

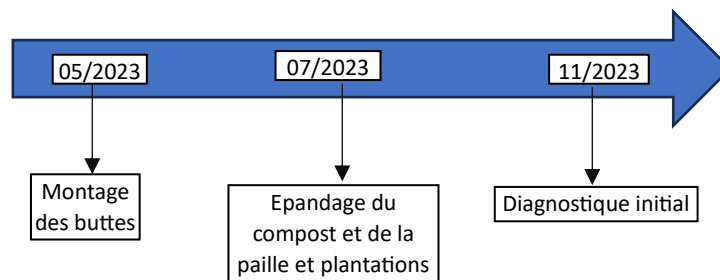
Diagnostic initial – Projet SoLife

Exploitation du lycée agricole polyvalent Michel Rocard – Parcelle BUTTES

D'après L'étude des sols de la Nouvelle-Calédonie (Latham & al, 1978), les sols sont classés « Vertisols ». Les vertisols sont naturellement à pH basique ou neutre, une forte teneur en calcium et magnésium échangeables, tandis que la potasse y est faible. Ils sont caractérisés par une dominance d'argiles 2 :1 (type smectite ferrifère) dont les feuillets sont désordonnés et retiennent facilement les molécules comme l'eau. Ils sont souvent hydromorphe en zone de plaine.

Le sol est de texture limon argilo-sableux (29%A ; 49%L ; 22%S) avec 4,4% de matière organique (analyses Celesta Lab novembre 2023).

La parcelle est organisée en buttes implantées de façon pérenne. Elles ont été montées à la mini-pelle en ramenant la terre de surface après un travail avec un outil à dents à 20 cm de profondeur. Ensuite 2 godets de compost (DV + déchets de cantine) de X m³ sont épandus puis étalé à la main sur chaque butte de 20 m² et 4 godets sur les plus grandes buttes de 40m². X kg de 10-12-24 ont été épandus à la main sur chaque butte. Enfin 2 balles rondes de foin déclassé sont déroulées à la main (4 sur les plus grandes buttes). Une ligne de goutte à goutte (T-TAPE 1 l/h tous les 30 cm) est installée sur chaque butte.



Ce système de culture a été mis en place après de nombreuses années d'échec de travail « classique » du sol. En effet la nature du sol (nombreux éléments fins, excès de magnésium, déficit de matière organique, topographie, sous-sol hydromorphe) rend cette parcelle très sensible à une hydromorphie temporaire en saison des pluies et une dessiccation en saison sèche. L'agriculteur a alors fait le choix de passer sur un système de non-travail du sol sur buttes (favorisant le drainage). Un développement important de l'activité biologique du sol est indispensable pour maintenir la porosité du sol.



Les observations et prélèvements ont été réalisés le 23 novembre 2023.

Observations in-situ

D'après le « Guide d'observations et pistes d'actions pour des sols vivants en maraichage » et le « Guide d'utilisation du Test bêche » de l'ISARA de Lyon.

3 répétitions ont été effectuées sur la parcelle, sur 3 buttes toutes en culture. La 2^e butte observée était en fin de culture de courgette et plus irriguée depuis environ 1 semaine. L'humidité pondérale moyenne était de 19% sur les buttes irriguées et de 15% sur la butte plus irriguée.

Les buttes étaient irriguées lorsqu'une culture était en place. Autour des buttes on a pu observer des fentes de retrait.

La bêche a pu être enfoncée jusqu'à 25 cm sur les 3 buttes. On distingue 2 horizons : HZ1 de 0 à 5cm et HZ2 de 5 à 25 cm.



