



Analyses des sols et orientation de la décision agronomique par la bio-indication

Compte rendu journée technique du 19 mars 2025 avec Miguel Neau, botaniste et agronome indépendant spécialisé dans les inventaires floristiques, les plantes bio-indicatrices et le fonctionnement des écosystèmes agricoles. En itinérance sur deux fermes et les pieds dans les parcelles, ateliers de diffusion de connaissances et de pratiques pour régénérer les sols via les apports de la bio-indication:

- Introduction aux liens plantes-sols ou phytopédologie; fonctionnement des sols, des écosystèmes naturels et agricoles; pratiques agroécologiques régénératives;
- Lecture de parcelles; diagnostic écologique simplifié par la bio-indication.

Table des matières

1. Présentation théorique.....	2
1.1. Histoire de l'agriculture du point de vue du sol.....	2
1.2. La dynamique du sol.....	4
1.3. Le biotope et le sol : les 4 grands piliers.....	5
1.4. Dynamique de colonisation naturelle du sol et « prairie agraire ».....	8
1.5. Point sur le PH.....	9
1.6. Cycle de l'azote.....	9
2. Analyses de terrain.....	10
2.1. Frontenac (argilo-calcaire).....	10
2.2. Montagoudin (sols type boubènes).....	11

Avec le soutien de



1. Présentation théorique

1.1. Histoire de l'agriculture du point de vue du sol

Le Croissant Fertile est un des foyer de naissance de l'agriculture vers -10 000 av. J.C. Il s'agissait à l'époque d'une zone de savane entre deux fleuves majeurs (Tigre et Euphrate) en cours de réchauffement climatique : les sols étaient formés d'alluvions (= sédiments minéraux) qui se sont déposés durant des millions d'années, en provenance du Caucase via l'érosion. La fertilité de cette zone en minéraux provenaient de ce stock d'alluvions. La zone était parcourue de grands ruminants : ces animaux circulent dans ce milieu en apportant des éléments solubles par leurs déjections (NPK). De nombreuses espèces de plantes annuelles à croissance rapide se sont développées dans ce milieu très fertile (par exemple l'engrain sauvage, *Triticum boeoticum*). Ces céréales sauvages sont celles qui ont été domestiquées par les sociétés de premiers agriculteurs. **L'écosystème prairial peut se définir comme le biotope optimum pour faire de l'agriculture.**

A un certain stade de développement, les premières sociétés agricoles ont pratiqué l'agriculture sur brûlis : si cette pratique permet un apport de minéraux via les cendres (potasse, calcium...), elle entraîne un fort lessivage et une exportation du CO₂ et d'azote. Selon les conditions édaphiques (climat, pluviométrie, type de sol) et la durée des rotations elle entraîne à plus ou moins long terme la désertification.

Question : quelle est la fonction du Biochar ? Il s'agit de charbon inerte issu de la combustion sans oxygène de végétaux non ligneux. Il a une action strictement mécanique (potentiel d'absorption de l'eau) : l'objectif est d'augmenter la surface d'échange dans un sol et de diminuer potentiellement les phénomènes de lessivage. C'est une technique employée dans les milieux tropicaux. En milieu tropical, il n'y a pas d'humus car la Mo se décompose de manière très accélérée (2 m de pluie dans l'année couplé à des températures chaudes). Ces sols sont ainsi fortement sensible à l'érosion (phénomène de latérisation que l'on observe sur les sols déforestés).

Sur un type de roche mère et une structure donnée, la dynamique du sol est déterminé par la Mo, les précipitations et les températures. Plus proche de nous en France, les sols bretons et normands grâce aux conditions climatiques (température douce et forte pluviométrie) sont aussi doté d'une capacité de digestion rapide de la Mo. En Limagne, les sol d'origine volcanique sont hyper riches en minéraux et en humus provenant d'une ancienne roselière. On retrouve ce type de sol en Ukraine, les tchernoziom, parmi les plus riches au monde.

De l'Antiquité jusqu'aux Temps Modernes, l'agriculture en Europe de l'Ouest a peu à peu perfectionné le travail du sol (araire, charrue...) et ses systèmes agraires.

Le travail du sol permet deux choses :

- la minéralisation de la Mo. En présence d'oxygène, les bactéries aérobies peuvent la dégrader et libèrent de l'azote et de la potasse. Exemple d'une prairie humide : pas d'oxygène, l'activité des bactéries est ralentie la Mo se dégrade très lentement. Dans certains biotopes extrême, la Mo se fossilise (tourbière)
- la libération de minéraux par la fragmentation mécanique.

Il augmente donc la fertilité minérale. Mais dans le même mouvement, il produit le lessivage des minéraux en profondeur. Apparaissent alors des plantes spontanées capables d'aller les chercher : plantes à racines pivots (cirse des champs, rumex...), plantes à rhizomes (chiendent, agrostis...) autant d'adventices qui gênent l'implantation des cultures et leur développement (à noter que certaines plantes cultivées peuvent être utilisé en bio pour maîtriser certaines adventices : par exemple, seigle et raygrass à contre saison du chiendent)

Avec le soutien de



Dans l'Antiquité et au Moyen Age, on pratiquait la rotation triennale, c'est dire que la parcelle était laissée en repos et recolonisée par les plantes spontanées après deux années de culture. Cela permettrait une restitution venant compenser les exportations (règle des « *je laisse 1/3, je prends 2/3* »). Le labour, même léger, désorganise le sol par les phénomènes de minéralisation : grosse libération de N et disparition de la Mo (sols de plus en plus sec, oxydation de plus en plus forte).

Cette dynamique agraire a entraîné une fuite en avant : pour lutter contre la fuite de minéraux par lessivage, les labours se sont fait de plus en plus profonds jusque dans la zone purement minérale.

A partir du XVIIe-XVIIIe, les cultures de légumineuses remplacent la jachère ce qui a pour bénéfice d'apporter de l'azote dans le système mais ne structure pas pour autant le sol (sauf si restitution complète).

Au XXe, les engrais chimiques (NPK) viennent parachever la minéralisation de la Mo restante dans les sols. Exemple de la Champagne crayeuse : à l'origine il s'agit d'une lande à mouton au PH très basique (8,5) réduisant très fortement l'activité biologique et empêchant tout vellités de grandes cultures. L'arrivée de l'ammonitrate a transformé ce paysage pastoral en openfield de grandes cultures (100 qtx/ha de blé dans les années 70-80) Aujourd'hui, il n'y a plus d'humus dans ces sols et la productivité est en nette baisse malgré l'augmentation des unités d'azote minéral (crise économique). D'autres territoires subissent ce phénomène: par exemple en Toscane, où la culture de blé conventionnel plafonne à 40 qtx/ha.

