



5 Allée de la Planche Fagline
PA de la Teillais
35740 PACE
02 99 23 15 25

NEOEN

1 bis mail Pablo Picasso
44000 Nantes

Etude agropédologique

Projet Agrivoltaïque – Bierné-les-Villages (53)

Table des matières

Table des matières	2
Table des tableaux.....	3
Table des figures.....	4
Références bibliographiques.....	4
1. Contexte	5
1.1. Présentation du projet	5
1.2. Description du site.....	6
1.3. Analyse du territoire.....	10
2. Méthodologie	11
2.1. Typologie des données et organisation de l'étude	11
2.2. Mesures de terrain	12
2.3. Paramètres physico-chimiques pris en compte	16
3. Relevés pénétrométriques	18
4. Analyse approfondie des placettes	21
4.1. Profil pédologique 1 (P1)	21
4.2. Profil pédologique 2 (P2)	23
4.3. Profil pédologique 3 (P3)	25
4.4. Profil pédologique 4 (P4)	27
4.5. Profil pédologique 5 (P5)	29
4.6. Profil pédologique 6 (P6)	31
4.7. Eléments traces métalliques	33
5. Interprétation des résultats	33
5.1. Analyse physique des sols	33
5.2. Analyse biologique des sols.....	36
5.3. Analyse chimique des sols	37
6. Bilan de l'évaluation du potentiel agronomique.....	37
7. Conclusion	38
8. Lexique	40
9. Annexes	41
Annexe A : Référence sur les éléments traces métalliques (ppm ou mg/kg)	41
Annexe B : Évaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (Méthode VESS).....	42
Annexe C : Analyses de sol	43

Table des tableaux

Tableau 1 : Cultures dans un rayon de 1 et 2 km. GC : Grandes cultures, SNE : Surfaces non exploitées. Source : RPG 2022	10
Tableau 2 : Relevés pénétrométriques (en kPa) partie 1/2	19
Tableau 3 : Relevés pénétrométriques (en kPa) – Partie 2/2	20
Tableau 4 : Notation agronomique du profil pédologique - P1	22
Tableau 5 : Analyse de la texture du sol 0-20cm - Profil pédologique - P1.....	22
Tableau 6 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique - P1.....	22
Tableau 7 : Notation agronomique du profil pédologique P2	24
Tableau 8 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P2.....	24
Tableau 9 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P2.....	24
Tableau 10 : Notation agronomique du profil pédologique P3	26
Tableau 11 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P3.....	26
Tableau 12 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P3.....	26
Tableau 13 : Notation agronomique du profil pédologique P4	28
Tableau 14 : Analyse de la texture de sol - Profil pédologique P4.....	28
Tableau 15 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P4.....	28
Tableau 16 : Notation agronomique du profil pédologique P5	30
Tableau 17 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P5.....	30
Tableau 18 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P5.....	30
Tableau 19 : Notation agronomique du profil pédologique P6	32
Tableau 20 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P6.....	32
Tableau 21 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P6.....	32
Tableau 22 : Teneurs en éléments traces métalliques.....	33
Tableau 23 : Limitations culturales et profondeur du sol utile (à dire d'experts)	34
Tableau 24 : Limitation du potentiel du sol pour chaque point de prélèvement en fonction de la profondeur de sol.....	34
Tableau 25 : Récapitulatif des caractéristiques granulométriques des prélèvements (en %).....	35
Tableau 26 : Calcul de la réserve utile en eau de chaque profil pédologique	35
Tableau 27 : Notation visuelle de la bioturbation de chaque profil pédologique	36
Tableau 28 : Récapitulatif des analyses chimiques des prélèvements	37
Tableau 29 : Seuils de référence pour les éléments traces métalliques (ETM). PRA : Petite région agricole.....	41

Table des figures

Figure 1 : Localisation des zones d'étude.....	5
Figure 2 : Vue aérienne à différentes périodes : 2022	6
Figure 3 : Vue aérienne à différentes périodes : 2000	6
Figure 4 : Vue aérienne à différentes périodes : 1950	7
Figure 5 : Dénomination des parcelles agricoles du projet agrivoltaïque – Partie Est.....	8
Figure 6 : Dénomination des parcelles agricoles du projet agrivoltaïque – Partie Ouest.....	8
Figure 7 : Paysages sur la zone d'étude	9
Figure 8 : Cultures à 1 et 2 km. GC : Grandes cultures. Source : RPG 2022	10
Figure 9 Pénétrromètre électronique Fieldscout	12
Figure 10 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Est.....	12
Figure 11 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Ouest	13
Figure 12 : Tarière pour sondage pédologique	14
Figure 13 : Emplacement des sondages et fosses pédologiques – Partie Est	14
Figure 14 : Emplacement des sondages et fosses pédologiques – Partie Ouest	15
Figure 15 : Interprétation des valeurs de CEC (meq/100g).....	17
Figure 16 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Est.....	18
Figure 17 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Ouest	19
Figure 18 : Profil pédologique P1	21
Figure 19 : Profil pédologique P2	23
Figure 20 : Profil pédologique P3	25
Figure 21 : Profil pédologique P4	27
Figure 22 : Profil pédologique P5	29
Figure 23 : Profil pédologique P6	31
Figure 24 : Classification du potentiel agronomique du parcellaire	38

Références bibliographiques

Baize D., et al. Référentiel Pédologique 2008. *Roland*, 2009.

Boizard H., et al., Caractérisation au champ de la structure des horizons de surface des sols cultivés, dans Les sols et leurs structures, *Editions Quae - Synthèses*, 2013.

Jamagne M., et al., Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols. *Bulletin Technique d'Information*, 1977, 324-325.

Piron D., et al., Indicators of earthworm bioturbation to improve visual assessment of soil structure. *Soil and Tillage Research*, 2016, 173.

1. Contexte

1.1. Présentation du projet

Dans le cadre d'un projet agrivoltaïque à Bienné-les-Villages (53), Neoen souhaite identifier le potentiel de production et les caractéristiques agropédologiques des parcelles agricoles à aménager. Ce diagnostic permet d'une part d'établir un état des lieux initial avant mise en place d'installations photovoltaïques. D'autre part, connaître l'état du sol peut contribuer à raisonner les pratiques nécessaires pour maintenir une activité agricole performante et les qualités agronomiques de la parcelle.

Ce projet a pour objectif initial une installation photovoltaïque compatible avec une activité agricole, à l'intérieur d'une surface étudiée de 41.2ha. Intégrées dans un système ovin viande, les parcelles sont aujourd'hui valorisées en prairies, notamment pâturées par les ovins, et ponctuellement implantées en céréales ou féveroles. L'objectif est de maintenir le pâturage en coactivité avec les installations solaires, et ainsi rentrer dans le cadre de l'agrivoltaïsme.