Bloc extrait. Il se sépare en 3 blocs + des mottes

HZ1 présente une structure ouverte où on observe la matière organique qui commence à être intégrée par la faune. On observe une dominance de petites mottes Δb et de la terre fine. **Cet horizon n'est pas tassé, il est en classe 1.**



Tri des mottes par taille

HZ2 présente une structure intermédiaire (C2R) où on observe une dominance de grosse motte Δb et quelques mottes Δ au fond du profil. **Cet horizon est modérément tassé, il est en classe 3.**

La densité apparente moyenne (méthode du cylindre) mesurée est de 0,95. La densité apparente mesure une masse de terre dans un volume connu. C'est une mesure du niveau de tassement du sol, plus la valeur est élevée, plus le sol est tassé. De plus, la densité apparente nous permet de calculer la masse de terre fine sur la parcelle et calculer les apports (amendements et engrais).

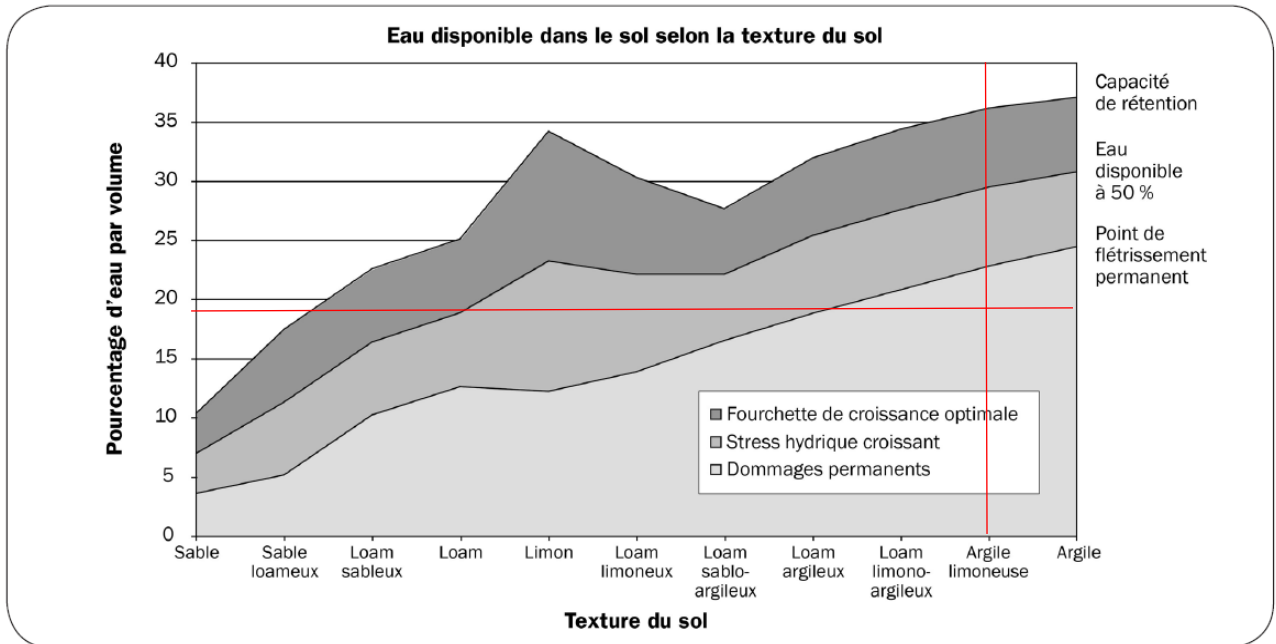


Figure 3. Eau disponible dans le sol selon la texture du sol. D'après des données tirées de Ratliff, L.F., Ritchie, J.T. et Cassel, D.K. *Soil Science Society of America Journal* 47, 770(5), 1983.

Eau disponible dans le sol selon la texture (triangle USDA)



