lessivage de ces argiles, à savoir une migration descendante avec l'eau des particules d'argiles dispersées. Ce processus pédologique amène à la formation des types de sols LUVISOLS.

L'azote joue un rôle déterminant à la fois sur le rendement et sur la qualité des productions. Les plantes s'alimentent dans le sol en azote minéral et le transforment en protéines, composants essentiels de la vie pour l'homme et les animaux. L'azote est donc présent sous plusieurs états : sous forme organique, sous forme minérale – ammoniacale, nitrite, nitrate, sous forme de N_2 , où il constitue 78% de l'air que nous respirons et à l'état libre (dia 42). Mais dans le sol, l'azote se trouve principalement sous forme organique, alors que c'est la forme minérale qui est nécessaire (dia 42). Exception faite des plantes de la famille des légumineuses (pois, haricot, soja...) qui sont capables de fixer l'azote de l'air N_2 par leur symbiose avec les bactéries du genre *Rhizobium*, les plantes s'alimentent à partir de l'azote minéral du sol : azote ammoniacal NH_4^+ et surtout l'azote nitrique ou les nitrate NO_3^- . La forme ammoniacale chargée positivement a l'avantage d'être retenue dans le sol, sur le complexe adsorbant. Par contre, les cations NH_4^+ vont déplacer les autres cations, entraînant sa décalcification (perte des ions Ca^{2+}), puis son acidification. L'azote doit donc être transformé en nitrate NO_3^- . Ceci est possible grâce à certaines bactéries par le processus de nitrification. Ce processus dépend de la température et peut prendre une à plusieurs semaines. Le nitrate (NO_3^-) ainsi formé est facilement absorbé par les plantes et directement disponible. Il est mobile dans le sol et atteint rapidement la racine des plantes. Chargé négativement, l'ion nitrate est souvent accompagné d'autres nutriments tels que le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) ou le potassium (K^+).

L'ammonium n'est absorbé directement par la culture qu'en faible quantité (sauf le riz qui peut absorber la totalité de ses besoins sous forme ammoniacale ; dia 43). Le cation ammonium se fixe donc sur les minéraux du sol et est donc moins mobile que l'ion nitrate (NO_3^-). Les racines doivent être proches de l'ammonium pour pouvoir l'absorber. La majeure partie de l'ammonium est

transformée en nitrate par les bactéries du sol. Une autre partie de l'ammonium est immobilisée par la microflore du sol sous forme de biomasse microbienne et de matière organique et sera reminéralisée à plus ou moins longue échéance.

Une nutrition limitée en azote réduit la synthèse protéique et par conséquent la teneur en chlorophylle, qui est une protéine. Cette relation est utilisée dans le diagnostic de nutrition azotée basé sur la couleur plus ou moins vert clair des feuilles et de façon plus précise sur la teneur en chlorophylle. Deux exemples d'une carence azotée, pour le maïs et pour une céréale (dia 44). Les symptômes visibles sont des plantes de plus petite taille, des feuilles vert jaunâtre à jaunes devenant plus ou moins orangées, avec des conséquences importantes au niveau productivité, à savoir une diminution des rendements des cultures et de la qualité des produits, une faible densité des peuplements, des organes des plantes plus petits, une fructification précoce, ou une teneur réduite en protéines.

A noter que la nitrification est également source d'acidification, et une importante perte par lixiviation peut être générée (éléments non retenus sur le complexe adsorbant). Ces caractéristiques compliquent donc la vie des agriculteurs et des agronomes ! Au contraire, s'il y a un excès d'azote, des conséquences importantes peuvent également être observées comme des retards de croissance (dia 45) ; de plus, les nitrates non adsorbables par les particules de sols se retrouvent entraînés par l'eau (leaching) pouvant provoquer ensuite une eutrophisation des différents milieux aquatiques.

Mais comment mettre en évidence ces éventuelles **carences en éléments** ? Différents indicateurs sont utilisés dont l'observation de l'état de l'organisme est un bon moyen (dia 46). Alors que la concentration totale dans le sol des éléments est relativement peu informative, par contre, des mesures des formes disponibles pour la plante par une approche d'extractions chimiques permettent de renseigner sur cette fertilité chimique, notamment en comparant avec des valeurs biodisponibles selon les normes nationales ou internationales. Dans la pratique, le choix de la méthode d'analyse à utiliser n'est pas aisée car chaque méthode possède ses avantages et ses inconvénients.