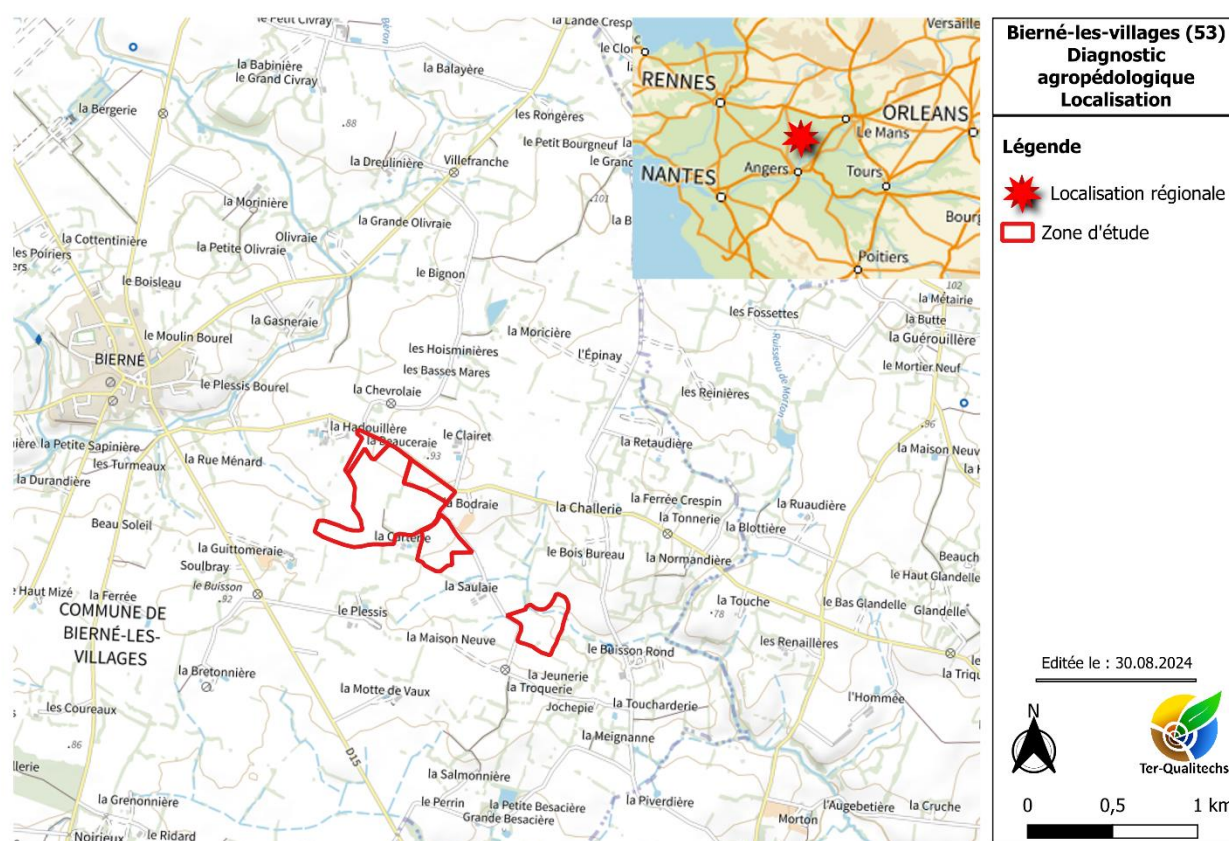


Figure 1 : Localisation des zones d'étude

1.2. Description du site



Figure 2 : Vue aérienne à différentes périodes : 2022



Figure 3 : Vue aérienne à différentes périodes : 2000

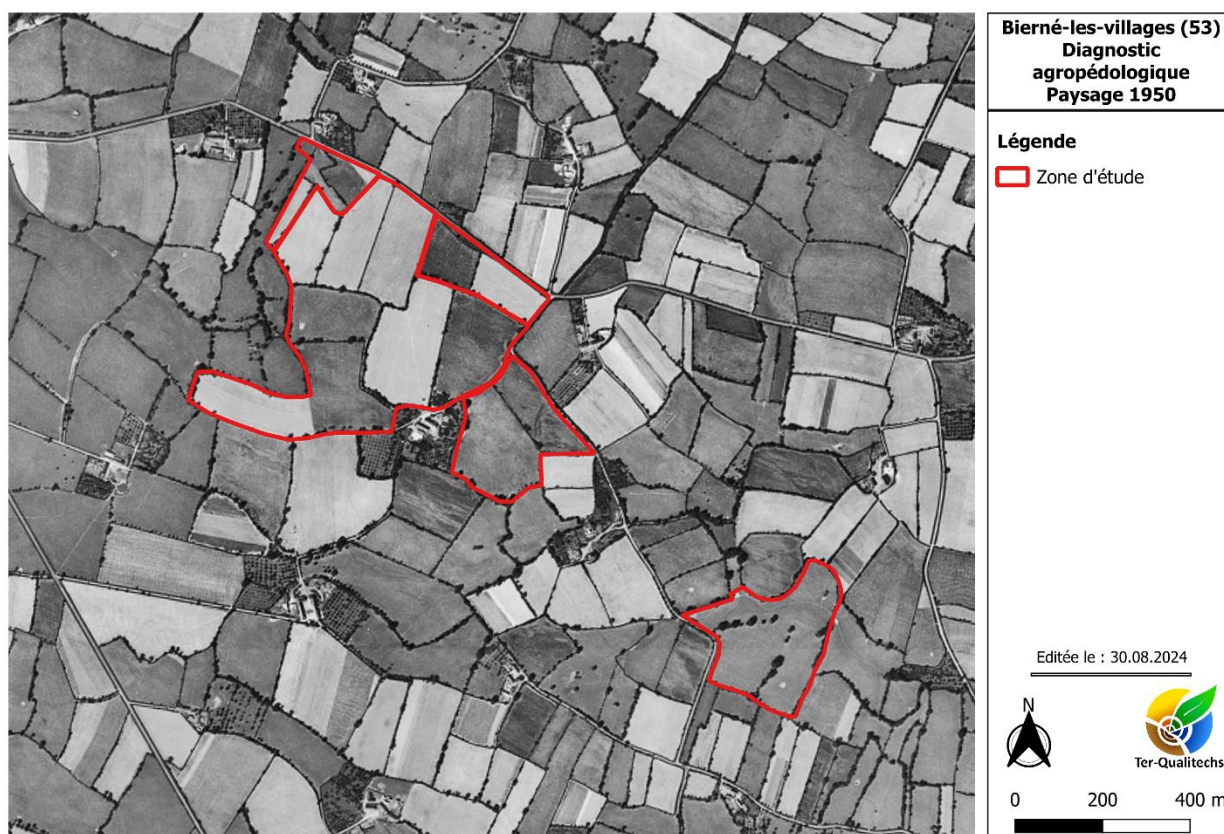


Figure 4 : Vue aérienne à différentes périodes : 1950

La zone étudiée se situe au Sud-Est du bourg de Bierné, classé comme commune rurale à habitats dispersés. Les paysages majoritairement agricoles sont constitués de vastes collines séparées par les différents cours d'eau comme le Béron, affluent de la Mayenne ou le Morton qui se jette dans le Baraize, puis la Sarthe. Bien que quelques parcelles agricoles se soient regroupées au détriment du bocage, le paysage agricole a peu évolué depuis 1950, notamment sur le site étudié. On remarque toutefois que les parcelles se sont regroupées au détriment du bocage. L'emplacement des bâtiments agricoles est également resté stable. Le principal changement est une céréalisation de l'assolement, avec un recul très net des surfaces en herbe.

Jean-Daniel Clémenceau est installé depuis 2005 au lieu-dit La Carterie à Bierné-les-Villages. Sa production d'ovins viandes en agriculture biologique s'appuie sur la production herbagère sur une partie de son parcellaire. Il produit par ailleurs des cultures de céréales, de légumineuses, le tout sur une SAU de 53ha. La majorité des cultures est destinée à l'alimentation du troupeau qui compte 350 brebis.

La plupart des surfaces sont aujourd'hui déclarées prairies permanentes depuis plus de 5 ans. La parcelle B étant en herbe depuis plusieurs décennies, sa flore est aujourd'hui très diversifiée, contrairement aux prairies les plus récentes, dominées par les espèces implantées. Les parcelles E, G, J et L sont encore en grandes cultures.