Les engrais minéraux ont aussi un coût de fabrication : le phosphore et la potasse proviennent de l'industrie minière dont les ressources sont limitées. L'azote est quant à lui synthétique. Il faut cependant 4 litre de pétrole pour fabriquer une unité d'azote jusqu'à 10 litres de gaz dans le cas de l'ammonitrate. Ce ratio pose question de la durabilité de certains système de culture présentés comme agroécologique (par exemple, le semis direct sous couvert qui emploie a minima 100 unité d'azote dans les systèmes les plus performants).

Les techniques qui se développent face à l'épuisement des sols avec plus ou moins de réussite:

- l'agriculture bio avec labour + restitution
- les techniques culturales simplifiées, l'agriculture de conservation des sols, le semis direct avec azote chimique et glyphosate
- les techniques émergentes : agriculture bio de conservation, prairie agraire, agriculture régénérative.

Technique de Manfred Wenz

Basé sur les engrais verts (EV) et le compost animal. Les engrais verts (EV) sont broyés en surface avec apport de ferments lactiques pour accélérer leur dégradation. Le travail du sol est très superficiel, simplement pour mélanger la matière avant semis. Pour les cultures de printemps, binage. Wenz est arrivé à incorporer plus de 10 tonnes de biomasse à l'ha : digestion très rapide et stabilisation des éléments.

Technique Nicolas Supiot qualifiée de prairie agraire

S'appuie sur la prairie et la flore spontanée et les vaches pour produire des céréales sur des terres difficiles (35ha, une trentaine de vaches). Travail sur 5 cm avec un outil à dents (Ecodyn) qui permet de ne pas enfouir la Mo (« scalpage » de la prairie en 2-3 passages). La plupart des semis (EV, culture) sont des mélanges céréales/légumineuses en semences paysannes. Après récolte des céréales (printemps et hiver dont différentes céréales à paille et sarrasin), prairie spontanée (aujourd'hui 35-40 espèces avec une dizaine d'espèces dominantes) utilisée comme pâture : les pailles et les bouses sont réintroduites. Nicolas Supiot arrive à faire succéder avec ce systèmes 8 céréales en 10 ans avec une moyenne de 20 qtx/ha.

Avec le soutien de



Exemple de l'itinéraire sur une parcelle difficile de la ferme (toxicité aluminique). La préconisation était d'apporter 1,5t de calcaire sur cette parcelle. Nicolas a préféré réveiller les plantes spontanées par un travail superficiel: chaque plante apparaît en effet dans un milieu très précis dans le but de régler des déséquilibres existants. Implantation d'un sarrasin tolérant à de fort taux d'aluminium. Récolte minable (1 pied de sarrasin tous les 10 m²)

Année 2 : prairie spontanée pendant un an (on passe de 2 à 10 espèces sauvages)

Année 3 : semis de sarrasin ; un peu plus dense (1 pied tous les m²)

Année 4 à 6 alternance prairie temporaire (pâturage ou fauche) - semis de sarrasin

La prairie évolue vers la diversité (25 espèces). Plus on a de diversité spécifique, plus on a de minéraux mobilisables. La matricaire, indicatrice de calcium, explose la 6^{ème} année dans un sol pourtant à la base acide et aluminique. Le taux de calcium s'est retrouvé jusque dans la galette de sarrasin issue de cette parcelle et a été notée par le galetier (galette plus fine que d'habitude). Diversité des plantes = diversité des minéraux dans les plantes et l'alimentation.

Année 7 (2021-2022, année de sécheresse): céréales à paille. Paille digérée en deux mois et prairie en place.

1.2. La dynamique du sol

Sur un type de roche mère et une structure donnée, la dynamique du sol est déterminé par la MO, les précipitations et les températures. Un sol, c'est une dynamique qui va rencontrer une structure. Pour atteindre son optimum, tout dépend des facteurs biotiques et abiotiques initiaux : un bouldier va mettre plus de temps à trouver une bonne dynamique qu'un sol alluvionnaire. La qualité des MO et le microclimat influera sur cette dynamique.

Synthèse dans « l'Histoire de l'Agriculture », Mazoyer et Roudart.

« Une fois occupé par un peuplement végétal et animal, un sol est doublement alimenté en minéraux fertilisants : il l'est d'une part par l'altération de la roche mère et par la fixation de l'azote de l'air, et il l'est aussi par la décomposition de la litière qui restitue au sol des minéraux précédemment absorbés par la végétation et fixés pour un temps dans la biomasse.(...) Mais si un sol est ainsi constamment alimenté en minéraux, il subit aussi des pertes minérales. A la saison humide,(...) une partie des sels est entraînée en profondeur par les pluies et drainée dans la nappe phréatique. D'autre part des bactéries dé-nitrifiantes décomposent les sels azotés et renvoient l'azote dans l'atmosphère. Enfin dans certaines circonstances, des sels solubles sont « rétrogradés » c'est à dire qu'ils se recristallisent pour former des composés insolubles qui ne participent plus au recyclage.

Au total au cours d'une période donnée, les flux d'entrée et de sortie des minéraux de la solution du sol s'équilibrent selon un bilan : d'un côté les apports minéraux de diverses origines (solubilisation de la roche mère, fixation de l'azote de l'air, décomposition de l'humus et de la fumure organique...) auxquels il faut ajouter le stock minéral préexistant, et de l'autre côté les pertes en minéraux durant la période considérée (drainage, dénitrification, rétrogradation, exportation de minéraux par les récoltes de produits végétaux et animaux, ramassage des déjections animales le cas échéant...) et le stock minéral résiduel.

Remarquons que les matières minérales qui sont absorbées et incorporées à la biomasse pendant une période végétative donnée sont par là même soustraites aux pertes par drainage, par dénitrification et par rétrogradation. Si ces matières minérales n'avaient pas été ainsi stockées dans la biomasse, la plupart d'entre elles auraient donc bel et bien été perdues (...) La solution du sol s'en trouve donc enrichie et les peuplements végétaux qui se développent par la suite bénéficient de cette fertilité accrue. La quantité de matière minérale recyclée s'accroît ainsi de saison en saison, du moins jusqu'à atteindre un maximum climacique. De manière analogue, la teneur d'un sol en humus peut varier au cours du temps. Cette variation positive ou négative résulte du bilan entre la quantité d'humus qu'il reçoit ou qui se forme par décomposition des MO

Avec le soutien de



mortes de diverses origines (litière et fumure organique) d'une part et la quantité d'humus qu'il perd par minéralisation d'autre part.