Quelques exemples de carences (dia 47) : une insuffisance en bore sur les amandes, une carence en calcium sur les tomates (le calcium est un constituant des parois cellulaires des végétaux auxquelles il assure résistance et rigidité), ou une carence en potassium sur le pommier (le potassium est le régulateur principal de la pression osmotique et donc du transit de l'eau dans la plante). Des mesures de la chlorophylle, qui est le pigment vert qui permet aux plantes de photosynthétiser, permet d'avoir une idée d'éventuelles carences (dia 48). Une carence en magnésium (composant de la chlorophylle) ou en fer peut provoquer une chlorose. La décoloration, dans le cas de la carence en fer, va du vert pâle au blanc-jaunâtre, en fonction de la gravité. Elle apparaît en cours de végétation (cycle végétatif), sur les feuilles les plus jeunes, au fur et à mesure de leur pousse.

Un autre exemple de l'importance du pH est celui de l'hortensia (dia 49). À pH 6 à 7 maximum, cette plante possède un pigment rose. Lorsque le pH du sol devient acide, ce pigment combiné à l'aluminium devient bleu. Pour une même variété, la couleur des hortensias varie donc selon les conditions de plantation.

Un autre diagnostic important de la fertilité chimique, fait au laboratoire, passe par la mesure de la CEC et de la somme des cations basiques, ce qui permettra ensuite de calculer le taux de saturation

(dia 50). La mesure de la CEC permet d'estimer le potentiel de fixation des cations "échangeables" (principalement K^+ , Mg^{++} , Ca^{++}) sur le complexe argilo-humique du sol. Cela permet aussi d'apprécier les possibilités d'échange de ces cations entre le sol et la plante via la solution du sol. Et la CEC dépend de la quantité d'argile et d'humus présente dans le sol mais aussi de leur "qualité" respective. Le rapport entre la somme des cations basiques échangeables et la CEC correspond au taux de saturation (S/T). Ce dernier varie fortement en fonction des types de sol. Et, naturellement, il varie également en même temps que « S ». Il existe une relation entre taux de saturation et pH, une corrélation pour les valeurs extrêmes. Entre les deux, le lien est moins évident. Un horizon est dit saturé quand le S/T se situe entre 80-100%, mésosaturé entre 50-80%, oligosaturé entre 20-50% et désaturé/non saturé entre 0-20%. A noter que pour le taux de saturation, il n'y pas d'évaluation directe sur le terrain, mais une évaluation qui peut être indirecte par la végétation indicatrice (dia 51). Pour la présence de carbonates, la réaction au HCl, qui produit une effervescence à partir d'une présence de 5% de carbonates, se réalise sur le terrain. Au laboratoire, la mesure au calcimètre de Bernard est souvent utilisée. D'autres appareils comme le Shimazu peuvent également être utilisés (dia 52). Pour la teneur en matière organique, l'identification des horizons humifères, la couleur de ces horizons ainsi que la description de la matière organique est utilisée sur le terrain (dia 53). Au laboratoire, différentes méthodes existent, notamment celle la mesure du carbone total par combustion, et celle du carbone inorganique par dissolution des carbonates, qui permet ensuite de calculer le carbone organique par soustraction. La détermination du taux de matière organique d'un sol est réalisée indirectement, à partir du dosage de la teneur en carbone organique, il est calculé en multipliant la teneur en carbone par un coefficient stable dans les sols cultivés, fixé à 1,72 ($MO = Corg \times 1,72$). Finalement, la détermination du degré de dégradabilité de la matière organique peut être définie sur le terrain, avec la détermination des horizons organiques OL, OF, OH et la définition des formes d'humus (dia 54). On peut également faire des mesures de laboratoire afin de définir la biodégradabilité de cette matière organique par le rapport C/N.