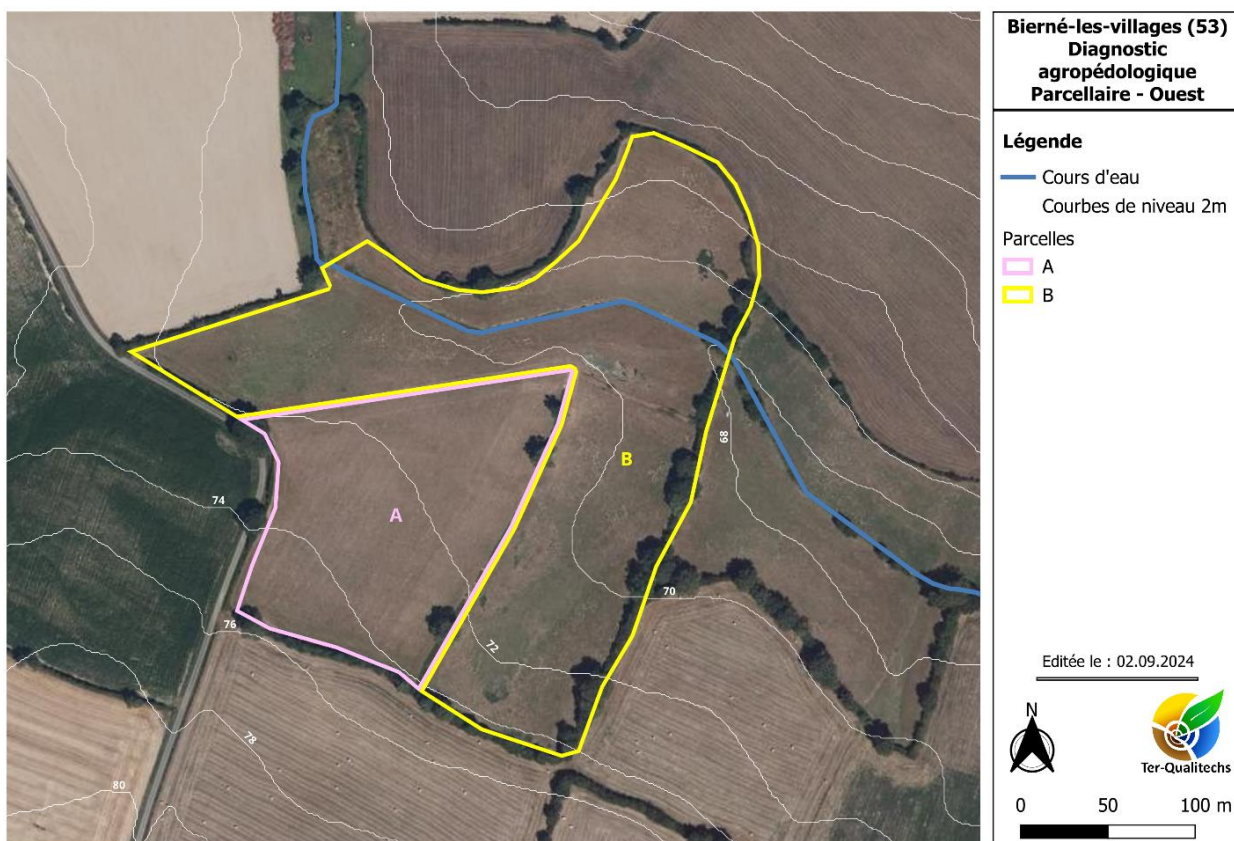


Figure 5 : Dénomination des parcelles agricoles du projet agrivoltaïque – Partie Est

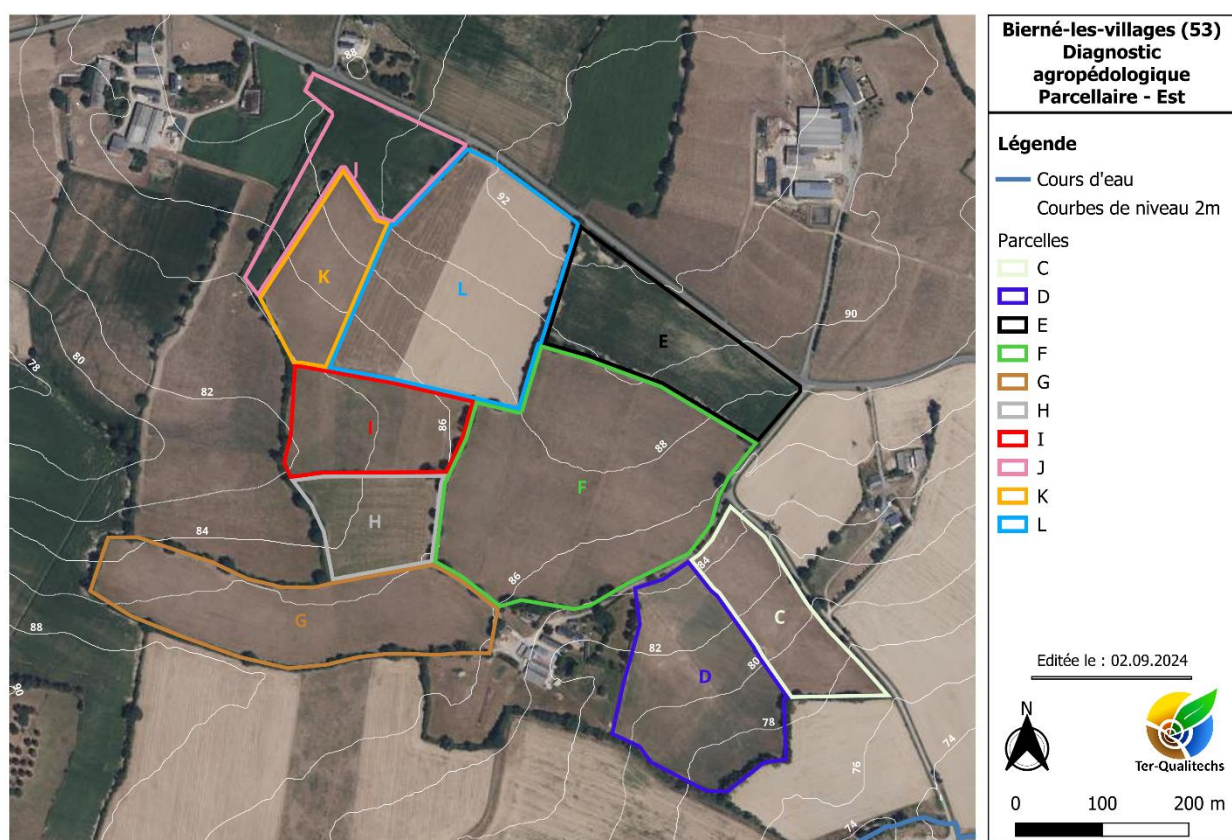


Figure 6 : Dénomination des parcelles agricoles du projet agrivoltaïque – Partie Ouest



1 : Brebis au pâturage – Parcelle D



2 : Prairie naturelle – Parcelle B



3 : Culture de maïs – Parcelle E

Figure 7 : Paysages sur la zone d'étude

1.3. Analyse du territoire

Les cartes et tableaux suivants présentent les cultures implantées à proximité du site d'étude.