Face inférieure du bloc extrait : on observe des galeries verticales

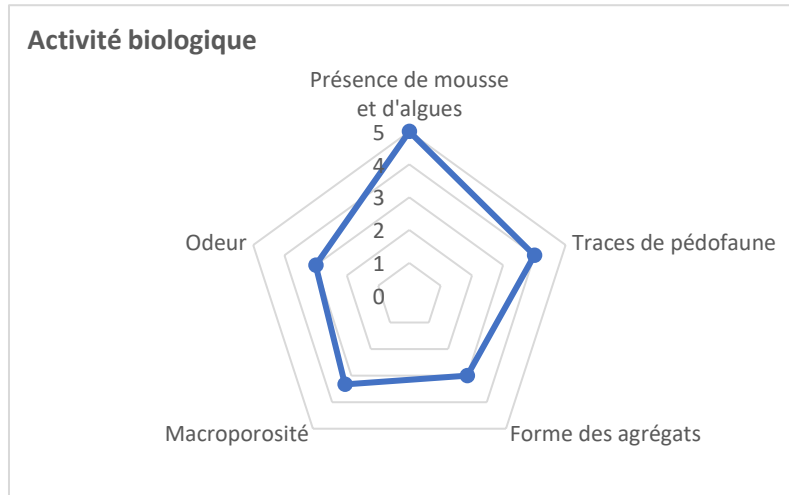
Le graphique ci-dessus représente les réserves hydriques des sols en fonction de leur texture. La parcelle est de texture « Clay loam » traduit ici par « Argile limoneuse » selon le triangle des textures USDA. La réserve utile pour les plantes est comprise entre 22% et 36% d'humidité volumique. L'humidité pondérale moyenne du sol le jour du prélèvement était de 19% d'humidité pondérale soit 18% d'humidité volumique. La réserve utile du sol sur les 16 premiers centimètres était vide (cf.graphique).



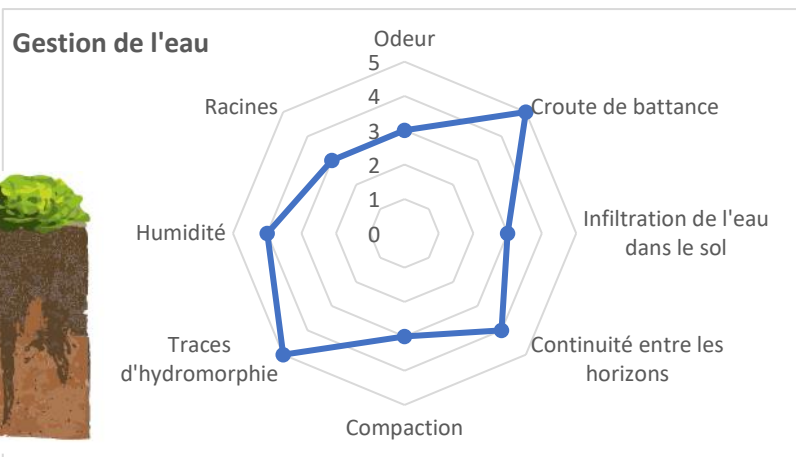
Galerie de ver de terre avec excréments

Les 3 graphiques radar ci-dessous réunissent différents indicateurs qui traduisent l'état de santé du sol vis-à-vis de ses caractéristiques structurales, l'activité biologique et le comportement hydrique de la parcelle. L'échelle de notation varie de 1 (moins bonne note) à 5 (meilleures note).

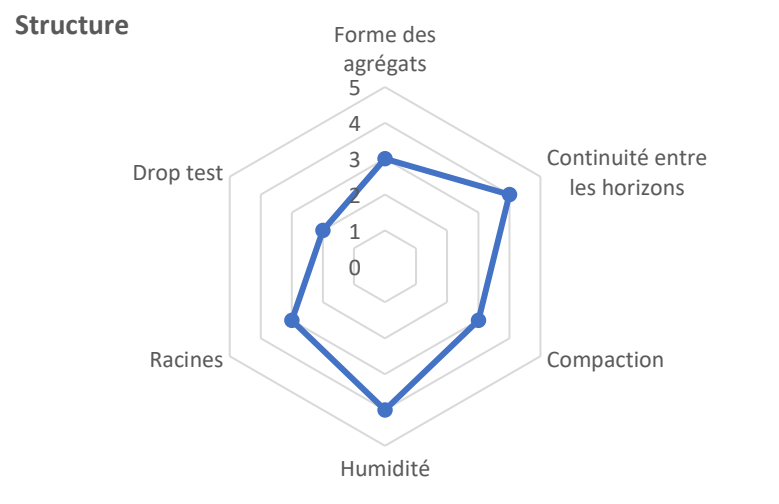
Le détail des indicateurs est disponible dans le « Guide d'observation et pistes d'action pour des sols vivants en maraichage ».