Si donc la fertilité humique et minérale d'un sol cultivé est bien conditionnée au départ par le climat, par la roche-mère et par le peuplement originel, cette fertilité n'est pas donnée une fois pour toutes : elle peut être maintenue à un niveau constant à condition que ce sol reçoive des quantités de Mo et minérales juste suffisantes pour compenser tout à la fois les pertes d'humus par minéralisation et les pertes minérales par drainage, par dénitrification et par les récoltes ; elle peut diminuer si ces apports sont insuffisants ou augmenter dans le cas contraire. En fait à partir du moment où un sol est cultivé, sa fertilité devient une variable historique, largement influencée par les systèmes agraires qui s'y succèdent ».

Avec le soutien de

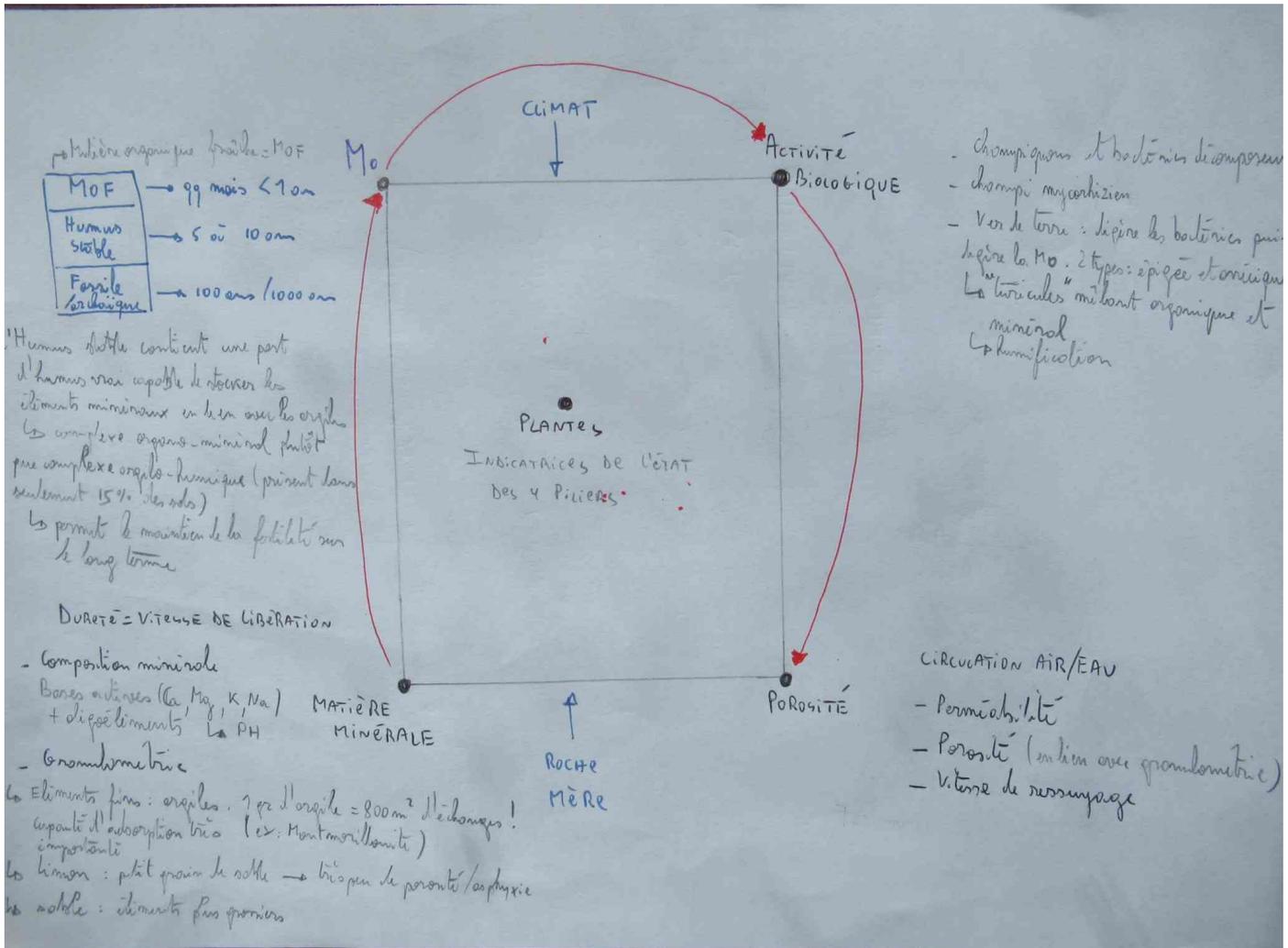


Cofinancé par l'Union européenne



RÉGION
Nouvelle-
Aquitaine

1.3. Le biotope et le sol : les 4 grands piliers



Matières minérales

Le potentiel de fertilité est fonction de la richesse minérale d'un sol qui vient de ses argiles. Par exemple dans le Chablais une zone très argileuse, on a des rendements de blé bio à 50 qtx/ha. C'est un terroir de vigne dans des pentes fortes. Le fort taux d'argile limite l'érosion. À l'inverse dans les Cévennes ardéchoises, historiquement les sols très sableux sont retenus par des terrasses pour tenter de limiter l'érosion. Ces sols sont carencés en minéraux dans un climat très sec. La Mo ne se dégrade que très lentement (à l'inverse de la Bretagne où l'humus se fabrique sur les falaises!). La culture d'arbres nourriciers (châtaigne) était une des seules options possibles pour les paysans. Certains sols ont des roches mères très dures ne favorisant pas la libération des minéraux. Par exemple, les Monts d'Arées en Bretagne sont sur un granit très dur. Les sols ont peu de minéraux, il n'y a pas de calcaire. Couplée avec le climat de type océanique, c'est une zone de landes acides. Les zones granitiques sont souvent acides car il n'y a pas de calcaire. À noter que certaines roches mères contenant du calcaire sont parfois trop dures pour permettre sa libération : nous nous trouvons là aussi dans des sols acides (marbre blanc région de Gênes où pousse des châtaigniers). On peut aussi avoir des argiles calcaires qui s'acidifient en surface avec l'effet de fortes précipitations. Le calcium (Ca⁺) est indispensable à la solubilisation de l'azote. Il renforce le complexe organo-minéral. Dans les argiles calcaires, les ions Ca⁺ enrobent les MO ce qui explique l'effet retard de ces

Avec le soutien de



sols au printemps lors de la minéralisation. Un excès de calcium inhibe l'accès au phosphore. Un sol acide a peu de calcium, souvent ces sols sont peu argileux.