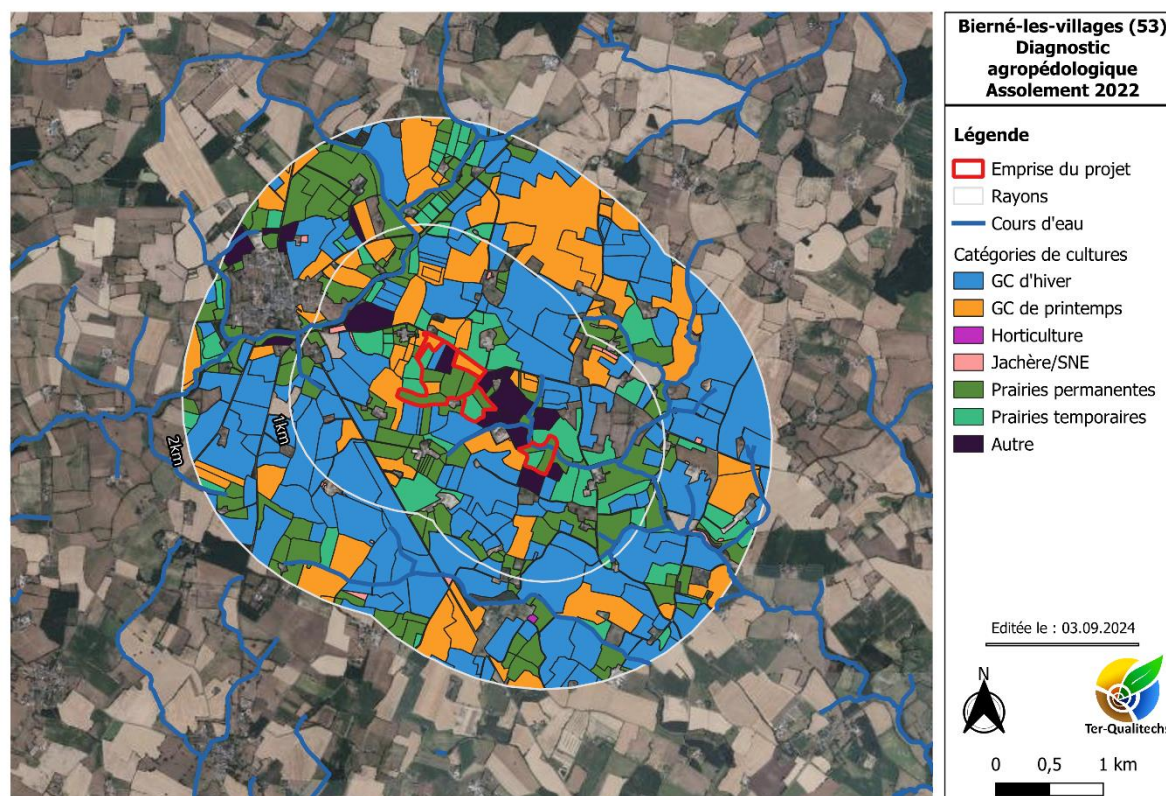


Figure 8 : Cultures à 1 et 2 km. GC : Grandes cultures. Source : RPG 2022

Rayon	1 km	2 km
GC d'hiver	44.05%	47.58%
GC de printemps	14.23%	20.25%
Prairies permanentes	21.50%	19.37%
Prairies temporaires	13.64%	8.80%
Horticulture	0.00%	0.03%
Jachère/SNE	0.54%	1.04%
Autre	6.04%	2.94%
% Surface totale	87.17%	86.17%

Tableau 1 : Cultures dans un rayon de 1 et 2 km. GC : Grandes cultures, SNE : Surfaces non exploitées. Source : RPG 2022

Les catégories de cultures composant les assolements dans les rayons de 1 et 2 km autour du site sont très proches. On remarquera toutefois que la proportion de prairies diminue légèrement à mesure que l'on s'éloigne du site, au profit des grandes cultures de printemps. Ces dernières sont principalement situées le long des cours d'eau et des bâtiments agricoles. En effet, la proximité des cours d'eau est susceptible d'apporter des contraintes réglementaires préjudiciables aux cultures annuelles (produits phytopharmaceutiques, pratiques de fertilisation, ...), ainsi qu'une humidité, voire des inondations rendant ces parcelles peu praticables et productives. Ces parcelles sont concentrées au plus près des exploitations herbagères, facilitant l'accès au pâturage depuis les bâtiments. La surreprésentation des cultures d'hiver par rapport aux cultures de printemps suggère qu'une part importante de la surface agricole déclarée est correctement drainée, avec un potentiel de production adapté à des cultures annuelles exigeantes (colza, ...).

2. Méthodologie

2.1. Typologie des données et organisation de l'étude

Des prises de données via les exploitants, mesures et observations de terrain ont été réalisées afin d'évaluer le potentiel agronomique des secteurs candidats à l'implantation de panneaux solaires :

- a) Analyse des données bibliographiques existantes sur le territoire :
 - Cartes pédologiques locales,
 - Cartes des zones humides potentielles,
 - Autres cartes identifiées.
- b) Echange avec les exploitants concernés :
 - Description du site, historique,
 - Identification de zones particulières sur le parcellaire concerné,
 - Identification d'aménagements existants (drains, puits, clôtures, irrigation, etc...),
 - Pratiques agricoles, potentiels de production moyens.
- c) Description générale des parcelles :
 - Topographie (orientation, pente...),
 - Homogénéité,
 - Environnement (haies, fossés...).
- d) Description pédologique des parcelles :
 - Mesure de la résistance du sol à la pénétration (pénétrömètre électronique),
 - Exploration des caractéristiques pédologiques du sol (profondeur, pierrosité, structure, etc...) et de leur répartition intra-parcellaire.
 - Réalisation de profils pédologiques dans les zones les plus représentatives identifiées. Les fosses sont creusées avec des outils manuels afin d'observer une coupe horizontale ou « profil » de sol.
 - Les données issues de ces profils sont complétées par des analyses de terre sur l'horizon 0-20cm, correspondant à la profondeur la plus en interaction avec les cultures et les pratiques associées :
 - Analyse granulométrique de sol sur l'horizon 0-20 cm,
 - Analyse chimique du sol pour mesurer la fertilité du sol : % de matières organiques, la capacité d'échange cationique (CEC), le pH du sol, la teneur en éléments minéraux...
 - Analyse en éléments traces métalliques (ETM) pour évaluer les risques sanitaires et de phytotoxicité.

L'ensemble de données collectées nous permettra d'évaluer le potentiel de production et ses variations sur l'emprise du projet agrivoltaïque de manière objective et réaliste. Les outils utilisés sont les suivants : bêche, mètre, couteau, pénétrömètre électronique, tarière.

Pour rappel, il n'existe aucune méthodologie officielle permettant l'évaluation du potentiel agronomique d'une parcelle, d'un îlot ou d'un domaine agricole. Ter-Qualitechs s'appuie sur son savoir-faire, ses 30 ans d'expérience, sa R & D, et son expertise terrain, pour étudier et interpréter l'ensemble des éléments concernés, et ainsi livrer une analyse objective des potentiels agronomiques des sols.

2.2. Mesures de terrain

Les mesures des différentes caractéristiques du sol effectuées *in situ*, sont organisées en plusieurs phases, en fonction des techniques mobilisées :

Relevés pénétrométriques

Les relevés pénétrométriques sont effectués par un pénétromètre électronique Fieldscout (Figure 9), permettant de mesurer la résistance à la pénétration du sol jusqu'à 45cm de profondeur. Cette donnée, décrit le potentiel de colonisation du sol par les communautés lombriciennes et les systèmes racinaires des espèces végétales cultivées ou candidates à l'implantation. On la considère également comme un proxy de l'état de compaction du sol, apportant ainsi des informations sur son état structural. Une pierrosité importante peut toutefois rendre difficile la réalisation d'une campagne de mesures pénétrométriques.



Figure 9 Pénétromètre électronique Fieldscout

Les relevés pénétrométriques, peuvent être dissociés des autres points de mesures et produire une information qualitativement et spatialement complémentaire.