Les indicateurs pour l'activité biologique sont moyens à bons. On n'observe pas de mousse et d'algue en surface (signe de manque d'oxygène dans le sol) et on observe un certain nombre de turricules (et autre faune du sol). La forme des agrégats est de type structure intermédiaire (grumeleuse à polyédrique). La macroporosité à l'intérieur des mottes est moyenne. L'odeur du sol est minérale.



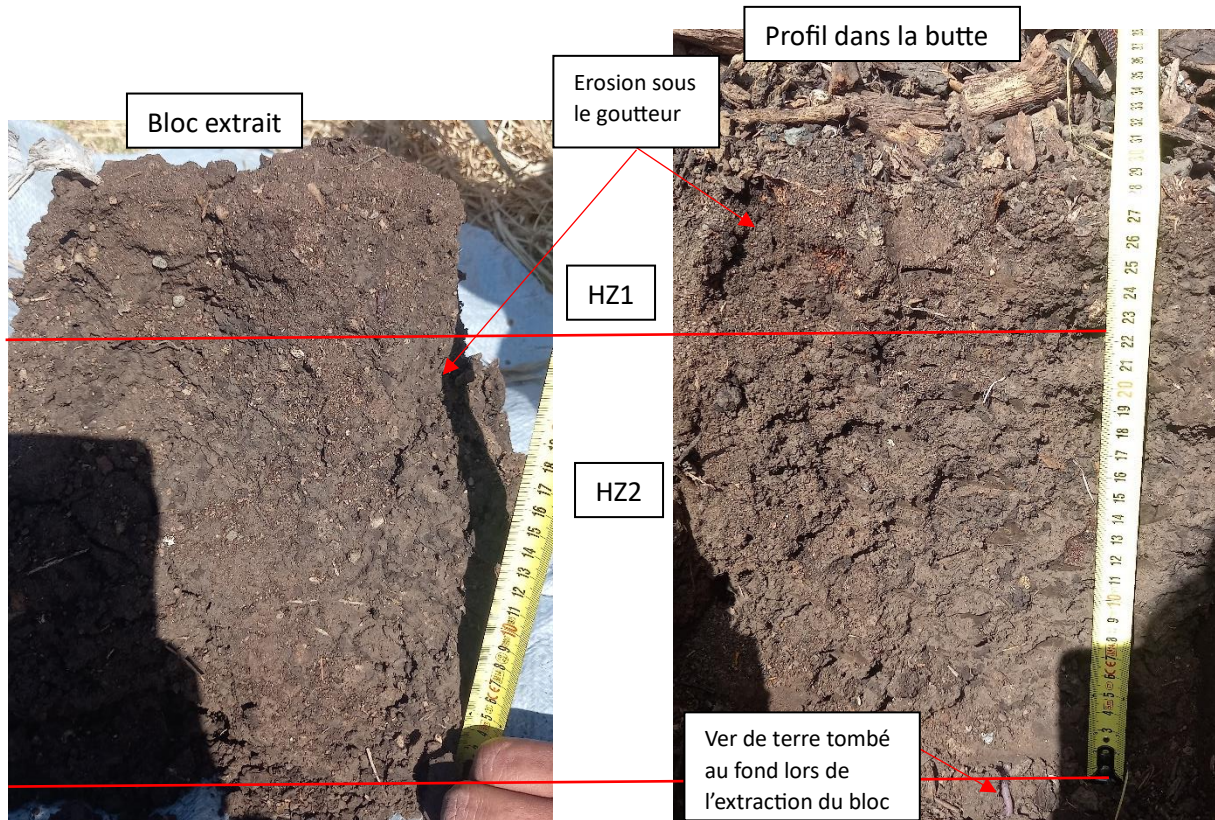
Les indicateurs pour la gestion de l'eau sont moyens à bons. On n'observe pas de croute de battance mais l'infiltration de l'eau dans le sol est moyenne car le drainage est lent sur les buttes et on observe des flaques autour lors des pluies. On observe une continuité plutôt bonne entre les horizons : il y a des zones « en chandelles ». La compaction est moyenne, en général dans l'horizon 1, un léger effort suffisait à enfoncer le couteau jusqu'à la garde alors que dans l'horizon 2, un effort intermédiaire était nécessaire. On n'observe pas traces d'hydromorphie dans le profil. L'humidité dans le sol était plutôt uniforme (temps sec, humidité des goutteurs).