Les couverts de crucifères sont conseillés sur les argilo-calcaire car ils libèrent du soufre, élément indispensable à l'activité microbienne.

Sur les sols acides, on peut faire un apport de carbonate de calcium, sulfate de calcium ou du basalte (qui contient 12 oligoéléments). L'apport peut se faire à l'automne et au printemps à raison de 250 kg/ha par apport.

MO

Il s'agit d'un stock de fertilité dans le temps. A noter que la dégradation de MO ne vient pas forcément abonder le stock d'humus utile. Par exemple, dans les prairies à chevaux qui produisent une MO non humifiante on a souvent des sols engorgés en MO non décomposée (=fossile).

Le cycle de la fertilité : minéraux=>plantes=>biomasse=>microorganismes qui dégradent la biomasse=>porosité. Faire la distinction entre digestion (processus fermentaires par les microorganismes) et dégradation de la MO (fragmentation). Ainsi on retrouve des fragments de MO non digéré dans le sol qui peuvent s'accumuler. Plus on va vers la forêt plus la MO s'accumule et est de moins en moins digérée : il n'y a pas d'humus vrai en forêt. Côté maquis qui est une forêt dégradée, on assiste à une explosion du Mimosa dans les Pyrénées Orientales et en Corse : nous sommes sur des bosquets directement sur la roche, sans MO active

Par exemple, certaines pratiques de maraîchage tendent à des apports massifs de broyat. 100 tonnes de MO/ha ce qui amènent de 5 à 8 tonnes d'azote à l'ha. Les plantes poussent avec ce apport d'azote. A terme, il y a engorgement de MO et les orties, bardanes, chardon, Rumex font leur apparition. Les Engrais verts sont beaucoup plus structurants pour la vie biologique (apport de sucres) qu'une jachère de spontanées souvent moins fermentescible. L'alliance des deux permet de rééquilibrer les sols dans une optique agricole. Pour cela il faut privilégier les façons culturales en surface (entre 5 et 10 cm) et limiter le nombre de passages pour éviter tassement et destructuration. Dans les fermes en semences paysannes, on peut envisager les EV comme des méteils à base de céréales à paille/légumineuse semé directement après ou dans des prairies spontanées : si la culture n'est pas trop enherbée, on fait de la farine et du pain. Si trop enherbé, on récolte en vert pour les vaches. Sur sols acides, le trèfle et le lotier sont des légumineuses qui conviennent.

En certaines occasion, il faut mieux laisser faire. Par exemple, un champ de maïs a été rapidement colonisé par des adventices dont du mouron blanc. L'agriculteur a fait le choix de biner une partie. Dans la partie biné, il y a eu explosion de chénopodes et d'amaranthe, véritable pompe à azote (plus ont travaille sec, plus on favorise le chénopode ; plus il fait chaud, plus la MO s'oxyde. La flore spontanée permet aussi l'évaporation et donc un ambiance plus tempérée). Dans la partie non binée, le mouron a terminé son cycle rapidement et a fait un mulchage naturel. Il faut trouver un équilibre entre travail du sol et laisser faire l'activité biologique. Dans les sols à gros potentiels, il vaut mieux ne pas trop travailler.

La strate vivace herbacées dont l'archétype est la prairie naturelle graminées/légumineuses à vaches est le milieu où se produit l'humus. Il faut faire attention à ne pas faire trop d'export (foin, pâturage). Un labour sur une prairie signifie une perte de structure par hyperminéralisation. L'alternance fauche pâture est une bonne pratique : la fauche permet de favoriser le racinaire des plantes en bout de cycle. Le pâturage favorise l'activité biologique et la digestion de la MO via les bouses (=activatrices).

La dégradation de la MO en surface: ce sont les champignons (ex coprin sur compost) Ils ont besoin d'eau, d'une température adéquate, de 10 à 15 unités de N et d'oxygène (c'est pour cela qu'il faut agir sur la porosité du sol, les champignons étant strictement aérobie). A noter que d'autres

Avec le soutien de



types de champignons (les mycorhizes) interviennent aussi dans les échanges de minéraux en augmentant la surface d'absorption des racines. Des bactéries aérobies interviennent aussi dans la dégradation et la minéralisation de la MO, notamment une fois que les champignons ont attaqué la lignine.

Le rapport carbone/azote (C/N) propre à chaque nature de MO (paille, résidus verts, fumier...) renseigne sur la proportion des deux éléments. Un rapport C/N élevé fera intervenir plus les champignons qui dégradent la lignine. Un rapport C/N plus faible (ex : tissu vert) fera intervenir plus les bactéries qui dégradent la cellulose.

Les quantités totales de MO sont très différentes entre un sol forestier et un sol agricole et varient d'un type de sol à un autre : nous constatons que c'est la proportion des différents types de MO du sol qui oriente le cortège floristique et la dynamique du sol, bien plus que la quantité totale de MO

La prédominance de MO végétale archaïque (=fossile) en agriculture entraîne des modifications de sol favorables à une flore pérenne de forêt, lande ou garrigues et non aux plantes cultivées ou prairiales désirées. Ainsi le taux de MO ne renseigne pas sur leur qualité : un épandage de digestat de méthaniseur fait monter le taux de MO mais celle-ci est fossile. Lors de gros apports de matière très carbonées telles que le broyat de bois, attention à ce que les autres piliers sont fonctionnels et actifs (bonne activité biologique, bonne porosité et présence de minéraux solubles) : sinon risque de MO archaïque. Le BRF (broyé frais au printemps et épandu peu après) montre de bons résultats sur sol argileux et calcaire actif en climat océanique : le régime de fortes précipitations, la douceur du climat assure une bonne dégradation.