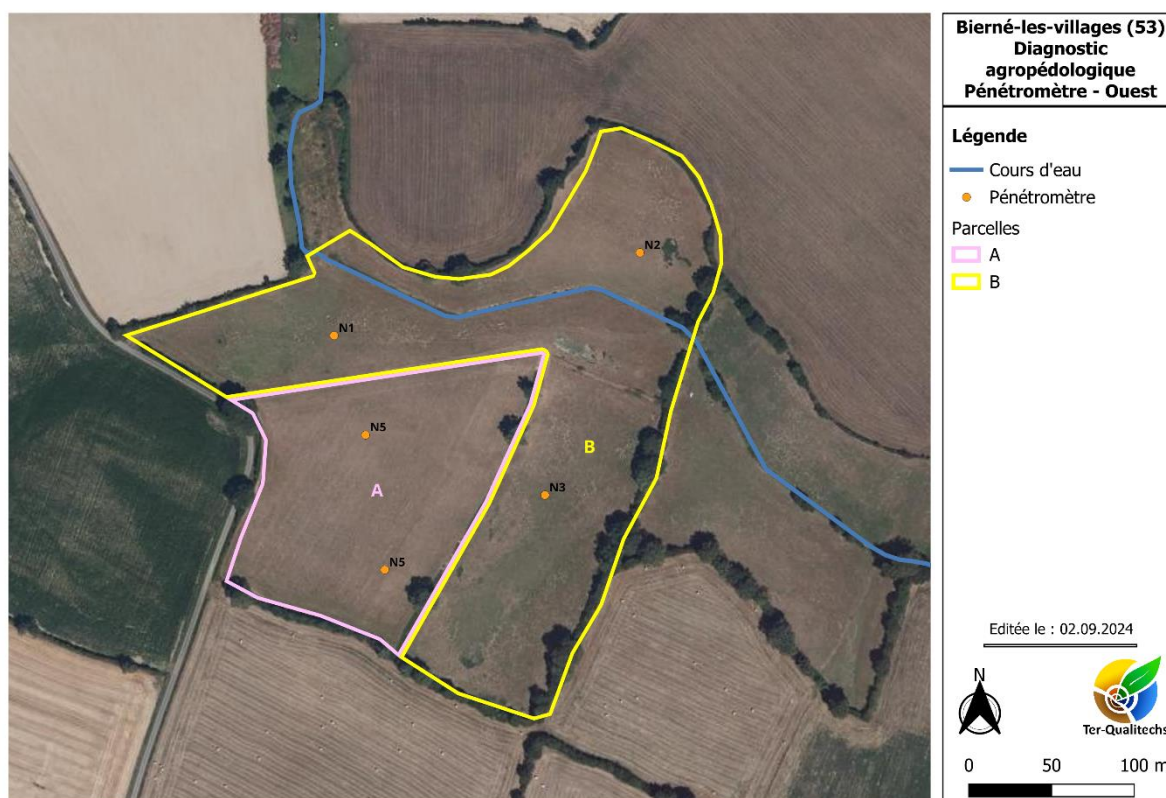


Figure 10 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Est

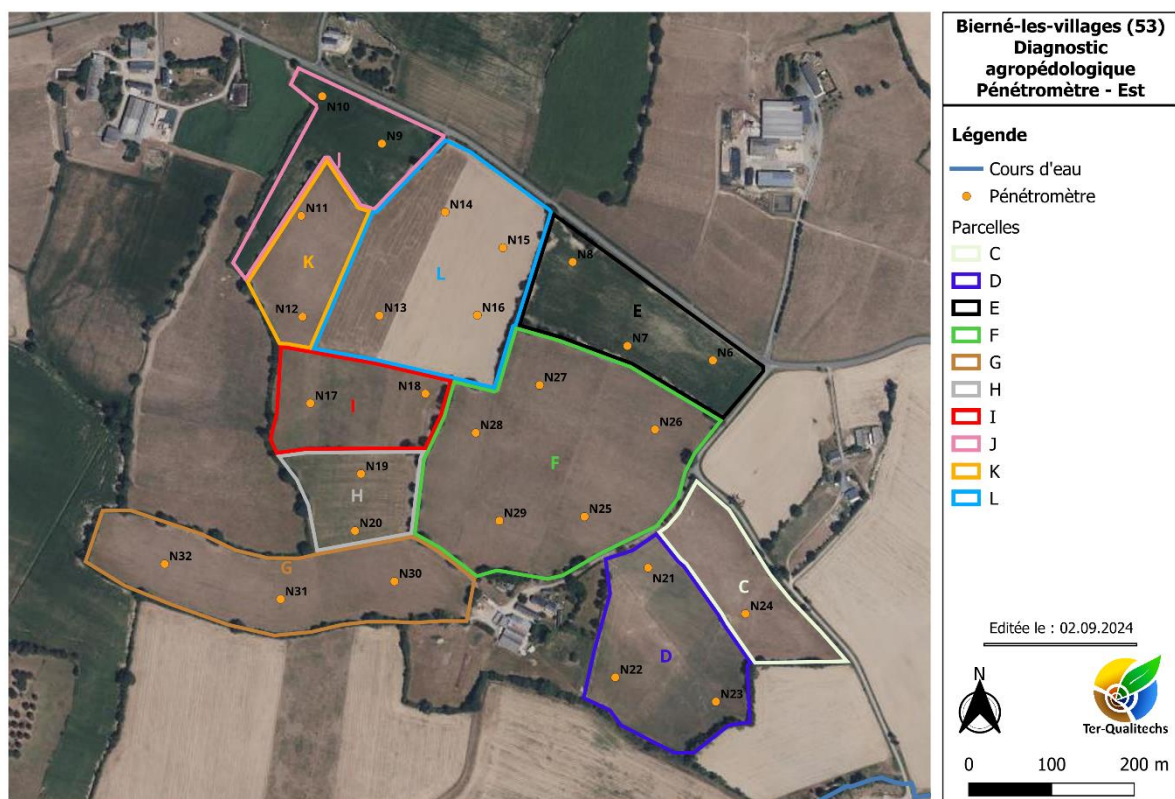


Figure 11 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Ouest

Sondages

Effectués à la tarière, ils consistent à extraire une par une des carottes de sol d'environ 20cm jusqu'à atteindre une profondeur d'un mètre ou un horizon impénétrable, définissant ainsi la profondeur de sol. Les sondages permettent d'estimer l'hétérogénéité des sols du site, en étudiant par une description visuelle et tactile, les variations spatiales des propriétés du sol. Le plan d'échantillonnage est élaboré en fonction des différences paysagères (pentes, position dans la pente, zones humides, proximité des bâtiments, ...), d'occupation du sol (prairies permanentes plus ou moins anciennes, grandes cultures, accès d'engins agricoles, pâturage, ...) et d'usages (travail du sol, amendements, rotations, ...). Il est ensuite adapté *in situ* à mesure que se précise la répartition des unités homogènes de sol. Les relevés pénétrométriques sont complémentaires des sondages car le sol est systématiquement compacté dans les carottes, ce qui ne permet pas l'évaluation du niveau de compaction réel.

Les sondages, en plus d'apporter des informations sur le sol des parcelles étudiées, permet de positionner les fosses pédologiques sur des emplacements représentatifs.