Les indicateurs de structure sont moyens. Les racines observées allaient jusqu'au fond du profil mais empruntaient surtout la macroporosité créée par les vers



de terre ou fissures. Le drop test correspond à répartition de la taille des mottes après 3 lancers du bloc à 1m de hauteur (cf photo p.2). Le sol est dominé par des grandes mottes à structure intermédiaire et peu de mottes friables. Il n’y a quasiment pas de terre fine.



Profils de sol dans la zone 3 (butte 5b)

Analyses de sol

Les analyses physico-chimique et biologiques ont été faites par le laboratoire Celesta-Lab en France et les résultats reçus le 5/03/2024.

Fertilité chimique

Le rapport d’analyses du laboratoire est disponible en annexe. Les oligo-éléments n’ont pas été analysés.

Tableau 1: pH, CEC et éléments minéraux disponibles

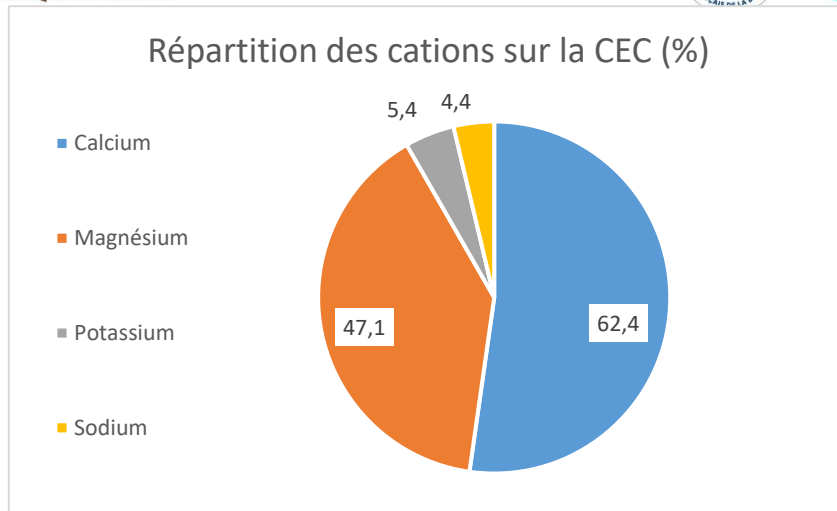
pH	CEC (meq/kg)	P2O5 (ppm)	K2O (ppm)	MgO (ppm)	CaO (ppm)	NaO (ppm)
7,3	171,2	52	440	1612	3000	237

Le pH est légèrement basique mais reste correcte pour l’assimilation des nutriments. La CEC (capacité stockage des cations calcium, magnésium, potassium et sodium) est sur-saturée.

Les réserves de potasse disponible (440 ppm) sont importantes mais son absorption est limitée à cause du déséquilibre avec le magnésium et la texture argileuse.

Les réserves de phosphore disponible (52 ppm) sont correctes mais peuvent encore être renforcées.

Le magnésium est sur-représenté sur la CEC, le rapport Ca/Mg est ici de 1,3 (idéal 7). Cependant, ce rapport est plutôt bon au regard des sols calédoniens.



La potasse est plutôt bien représentée sur la CEC mais son déséquilibre avec le magnésium tend à la rendre encore moins disponible.