En lien avec le contexte pédoclimatique, la fertilité chimique des sols est sujette à différents types de dégradation comme l'acidification, l'appauvrissement des teneurs en matières organiques ou en nutriments, notamment le phosphore, ou encore la présence de pollution (dia 55). La fertilité chimique des sols est protégée grâce à la législation. En effet, la LPE précise qu'il ne faut pas porter atteinte chimiquement aux sols. De plus, il est indispensable de valoriser et d'éliminer d'une manière adéquate les matériaux terreux quand il y a des projets de construction (dia 56). En termes de pollution, il existe une stratégie qui permet à la Confédération et aux cantons d'évaluer les atteintes aux sols et à leur fertilité, et de décider des mesures le cas échéant (dias 57-59). Le but de la loi est de conserver à long terme la fertilité des sols. Les cantons doivent veiller à ce que les valeurs indicatives, où au-delà desquelles la fertilité n'est plus garantie mais sans risque d'utilisation, et les seuils d'investigation, où il peut y avoir des risques possibles d'utilisation selon les types d'utilisation qui y sont indiqués, soient respectés. En cas de dépassement des valeurs d'assainissement (toujours par types d'utilisation), les cantons peuvent demander de prendre des mesures. Les valeurs limites sont indiquées dans l'annexe de l'OSol, par élément. Les matériaux terreux sont considérés comme peu pollués au-delà de la valeur indicative, et comme très pollués au-delà du seuil d'investigation. Il existe différentes utilisations possibles des types de matériaux terreux selon les différents degrés de pollution.

3) La fertilité biologique :

Les facteurs limitant de la fertilité biologique sont les mêmes que pour la croissance des plantes (dia 61). Dans un sol biologiquement actif, les animaux, les végétaux et les racines sont soumis, mais en même temps influencent, les conditions physiques et chimiques du sol où ils évoluent. Cet ensemble vivant est appelé le **réseau édaphique** car il concerne essentiellement les facteurs inhérents au sol.

Les indicateurs pour la mesure de la fertilité biologique peuvent être variés (dia 62). Nous pouvons en premier évoquer l'abondance, la diversité des organismes vivants, des indices de qualité biologique ou des activités des organismes vivants qui participent au fonctionnement du sol (respiration, minéralisation par exemple).

L'**abondance** est un bon critère, mais ces chiffres doivent correspondre à ceux d'un sol en lien avec les conditions situationnelles, climatiques, de végétation, etc. Un exemple sur les sols de Dorigny (dia 63). Nous pouvons observer le nombre d'individus appartenant à différentes familles d'organismes (graphique du haut). On voit que le nombre total de groupes change (avec un maximum pour le FLUVIOSOL TYPIQUE et un minimum dans l'ANTHROPOSOL), et que la proportion relative des groupes change également, en effet les exigences écologiques des différents groupes sont différentes. Une richesse relative de 1 pour un taxon et un site donné signifie que le site en question enregistre la richesse des familles la plus élevée relativement aux autres (tableau du bas). En outre, un indice proche de 1 nous indique une forte diversité pour un site donné. Nous pouvons constater que la diversité des familles est la plus élevée dans le FLUVIOSOL. Les diversités familiales des groupes des Insectes, Diplopodes et Chilopodes y sont notamment maximales. Le BRUNISOL DYSTRIQUE mésosaturé ressort le plus pauvre en famille d'espèce.

Un autre indicateur est la **biomasse microbienne** (dia 66). Une des méthodes consiste à mesurer le carbone microbien du sol (principalement celui des bactéries) par la méthode de fumigation-extraction dérivée de la norme. Le résultat, exprimé en % du C total du sol, peut varier entre 0.5 et 4%, qui va du faible au plus élevé selon ce résultat. En effet, la taille de la biomasse microbienne est fonction des entrées de carbone dont elle tire son énergie. A noter que ce carbone ne peut être apporté que sous forme organique.

L'**activité des micro-organismes** est aussi révélée par l'intensité de leur respiration, qui est quantifiable par la mesure du dégagement de CO₂ par le sol (dias 67-68). Des mesures régulières du CO₂ dégagé par le sol permettent de calculer la minéralisation annuelle du carbone, exprimée en % de carbone total. Le résultat peut varier entre 0.5 et 2.5%, de faible à élevé.

La minéralisation de l'azote organique du sol est aussi un moyen d'estimer l'activité microbiologique du sol (dias 69-70). C'est également le moyen le plus fiable de calculer la fourniture potentielle annuelle d'azote minéral du sol afin d'ajuster la fertilisation azotée. Elle varie de 0.5 à 2.5 % de faible à élevée.

Finalement, le test Bait-Lamina permet d'estimer l'activité alimentaire du sol (dia 71). Le principe est de placer des appâts à base de cellulose, blé, charbon actif dans les trous afin d'attirer les organismes du sol (mésos-faune essentiellement), ces appâts sont placés verticalement ou horizontalement dans le sol. La disparition correspond à l'activité alimentaire du sol. C'est une méthode très simple et à faible coût. L'expression des résultats est exprimée en unités, à savoir un

% d'appâts mangés par unité de temps. Un exemple d'application de cette méthode a été effectué lors d'un projet SIE où l'activité alimentaire (en %) mesurée par la méthode Bait-Lamina a été évaluée dans deux parcelles cultivées (Changins, VD), la première était labourée, alors que la seconde était en semis direct (dia 72).