Figure 12 : Tarière pour sondage pédologique

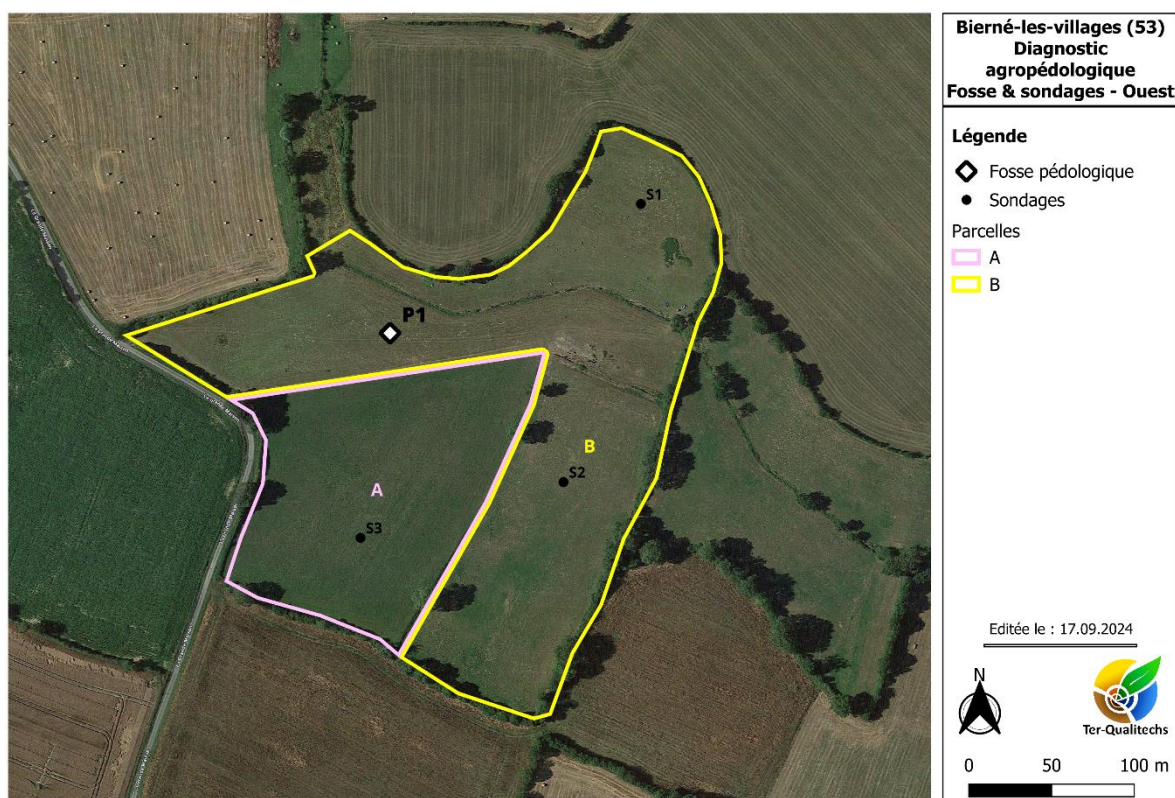


Figure 13 : Emplacement des sondages et fosses pédologiques – Partie Est

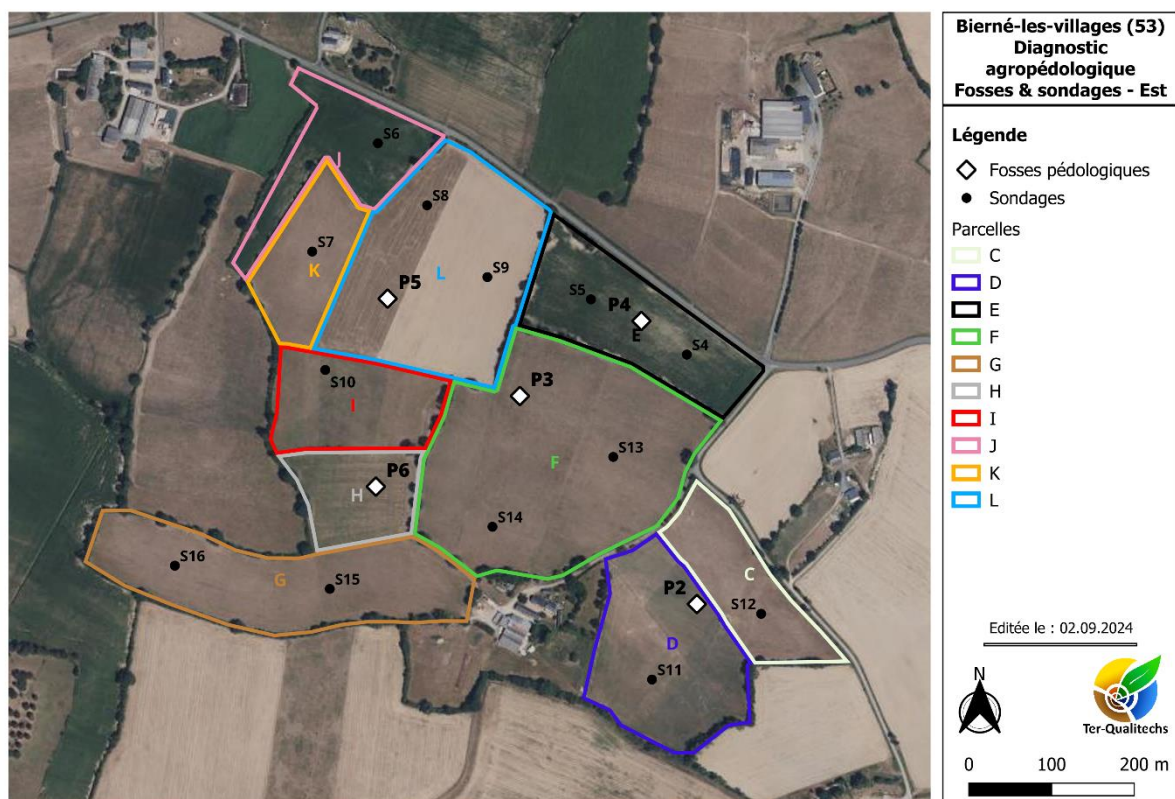


Figure 14 : Emplacement des sondages et fosses pédologiques – Partie Ouest

Fosses pédologiques (ou profil cultural)

Leur réalisation implique de creuser, à l'aide d'outils manuels (bêche, pelle, pioche, ...), une fosse d'environ 40cm de large pour 70cm de long et d'une profondeur définie par la rencontre d'un horizon suffisamment résistant à la pénétration. Ces fosses permettent d'estimer de nombreux paramètres du sol, dont l'identification et la spatialisation des horizons, la description de la structure du sol et des signes d'activité biologique. En outre, le profil cultural est la technique permettant de produire les supports visuels les plus adaptés pour présenter l'organisation et les caractéristiques observables du sol.

Remarque : Les outils employés n'ont pas les mêmes capacités de pénétration du sol. Ils ne permettent donc pas d'atteindre la même profondeur. Le pénétromètre est limité à 45cm. Les fosses pédologiques ne permettent pas une densité de points satisfaisante pour mesurer la profondeur compte tenu de sa variabilité. Les sondages paraissent donc les plus pertinents pour estimer la profondeur de sol. Ceux-ci permettent d'atteindre au maximum un mètre. Cette profondeur est atteignable par certains systèmes racinaires d'espèces cultivées, mais ne contribue que marginalement à leur alimentation. Au-delà d'un mètre, la profondeur n'est plus un critère majeur de potentiel de production agricole.

Prélèvements pour analyses de laboratoires

Toutes les fosses pédologiques sont associées à un prélèvement de terre réalisé à la tarière. Selon la situation, des analyses complémentaires peuvent être réalisées sur d'autres emplacements. Les différentes analyses de sol sont réalisées par un laboratoire agréé, et l'interprétation des résultats est réalisée par Ter-Qualitechs. À chaque échantillon de terre est associé une analyse granulométrique et des résultats d'analyses chimiques. Seulement une partie des échantillons sont dosés en éléments

traces métalliques (ETM) car leur variabilité intra et inter-parcellaire est inférieure à celle des autres composantes chimiques pris en compte.

2.3. Paramètres physico-chimiques pris en compte

À ce jour, il n'existe pas de méthode officielle pour évaluer la valeur agronomique d'un sol. Toutefois, un sol avec une bonne productivité (quantité et qualité) et facile à cultiver (pentes, capacité de drainage, capacité à retenir l'eau, risque d'excès d'eau...) est considéré comme un sol avec une bonne valeur agronomique. Ainsi, un certain nombre de paramètres physiques et chimiques permettant une bonne exploration de racines et une bonne alimentation des plantes sont évalués :

- **Profondeur de sol** : épaisseur de sol explorable par les racines (jusqu'à 1 mètre), mesuré à la tarière.
- **Pierrosité** (en % du volume total) : les pierres sont des matériaux grossiers inertes sans capacité de rétention de l'eau, des éléments minéraux. De plus, la présence de pierres rend l'exploitation des terres plus difficile.
- **Texture du sol** : Proportion en argiles, limons et sables du sol, ce qui conditionne sa productivité potentielle mais aussi sa capacité à être travaillé mécaniquement pour l'implantation des cultures. L'analyse granulométrique évalue la texture sur terre fine, soit sur échantillon séché et dépourvu d'éléments grossiers.
- **Réserve utile en eau** : Quantité d'eau qu'un sol peut retenir et qui reste potentiellement accessible aux cultures. Il s'agit donc d'un indicateur de la capacité du sol à maintenir une alimentation hydrique en cas de précipitations limitées. Ce facteur dépend entre autres de la profondeur du sol, de sa pierrosité et de sa texture.
- **Hydromorphie** : Un excès d'eau à certaines périodes de l'année peut être préjudiciable pour les cultures. Des parcelles hydromorphes empêchent la mise en place de certaines cultures comme le colza. L'hydromorphie se repère grâce aux traces morphologiques, visuellement identifiables, dues à ces excès d'eau.
- **Structure** : Arrangement observable des éléments solides du sol, en particulier des agrégats, de leur porosité, ... La notation s'effectue sur une échelle de 1 à 5 (Sq1 à Sq5) adaptée de la méthode VESS ou Évaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (Annexe B).
- **pH** : Un des principaux indicateurs de fertilité d'un sol. Un sol trop acide peut pénaliser certaines espèces cultivées, qui perdent alors en productivité et compétitivité. À partir d'un pH inférieur à 5,5, les hydroxydes d'aluminium libérés peuvent provoquer une forte phytotoxicité. À l'inverse, un sol basique peut limiter la biodisponibilité d'éléments nutritifs. Un amendement calcique et basique (chaux, carbonates, ...) peut corriger l'acidité du sol. Toutefois, il n'est pas possible de réduire le pH d'un sol basique pour se rapprocher de la neutralité (pH=7), son pouvoir tampon étant généralement trop important.