Le sodium est également bien représenté. Il ne doit pas prendre plus de place que la potasse, au risque d'avoir une certaine toxicité chez les plantes puisque les 2 molécules sont quasiment similaires.

Fertilité biologique

Les analyses consistent en un fractionnement de la matière organique, une mesure de la biomasse microbienne et de son activité (minéralisation).

On distingue 2 types de matière organique : la MO libre (particules > 50µm) et la MO liée (particules < 50µm). La MO libre est la MO se dégradant le plus rapidement (<12 ans) et facilement minéralisable. Ce sont les réserves énergétiques du sol (nourriture pour les microorganismes et la microfaune). La MO stable se dégrade lentement (> 50 ans), joue un rôle structurant et d'échanges (CEC).

Quantité de matière organique

La quantité totale de MO est 4,4%. Le taux de MO idéal est connu grâce au rapport MO/A=0,24, en prenant le taux de MO liée. Ici ce rapport est de 0,1. **Il y a un déficit de 71,5 tonnes en matière organique liée**, ce qui correspond à un apport de **323 tonnes hectare de compost**.

Chaque année, les microorganismes du sol consomment (minéralisent) la matière organique. Ici ces pertes annuelles sont estimées à **1193 kg/ha** (avec une densité apparente de 0,95 et indice de minéralisation ou k2 de 1,5%). Ce qui correspond à un apport de **5,5 t/ha de compost par an**.

Qualité des matières organiques

Le C/N de la MO totale (12,4) nous indique une matière plutôt évoluée et stable.

Ici le C/N de la MO liée (10,7) caractérise un humus bien évolué, fonctionnel et libérant assez facilement l'azote.

Le C/N de la MO libre (19,1) caractérise une MO jeune et peu évoluée, très énergétique pour la faune et la microflore.

La répartition entre les MO libre et stable est satisfaisante, bien que la proportion de MO libres soit assez importante. Mais ceci s'explique par l'apport récent de compost et de paille qui est en train d'être digéré par le sol.



Schématisme des différents compartiments de la matière organique du sol analysés par Celesta-Lab

Biomasse microbienne

Le compartiment microbien est plutôt développé. La biomasse microbienne est constituée de nombreux éléments (N,P,S...). Cette biomasse se renouvelle rapidement dans le sol rendant ainsi les éléments qu'elle contient potentiellement disponible pour les plantes. Le maintien de cette masse vivante dans le sol assure, de plus, de nombreuses propriétés agronomiques indispensables aux cultures : porosité (drainage, enracinement), stabilité structurale(anti-érosion).

Cependant, la proportion de cette biomasse dans la matière organique totale est faible (1,4%). Cela peut être dû à un environnement défavorable (structure fermée, toxicité aluminium) et/ou à la qualité des matières organiques apportées (trop stables, pas assez énergétique). Aux vues des observations in-situ, le sol est en effet légèrement tassé et avec peu de microporosité. Mais les MO apportées (compost et foin déclassé) ne sont pas très énergétiques (pauvres en carbone minéralisable). **Il faut envisager des apports de matière organique « fraîche », avec un ISMO (indice de stabilité de la**