Plus nous avons des éléments minéraux solubles dans un sol, plus la structure organo-minérale va être sollicitée : l'azote soluble fait consommer l'humus donc nous avons une perte de structure. Plus on travaille un sol, plus on minéralise, plus on dégrade l'humus.

Activité biologique

Un sol trop chargé en calcium a une faible activité biologique ce qui est source de MO fossile.

Un test pour évaluer la capacité digestive de son sol : poser 3 petits tas de paille de hauteur différentes et observer la vitesse de dégradation.

En technique de semis direct, l'utilisation d'herbicide hypothèque l'activité des champignons : on a donc accumulation de Mo qui devient archaïque

Les turricules sont le rejet des vers de terre anéciques qui font le va et vient des profondeurs à la surface : c'est de la MO digérée mêlée à des minéraux et particules fines. Selon les contextes, une abondance de turricules peut être le signe que la MO n'est pas accessible. L'activité des anéciques améliore la macro-porosité des sols. La micro-porosité est quant à elle l'œuvre des micro-organismes associés à la rhizosphère (par exemple, le Raygrass est une graminée qui mycorhize et crée de la microporosité). La réserve utile (eau) est dans la microporosité : l'eau descend en hiver mais remonte par capillarité en été.

Certaines plantes amènent plus de sucres ce qui favorise les processus métaboliques des micro-organismes (par exemple l'avoine). D'autres profitent de l'absence des champignons (par exemple le chiendent).

=> la nature crée de la porosité : 95 % des plantes sont mycorhizées. A l'inverse, dans nos champs cultivés, 95 % des plantes spontanées dites adventices sont non mycorhizées.

La dynamique des écosystèmes des sols agricoles est basée sur l'activité bactérienne alors que celle des écosystèmes des sols forestiers est dominée par les champignons. Le point important est qu'en forêt la proportion de lignine et de composés phénoliques restituée au sol prime. Il faut trouver un équilibre champignon/bactérie qui se trouve dans la strate « prairie agraire ».

Les bactéries lactiques présentes dans le sol remobilisent les minéraux. On peut faire des apports de bactéries via diverses préparations fermentaires (Kanne, Lifofer...)

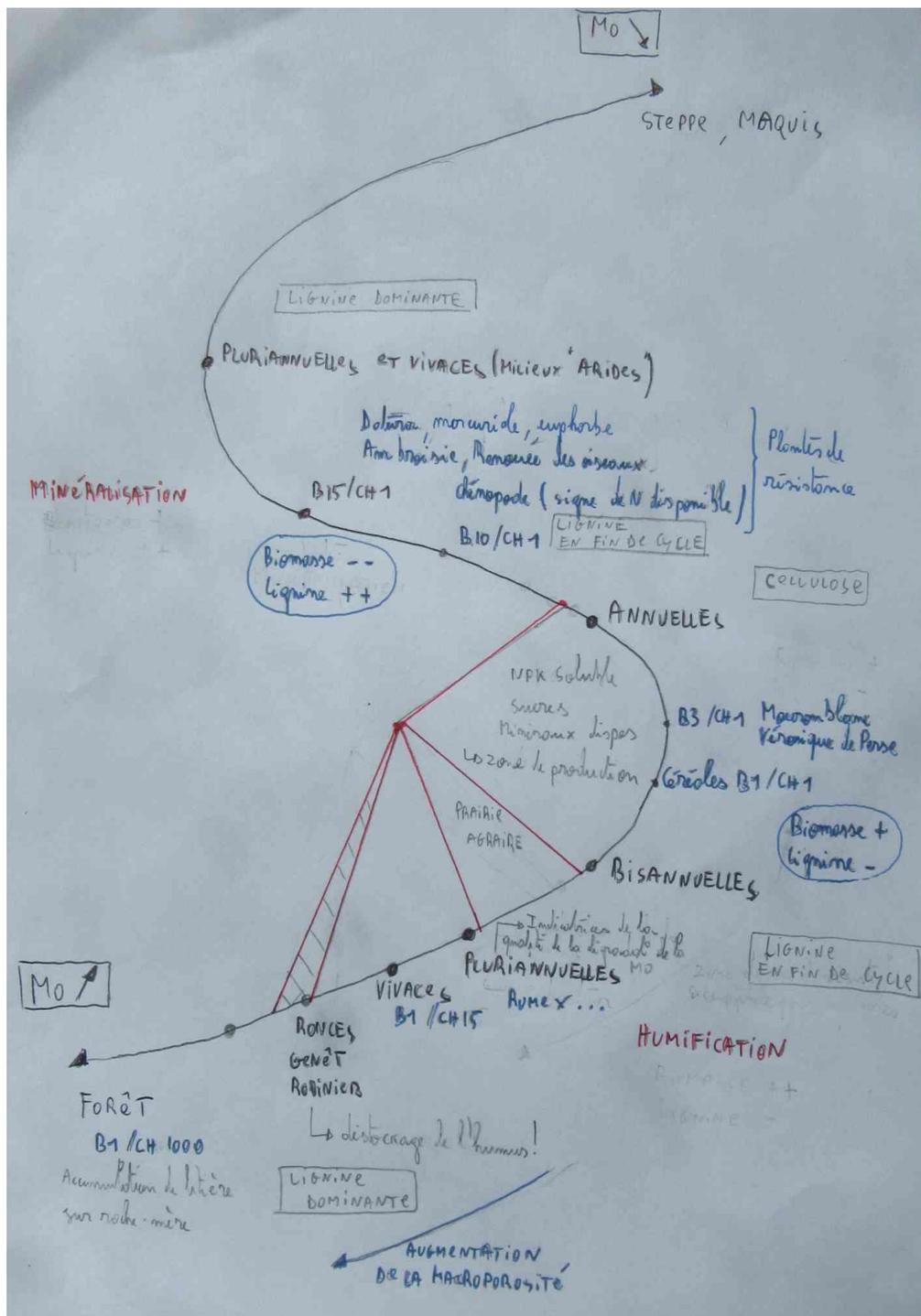
Porosité et texture

Avec le soutien de



La granulométrie joue sur la porosité des sols. Ainsi dans le boubènes où les limons sont prédominants les conditions sont asphyxiantes car très peu de porosité. L'activité biologique est ralentie. Sans certains sols comme en Toscane très argileux (70 % d'argile), on trouve une végétation de type steppe : l'absence de porosité favorise la MO archaïque. Spontanément, les successions végétales vont créer de la porosité dans un milieu donné pour aller vers la forêt. Un des principaux problèmes en agriculture est le compactage des sols et l'asphyxie.