- **Teneur en matières organiques** (%MO) : Conditionne la fertilité du sol, le maintien de sa structure, son activité biologique (micro et macro-organismes), ainsi que sa capacité de rétention des éléments nutritifs (CEC, azote, phosphore,) et de l'eau.
- **Teneur en éléments minéraux** : Azote, phosphates, calcium, magnésie et potasse, ...
- **Capacité d'échange cationique** (CEC) : Définit la capacité de réserve du sol en cations échangeables (potassium, magnésium, calcium...) avec les cultures. Cet indicateur traduit également la qualité des agrégats du sol et, par conséquent, leur résistance à la battance, au lessivage ou à l'érosion. La CEC dépend principalement de la nature et du taux des argiles présentes, ainsi que de la teneur en matières organiques du sol.

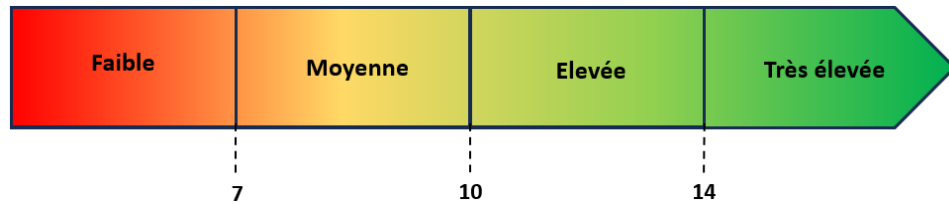


Figure 15 : Interprétation des valeurs de CEC (meq/100g)

- **Teneur en éléments traces métalliques** (ETM) : Associés au terme « métaux lourds », leur présence, au-delà de certains seuils, peut indiquer une pollution du site associée à des risques sanitaires et de phytotoxicité (Annexe A).

3. Relevés pénétrométriques

Les mesures montrent une grande variabilité de résistance à la pénétration, allant de 0 à 7038 kPa (Tableaux 2 et 3). On admet généralement qu'au-delà d'une résistance de 1400 kPa, la compaction devient limitante pour le développement racinaire des espèces cultivées et impossible au-delà de 2100 kPa pour la plupart des cultures. Ce seuil est atteint sur la majorité des sondages, à des profondeurs allant de 5cm à 45cm. Les profils pénétrométriques incomplets indiquent un refus dû à la rencontre d'un obstacle impénétrable, généralement une pierre, quelle que soit la dernière valeur de résistance à la pénétration.

La compaction peut être provoquée par des passages d'engins, notamment lors des interventions culturales, ou par le piétinement des animaux au pâturage. Ce phénomène est très dépendant de facteurs de risques liés aux propriétés du sol comme la granulométrie, le taux de saturation, le pH ou encore le pourcentage de matières organiques ou d'argile.

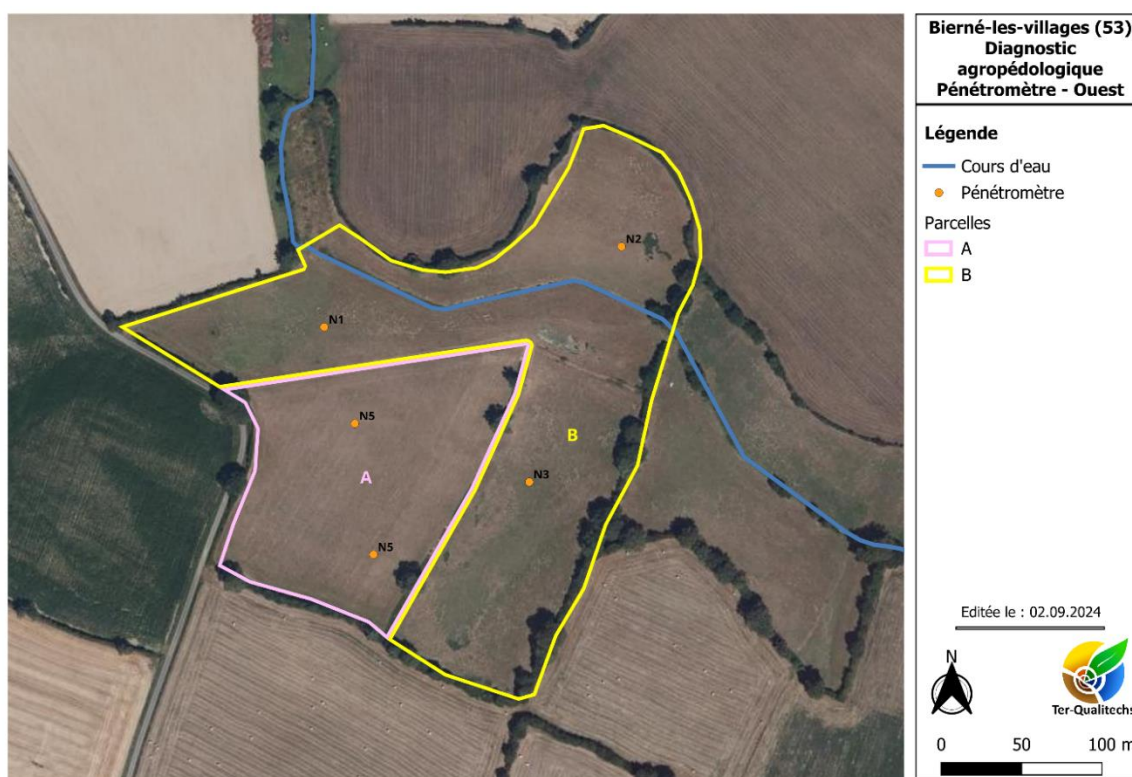


Figure 16 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Est

Les mesures N1 à N5 correspondent à la partie Ouest de la zone d'étude. Elles mettent en évidence un contraste fort de résistance à la pénétration d'un même type de sol. En effet, sur les mesures N2 et N3, on observe un sol meuble avec une hausse progressive mais naturelle de la compaction du sol avec la profondeur. Elle reste pas ou peu limitante pour le développement racinaire. Au contraire, les mesures N1, N4 et N5 montrent un sol superficiellement compacté, limitant fortement le potentiel agronomique. Cette différence s'explique par l'historique de grandes cultures de la parcelle A et la fonction de zone de passage d'engins et d'animaux, de la zone où la mesure N1 a été effectuée.

La parcelle E (N6 à N8) a été récemment travaillée pour l'implantation de l'actuelle culture de maïs. Pourtant, on y trouve quelques couches compactées dont la profondeur est variable. Il est probable qu'elles freinent le développement racinaire des cultures.