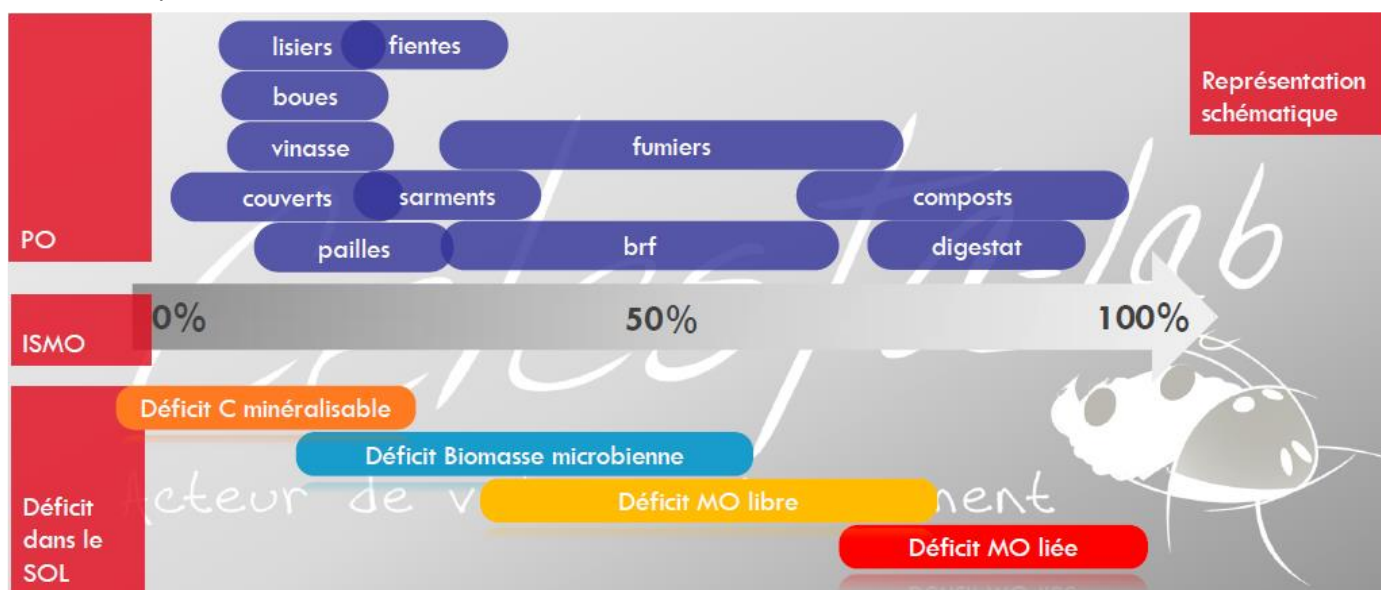
matière organique) faible (voir schéma plus loin) dans un objectif d'alimenter la biomasse microbienne du sol.

Activités microbiennes

La MO potentiellement minéralisable (carbone minéralisé) est la MO qui sera rapidement dégradée par les microorganismes si les conditions pédoclimatiques sont réunies (humidité, température et oxygène). Le carbone organique est une source d'énergie pour la croissance et le développement des microorganismes. Ici la quantité minéralisée est faible (1,5%), insuffisante pour assurer une activité microbienne correcte. **L'apport énergétique à la biomasse est donc limité par un manque de carbone organique facilement minéralisable (par exemple des fientes de volailles fraîches ou un engrais vert de légumineuse fauché avant la floraison).**

L'azote minéralisé en 28 jours en laboratoire modélise la quantité d'azote minéralisée au champ en 4 mois. Ici cette quantité est faible (13,9 mg) et rapportée à l'azote total, cet azote rapidement disponible pour les plantes est également très faible (0,7%). L'activité de l'azote de la matière organique est très faible. **La mise à disposition de l'azote du sol pour les plantes est limitée par la trop forte stabilité de la matière organique et donc par le manque de substrat facilement dégradable.**

Par extrapolation, l'activité biologique du sol peut générer 60 kg/ha d'azote dans les 6 mois. Au moment du prélèvement, le reliquat azoté (azote minéral présent) était de 100 kg/ha, ce qui est assez important. A titre d'exemple cela correspond environ à la quantité d'azote nécessaire au concombre pour effectuer son cycle.



Représentation schématique des produits organiques à apporter en fonction du type de déficit dans le sol (source : celesta Lab)

Biodiversité du sol

La microbiologie du sol a été analysé par le laboratoire par Aura Pacifica en Nouvelle-Calédonie. Les vers de terre ont été déterminés en collaboration avec l'IAC et ses collaborateurs.

Vers de terre

Sur les 3 tests bêche réalisés, **24 vers de terre** ont été trouvés. Ils semblaient tous de la même espèce mais seul les adultes (présence de clitellum) ont été prélevés pour être identifiés. Tous les adultes prélevés étaient de la **même espèce qui appartient au genre *Amyntas*, famille *Megascolecidae***

(identification Dr Thomas Pavliceck). Les vers ont été gardés par les chercheurs qui vont tenter de déterminer l'espèce.