La fertilité biologique des sols est complexe et repose sur le fonctionnement d'une chaîne alimentaire, transformant la matière organique en composés minéraux assimilables par les cultures et participant à la stabilité du sol. Elle est donc intimement associée aux deux autres composants de la fertilité (fertilité physique et chimique). Les atteintes sont donc multiples (dia 73), mais elles sont principalement liées à la destruction des communautés de micro-organismes, ainsi qu'à une insuffisance en nourriture. Concernant les mesures légales de protection de la fertilité biologique (dia 74), il y a des mesures indirectes, notamment en lien avec les surfaces de la promotion de la biodiversité en milieu agricole, dont dépendent les prestations directes notamment, ainsi que des mesures adaptées à l'usage des parcelles (prairies et pâturages ; terres assolées ; cultures pérennes et ligneux,...). Favoriser la fertilité biologique du sol contribue également d'une à la protection des végétaux. Quand un sol possède une diversité importante d'organismes vivants, ceux-ci peuvent aider à la régulation biologique de l'écosystème agricole et donc à sa résistance et résilience.

En résumé (source : <https://www.terresinovia.fr/-/la-fertilite-des-sols-de-quoi-s-agit-il>; dia 76) :

Il n'y a pas de définition consensuelle du terme fertilité des sols. Nous la définissons comme la capacité d'un sol, sous un climat donné, à répondre aux besoins physiques, chimiques et biologiques nécessaires à la croissance des plantes, assurant leur productivité et leur qualité. La fertilité d'un sol agricole est liée à certaines **caractéristiques propres non modifiables** (sa profondeur, sa texture, sa pierrosité, etc.) qui déterminent **son potentiel de production**.

Elle est également liée au bon **fonctionnement** des processus naturels intervenant dans le sol comme la minéralisation des matières organiques par les microorganismes du sol, ou encore l'activité de bioturbation par les vers de terre qui répartit les matières organiques dans le sol, améliore l'état structural du sol et l'aération du milieu. Certains paramètres des sols sont modifiables, à plus ou moins longs termes, par le biais de pratiques agricoles, comme l'acidité du sol (cas des sols non calcaires), sa teneur en nutriments (N, P, K, etc.), sa porosité ou encore sa teneur en carbone et matières organiques. L'état structural des sols impacte très significativement la réussite de l'implantation des cultures mais aussi la capacité d'infiltration de l'eau, le réservoir en eau du sol utilisable par les cultures ou encore les abondances et activités biologiques.

En lien avec le contexte pédoclimatique, la fertilité des sols est sujette à différents types de dégradation comme le tassement, l'érosion, l'acidification, ou encore l'appauvrissement des teneurs en matières organiques ou en nutriments notamment le phosphore. Dans les zones de sols non calcaires, le risque d'acidification des sols est réel. L'entretien régulier du pH par le chaulage des sols est important pour ne pas atteindre des niveaux d'acidité néfastes aux productions agricoles (un pH>6 est recommandé en grandes cultures). De plus, l'évolution générale des teneurs en matières organiques dans les sols agricoles semble liée aux contextes de productions agricoles.

En conclusion, nous pouvons approfondir notre partenariat, notamment au niveau agricole, avec les différents organismes du sol, tels que les vers de terre, les champignons mycorhiziens, les

bactéries et bien d'autres êtres vivants du sol, et les techniques agricoles doivent aussi apprendre à les respecter. Il est possible de favoriser leurs conditions de vie en sélectionnant des pratiques agricoles comme les prairies de graminées et de légumineuses ou un travail du sol en douceur et la sélection de variétés adaptées. Et ne pas oublier que la fertilité biologique est liée à la fertilité physique et chimique.

Types de sols en Suisse et évaluation de la fertilité

Les diapositives 77 à 92 présentent une évaluation très générale des différents types de sols décrits au chapitre C (Diversité des sols). Il est important de noter que cette évaluation reste très globale et qu'il est toujours nécessaire d'évaluer un sol **au cas par cas**, par son diagnostic de terrain et de laboratoire. En effet, une **grande variabilité existe au sein d'un même type de sol** ! Selon les conditions pédoclimatiques, et les caractéristiques intrinsèque du sol, cette évaluation peut fortement varier d'un sol à un autre.