1.4. Dynamique de colonisation naturelle du sol et « prairie agraire »



La prairie agraire est en fait l'optimisation agricole d'un écosystème, celui des prairies, steppes et pelouses naturelles parcourues par des cheptels à cornes sauvages. C'est le biotope naturel des ancêtres des céréales cultivées (engrain, amidonnier sauvage) et de leurs plantes compagnes légumineuses. L'objectif est de savoir situer ses propres parcelles dans les étapes de successions végétales afin de tenter d'accompagner les sols vers la dynamique la plus proche de la prairie agraire c'est à dire une prairie avec des annuelles dominantes et des céréales/légumineuses (donc une tendance plutôt minéralisante en surface). Ainsi la bio-indication n'est pas seulement à envisager comme une photo à l'instant « t » mais plutôt comme une image de pause dans un film.

Avec le soutien de



Cofinancé par l'Union européenne



1.5. Point sur le PH

Le type de roche mère et sa solubilité vont varier le PH du sol (ex : marbre blanc très basique mais très dur=> sol acide).

PH entre 4 et 5

Dans les sols acides, la MO s'accumule - car les processus de transformation sont lents, l'acidité inhibant les bactéries- et se mélange progressivement dans le profil. Les champignons dominant.

Avec de l'eau, tourbière (« amok »). Sans eau, « Mor » (ex : Landes océaniques)

Autour de 5

« Moder » : un peu plus de bactéries actives car plus de Calcium et de magnésium. Sols plutôt sableux

Entre 5 et 6

Ce sont les argiles acides (« Mull acide »). Le stock minéral est plus important.

Entre 6 et 7,2

On trouve les meilleurs sols : les mulls. Au delà de 7,2, nous entrons dans les Mull carbonatés : il y a trop de calcium, beaucoup de bactéries et des problèmes d'humification (exemple Champagne crayeuse, PH à 8,5)

Un compost bien géré (=humus) peut être une solution pour des sols très acides ou très basiques.

1.6. Cycle de l'azote

L'azote peut être présent dans le sol sous forme organique, sa forme majoritaire (détritus végétaux ou animaux en décomposition, animaux du sol, micro-organismes etc.) ou sous forme minérale (nitrate NO_3^- , ammonium NH_4^+ , ammoniac NH_3 , urée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). L'activité biologique du sol transforme l'azote d'une forme à une autre. Ces formes de l'azote sont reliées entre elles dans ce qu'on appelle «le cycle de l'azote». C'est principalement sous forme de nitrates que l'azote est assimilé par les plantes.

L'azote existe donc dans différents états. Celui de l'air (N_2) est gazeux et fixé par les nodosités des légumineuses qui le change en ammoniac (NH_3). Celui-ci se dissout dans l'eau et forme généralement des ions ammonium (NH_4^+), en se combinant avec des ions hydrogène, H^+ , qui sont abondants dans la plupart des sols : cette réaction, l'ammonification peut se faire à partir de 3°C et s'arrête au-dessus de 25°C . Au-delà, l'ammoniac s'évapore. Les ions ammonium peuvent être stockés dans le complexe organo-minéral et peuvent nourrir les plantes via les mycorhizes en hiver. La décomposition de la MO fraîche par des bactéries saprophytes est une autre source de NH_4^+ . Dans les sols bien oxygénés, des bactéries transforment les ions ammonium (NH_4^+) en nitrites (NO_2^-) à partir de $6-8^\circ\text{C}$ puis en nitrates (NO_3^-) à partir $8-10^\circ\text{C}$ jusqu'à $25-27^\circ\text{C}$, au cours du processus de nitrification.

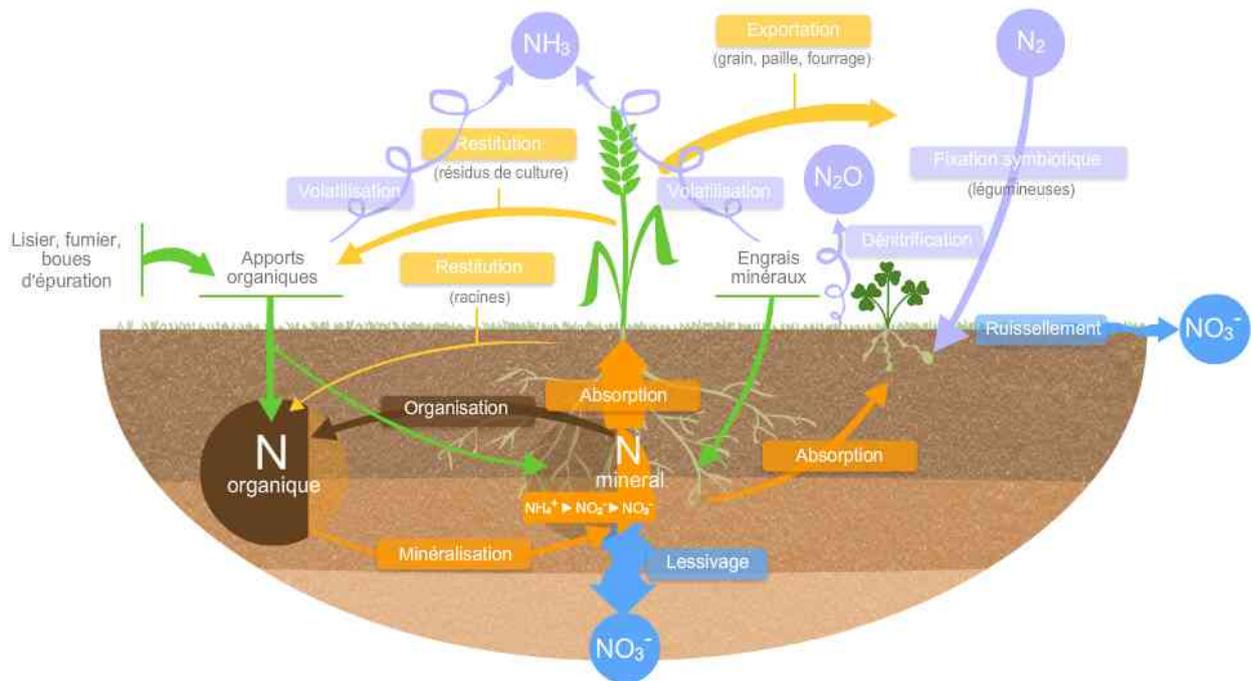
Cette transformation peut être contrariée et bloquée au stade nitrites, un composé très toxique pour le vivant. Les sols asphyxiés (compactés, hydromorphe...), froid, acides ou engorgés en Mo non décomposées favorisent la non transformation du nitrite.