Le genre *Amyntas* n'est pas endémique à la Nouvelle-Calédonie. Ils seraient natifs d'Asie du Sud Est et sont présents dans tout le Pacifique. En Nouvelle-Calédonie, 4 espèces du genre ont été recensées.

Les caractères morphologiques observés : de couleur pâle, translucide, on voit le tube digestif. Ils



Vers de terre du genre *Amyntas* récoltés dans les buttes.



Motte Δb où on peut voir des galeries de ver de terre dont une avec du mucus

mesurent entre 8 et 10 cm de long, les soies sont en paires rapprochées, le clitellum se situe sur les anneaux 13 à 16/17 et le pore mâle, bien apparent, sur l'anneau 18 ou 19 (difficile à déterminer).

Microbiologie

La biomasse des bactéries et des champignons est satisfaisante mais **manque de diversité**. On compte 6 espèces de bactéries et 7 espèces de champignons. L'idéal serait de 10 espèces. La forte présence des actinomycètes nous indique que le sol a une bonne capacité à **humifier la matière organique**.

L'activité phosphatasique nous indique la capacité des microbes à minéraliser le phosphore organique. Elle est plutôt satisfaisante.

Le nombre et la diversité des mycorhizes n'est pas satisfaisant. Le genre identifié (*Diversipora*) est un genre assez commun mais peu « performant » pour la production agricole.

Pour augmenter la diversité des microorganismes, il faut **varier les sources de matières organiques**. On peut aussi inoculer des espèces connues et produites pour l'agriculture : : mycorhizes autochtones commercialisées par Aurapacifica, *Azotobacter vinelandii*, *Bacillus sp.*, *Trichoderma sp.* ou encore *Beauveria bassiana* par exemple.

Conclusion – Synthèse

Le sol est légèrement tassé. On observe cependant une macroporosité (galeries de vers de terre) assez satisfaisante, bien que pas encore suffisante. Les buttes sont assez récentes donc la porosité du sol est due en grande partie au travail du sol par les outils mais le développement de la macro et microfaune du sol est indispensable pour éviter la fermeture de la structure du sol. Pour développer cette vie du sol, il faut maintenir une humidité constante dans le sol et apporter régulièrement de la MO fraîche et facilement dégradable (fientes, engrais vert fauchés avant floraison...).

Les analyses biologiques ont montré qu'il y a un manque de matière organique au regard de la quantité d'argile. Le déficit en MO stable est de **71,5 tonnes en matière organique**, ce qui correspond à un apport de **323 tonnes hectare de compost**.

L'activité biologique est limitée, il faut apporter de la matière organique fermentescible (fraîches, avec un faible ISMO) comme des fientes, des engrais verts avec une légumineuse fauché avant floraison ou du fumier frais. Des produits à base d'inoculum peuvent aussi être apportés pour augmenter les populations microbiennes (mycorhizes, lombrithé, Tricho-shield...).

Les analyses chimiques ont montré un excès de magnésium et un déficit en phosphore. A la formation des buttes, aucun apport minéral n'a été fait. Il serait intéressant d'envisager un apport de phosphore minéral qui va se libérer lentement et surtout qui n'a pas l'impact négatif du phosphore de synthèse sur les vers de terre et les mycorhizes en particulier (rockphosphate, sur commande au Dock des engrais). Il est connu que l'activité biologique du sol permet de libérer du phosphore bloqué dans le sol (90% du P dans les sols n'est pas disponible pour les plantes).

Un apport de calcium minéral sous forme de gypse pourrait être intéressant afin de rééquilibrer le rapport Ca/Mg sans faire augmenter le pH. La teneur en sodium est aussi à surveiller (4.4 % de la CEC). On considère qu'un sol est sodique quand le sodium dépasse 6% sur la CEC. L'augmentation du taux de MO permettra de tamponner l'effet du sodium.