Avec le changement climatique, les températures élevées automnales peuvent favoriser l'ammonification en cette période de l'année ce qui peut bénéficier à des cultures telles que le maïs ou le tournesol.

En milieu anaérobie, d'autres bactérie peuvent réalisent la dénitrification du milieu en réduisant les nitrites en protoxyde d'azote (N_2O), un gaz à effet de serre beaucoup plus réchauffant que le CO_2 . Les ions peuvent aussi être lessivés par l'action des pluies.

Avec le soutien de





Source : <https://programme-nitrate.gouv.fr/lazote-est-element-indispensable-a-lagriculture-il-peut-entraîner-pollutions.html>

2. Analyses de terrain

2.1. Frontenac (argilo-calcaire)

Il s'agit d'une ferme de 40 ha en bio (Nature & Progrès) depuis une petite dizaine d'années. La culture principale est le blés paysan en mélange multi-variétal à destination d'un atelier de meunerie/boulangerie à la ferme. Auparavant, les terres étaient cultivées en conventionnel, en semis direct avec irrigation et sans labour pendant 35 ans. Beaucoup de problèmes à résoudre suite à ce traitement : ray grass résistant au glyphosate, sols asphyxiés, fertilité limitante en bio.... La stratégie de Nicolas est de privilégier un travail superficiel du sol avec une succession de prairies temporaires mêlant plantes spontanées et mélanges semés de graminées/légumineuses en engrais verts (EV) : ces couverts sont ensuite détournés et mulchés pour compostage en surface, souvent avec ajout de ferments (Lifofer). Les prairies/EV sont scalpées à l'automne et les céréales sont semées en mélange 3 semaines après. L'idée est de « réveiller le levain du sol » car de nombreux blocages persistent.

A court terme, il y a projet d'installer un petit cheptel à cornes sur la ferme dans un objectif agronomique visant à dynamiser la vie biologique des sols, en introduisant dans la succession des prairies de fauche et pâture. La ferme compte aussi 7 ha en agroforesterie et produit aussi de l'huile

Avec le soutien de



Cofinancé par l'Union européenne



de cameline, de la moutarde et des lentilles. A l'automne 204, les mélanges variétaux de blé ont cette fois tous été semés en mélange avec des seigles, avoines, féveroles et pois sauvages.

L'examen d'une parcelle difficile a donné lieu à une analyse simplifiée par la bioindication et par microprofils de sol. Il s'agit d'une parcelle peu fertile, envahie de cirse des champs il y a 3 ans. Elle a été cultivée de manière superficielle avec des couverts multispécifiques. Aujourd'hui toujours en mélange multi-espèce à dominante blé tendre. L'objectif a été de faire un relevé des espèces spontanées présentes puis d'identifier leur cycle, leurs dimensions aériennes et souterraines, le rapport biomasse « souple »/lignine. Plus une plante est ligneuse, plus il y a de carence organique dans le sol, plus il y a de pertes d'azote. L'azote fixé dans ce type de plantes est en effet difficilement restituable.

Plantes spontanées observées : véronique des champs, pâturin annuel, gesse tubéreuse, vesce commune, ray grass, trèfle blanc, vesce cracca, renoncule des champs, céréaiste aggloméré, agrostis stolonifère, jonc des crapauds. 10 espèces sont annuelles ce qui est d'une solubilisation plutôt rapide des éléments en adéquation avec le biotope « prairie agraire ». Il y a quelques pluriannuelles comme l'agrostis stolonifère. Le développement des annuelles est par contre limité (petite taille) ce qui montre un accès très restreint aux macro éléments solubles (NPK)

Un deuxième relevé dans une zone plus fertile de la parcelle a fait apparaître de nouvelles espèces : arabette des dames, pissenlit, rubéole des champs (*Sherardia arvensis*), lamier pourpre, cirse, rumex, picris. Les plantes problématiques (cirse, rumex, picris) sont en net recul depuis 3 ans. Le pissenlit est une plante pluriannuelle avec une biomasse relativement importante (pas de lignine) : il débloque la potasse rapidement en sortie d'hiver. Les crucifères (arabette des dames) accélèrent la libération du soufre. Leur taille est un étalon de la fertilité minérale. La famille des rubiacées (gaillets, rubéole des champs...) travaillent avec les bactéries lactiques du sol. Les gaillets récupèrent l'azote soluble en début de printemps, au moment où le blé en a aussi besoin. Ils indiquent donc de l'azote disponible. Les lamiacées (lamier pourpre) sont quant à elles mycorhizées. Les micro profils montrent une amélioration de la porosité dans cette zone. De plus, il sont d'un brun uniforme. Quand il y a problème de digestion de la MO, l'horizon sous la surface est sombre/noir et nettement séparé du reste du sol plus clair.

2.2. Montagoudin (sols type boubènes)

Il s'agit d'une ferme alliant céréales à pailles et élevage de porc charcutier ainsi qu'un petit cheptel à cornes. Les sols sont essentiellement composés de limons acides et ont une tendance à l'asphyxie. Un diagnostic complet par les plantes bio indicatrices a été réalisé sur une parcelle de 2 ha emblavée en blé d'hiver (mélange Mêtis). Le précédent est une luzerne hétérogène de deux ans qui s'est noyée en année 2 (astuce pour garantir une bonne occupation : la luzerne est semée en association avec du trèfle violet -20 kg pour 3 kg de trèfle, ou avec une avoine). Un apport d'engrais organique a été réalisé quinze jours auparavant.

Le long d'un transect (relevé de part et d'autre d'une ligne droite traversant la parcelle), les différentes espèces ont été notées selon leur densité (coefficient de recouvrement) : 5>80 %; 4=75 %; 3=50 %; 2<50%; 1 = petite quantité ; 0= présence sporadique.

Les plantes suivantes par ordre de densité décroissante ont été relevées :

- Agrostis stolonifère, pâturin annuel : coefficient de recouvrement de 4
- RGI : coefficient de recouvrement de 3
- Vesce cracca, picride fausse vipérine, cardamine hirsute, trèfle blanc, porcelle enracinée : coefficient de recouvrement de 2

Avec le soutien de



- Pissenlit, renoncule sarde, chiendent officinal, rumex crispus : coefficient 1
- Mouron rouge, plantain lancéolé : présence sporadique (coefficient 0)

L'analyse générale avec l'appui des microprofils montrent une parcelle peu favorable à la culture du blé à ce stade : pluriannuelles dominantes, découplage (les minéraux sont au fond et donc peu accessibles), MO fossile, trace de rouille (fer oxydé), asphyxie.

L'indice des éléments minéraux disponibles pour les plantes donc assimilables et solubilisables dans la fraction du sol (calcium, potassium, magnésium, sodium...) est déficitaire (68 % pour un optimum entre 80 % et 100%). Le calcium biodisponible est présent (16 % pour un optimum entre 10 à 30%). L'indice d'asphyxie, indiquant la perte de porosité (par compaction ou hydromorphisme) est très élevé (92 % pour un optimum qui doit être inférieur à 50%). L'indice de disponibilité en eau dans les sols pour les plantes, en lien avec la macro et la microporosité du sol est dans la zone optimale (< 50 %) : a priori il n'y aurait pas de problème d'hydromorphie voire même une tendance séchante (indicateur Eau - à 16 %)

Au niveau de l'indice du fonctionnement des matières organiques carbonées:

- L'indice C+ (matière organique carbonée présente, bien digérée et mobilisée par l'activité biologique, minéralisation équilibrée et humification fonctionnelle) est déficitaire (48 % contre 80 % minimum)
- L'indice C- (matière organique carbonée faible ou absente, ou bien mal digérée par l'activité biologique, hyperminéralisation, humification peu ou pas) est légèrement élevé (12 %).

Lorsqu'on regarde un microprofil, les processus d'humification ne se font pas (découplage: MO en surface non décomposé puis horizon minéral sans transition) Au niveau de l'indice du fonctionnement des matières organiques azotées :

- L'indice N+ (matière organique azotée présente, bien digérée et mobilisée par l'activité biologique, minéralisation équilibrée, azote mobilisable) est déficitaire (56 % contre un optimum de 80%) ;
- L'indice N- (matière organique azotée faible ou absente, ou bien mal digérée par l'activité biologique, possible hyperminéralisation avec forte perte d'azote) est dans la zone optimale (inférieure à 10%)

L'indice de production de nitrite et de protoxyde d'azote est quant à lui trop élevé (24%): il y a production de formes azotées non utilisables ou volatiles à cause des conditions édaphiques. Dans les sols bien oxygénés, des bactéries transforment les ions ammonium (NH₄⁺) en nitrites (NO₂⁻) à partir de 6-8°C puis en nitrates (NO₃⁻) à partir 8-10°C jusqu'à 25-27°C, au cours du processus de nitrification. Cette transformation peut être contrariée et bloquée au stade nitrites, un composé toxique pour le vivant. Les sols asphyxiés (compactés, hydromorphe...), froids, acides ou engorgés en MO non décomposées favorisent la non transformation du nitrite.

L'indice de matière organique fossilisée (c'est-à-dire présence et dominance de matières organiques accumulées, bloquées, non digérées) est plus ou moins égal à la limite haute de l'optimum : il suggère qu'il n'y a pas ou peu de MO bloquée. **Le fait que la MO ne travaille pas (indice C - assez élevé, indice C+ et N+ déficitaire) semble dû à l'asphyxie et le PH plutôt acide de la parcelle.**

L'indice de lessivage des éléments minéraux est très élevé (52%) ainsi que l'indice d'érosion (32%). Les minéraux ne sont pas disponibles car entraînés dans les profondeurs. Les éléments fin sont aussi emportés. L'indice d'activité biologique du sol (AB- = 28%) montre un processus aérobie dégradé (les micro-organismes transforment mal la MO).

Avec le soutien de



En résumé, **la parcelle pâtit d'une asphyxie conséquente qui nuit à l'activité biologique.** La dégradation et la minéralisation de la MO sont bloquées, il n'y a pas d'horizon organo-minéral et le lessivage des minéraux est intense. La parcelle semble être en voie d'érosion. L'acidité peut aussi être un facteur limitant pour la vie biologique et le cycle des éléments utiles aux plantes. Face à cette situation, plusieurs pistes agronomiques peuvent être explorées avant de retenter un blé paysan. Un amendement calcique (carbonate de calcium) peut aider la vie biologique et les processus métaboliques des microbes. La mise en place de nouveau d'un couvert pluriannuel de légumineuses qui amène *in fine* de la MO et la porosité est une bonne option. Le trèfle violet en couvert de deux ans semble être une option intéressante pour la ferme (autoconsommation en alimentation animale). En dernière année, il faudrait broyer la dernière coupe et idéalement épandre un fumier de bonne qualité pour amener des éléments fertiles en surface. En général, la restitution au sol d'au moins une coupe est une bonne pratique pour entretenir la fertilité. L'implantation d'un EV annuel (vesce/avoine et féverole, cette dernière espèce semblant bien tirer son épingle du jeu sur la ferme), broyé/mulché au printemps (avec ajout de ferment type Lifofer pour assurer une bonne digestion/minéralisation de la MO fraîche) suivi d'un sarrasin entièrement restitué peut être aussi une option (le sarrasin peut calmer l'expression de l'agrostis stolonifère dominant sur la parcelle).

Sur une autre parcelle similaire (haut de coteau), des féveroles semées en association avec une paille (avoine) montre un bon développement alors que la paille a disparu et que le sol reste colonisé par l'agrostis. La féverole produit beaucoup plus de sucres que la vesce et apporte de l'azote en avril pendant un mois environ. La suivante succession pourrait aussi être pertinente dans le contexte de la ferme: après prairie de fauche ou pâture, semis de féverole en semences paysannes très dense (150 kg/ha). Si la culture fonctionne, envisager, après restitution de partie de la culture (possibilité de garder la semence), un méteil ou un blé paysan à l'automne suivant. Si la culture ne fonctionne pas bien, destruction/restitution au printemps pour partir sur un trèfle violet. La féverole semble en tout cas être la plante pilier sur ces parcelles, sur laquelle s'appuyer dans les successions culturales.

Avec le soutien de





Atelier de lecture de parcelles par la bioindication (Frontenac)

Avec le soutien de