Profondeur (en cm)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
0.0	172	34	34	656	0	34	242	138	386	345	690	138	34	0	193	345
-2.5	483	345	552	897	1070	34	656	345	386	1365	794	1276	138	552	290	966
-5.0	1932	448	483	1208	2139	138	2380	656	1075	1420	1587	1484	1414	552	386	1449
-7.5	1794	380	483	1449	2174	345	2242	862	979	1365	2001	586	3484	380	510	1690
-10.0	2277	586	656	966	2001	759	2242	1276	1006	1516	1794	932	1863	828	676	1587
-12.5	2001	828	690	1104	2001	1000	1794	1414	937	1323	1725	794	2553	2139	1227	1794
-15.0	1725	862	862	1070	2036	1000	1414	1863	965	1365	1932	1173	2898	2346	813	1484
-17.5	1760	1311	794	1346	1587	966	1208	1484	1034	1268	2484	1863	3416	3002	676	1414
-20.0	1863	932	966	1863	1276	897	1414	1794	965	1696	2588	2277	2208	3692	634	1311
-22.5	1898	1346	1449	2208	966	1587	1276	2174	1089	1902	2898	2691	2553	3968	593	1138
-25.0	1966	1311	1518	2346	1104	2139	1138	2588	1599	1861	3036	2829	3381		1034	1173
-27.5	2346	1449	1656	2277	2588	2242	1242	2277	1778	2302	4347	2553				1242
-30.0	2208	1484	1690	3036	2864	2208	1449	2380	1379	1916		2691				1173
-32.5	2208	1484	1690	3002	3036	2036	1863	2001	1585	2288		2415				1311
-35.0	1932	1449	1449	3346	3002	2588	1484	1863	1379	2123		1966				1414
-37.5	2277	1414	1587	4106	3174	2691	1276	1828	1516	2178		2380				1346
-40.0	2346	1414	1656	2932	2829	2656	1346	1690		2220		2518				1380
-42.5	2312	1518	1414	6072	3864	1966	1622	1622		2027		2484				1242
-45.0	2726	1622	1449	6072	3864	2001	1587	1622		2109		2794				1242

Tableau 2 : Relevés pénétrométriques (en kPa) partie 1/2

Les parcelles J, K et L (mesures N9 à N16), sont davantage superficielles et caillouteuses. Entre les cailloux, le sol peut être meuble (N16) mais les refus, dus à la présence d'éléments grossiers (N9 et N15) ne permettent pas toujours d'évaluer la résistance à la pénétration sur toute la profondeur du sol.

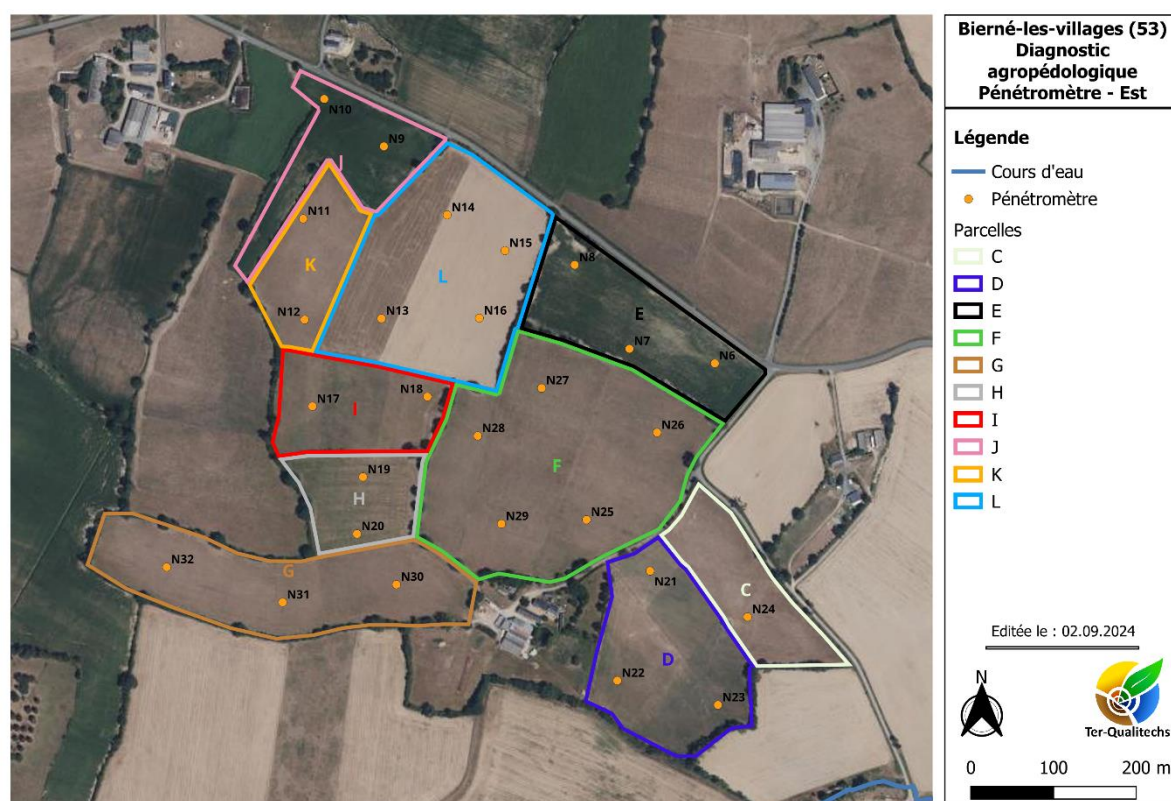


Figure 17 : Emplacement des mesures pénétrométriques – Partie Ouest

Profondeur (en cm)	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32
0.0	276	310	759	0	172	724	1311	276	1587	242	310	690	2588	586	34	138
-2.5	656	1484	1484	1484	1311	1242	1311	1656	1760	828	1449	794	2208	1725	34	1449
-5.0	1104	1208	2312	1346	1794	2208	1760	2208	2139	1414	1346	2001	2553	1484	1656	3002
-7.5	862	1000	2208	966	3346	1898	1794	2450	1449	1863	1380	2174	2346	2588	1346	2898
-10.0	380	1208	1966	1414	2380	1898	1518	2380	1518	1725	1449	1484	3312	2415	1070	1346
-12.5	448	1276	1863	1414	1449	2242	1587	3174	1690	2967	2139	2518	3312	2656	414	2036
-15.0	897	932	2139	1138	2691	2277	1587	3243	1932	2139	2312	2656	3208	2588	242	2380
-17.5	932	828	2312	690	2829	2242	1311	3381	1484	1828	1656	2898	3450	1863	310	2001
-20.0	1449	759	2346	621	3208	2346	1863	3381	1587	2001	1414	3312	3070	2450	242	2864
-22.5	1966	1173	3036	1966	3243	4450	2242	3346	2760	1898	1484	3002	3726	3208	380	3726
-25.0	3036	932	3105	2450	3484	3622	2174	3898	4864	2588	1794	1932	4830	3381	552	3898
-27.5	2829	1449	2518	2450	3760	3312	2242	3968	4864	2346	1932	3519	5278	3450	932	3208
-30.0	2553	2864	1587	2242	3622	3622	2070	4485		2174	1932	3450	7038	4140	1311	3174
-32.5	2208	2312	1725	1725	3243	3346	2450	4071		2415	2415	3346		2312	1622	3692
-35.0	2415	2174	4692	2001	2518	3174	3174	3070		2450	2242	3381		3898	2139	4485
-37.5	2588	2174	3933	1794	2450	3070	2829	2415		1863	1966	3450		4036	1932	
-40.0	2829	2174	3692	1484	2518	2967	2518	2484		1828	1966	3484		4002	1863	
-42.5	2898	2208	3554	1760	2346	3070	2380	2242		1932	1898	3278		3968	1794	
-45.0	2794	2450	3381	1760	3346	2691	2898	2691		1828	2139	3795		3968	1794	

Tableau 3 : Relevés pénétrométriques (en kPa) – Partie 2/2

La parcelle I (N17 et N18) est meuble en surface, propice aux cultures ayant un faible besoin en profondeur d'enracinement (racines traçantes). Un changement d'horizon permet d'observer que le sol est nettement plus compact et peu exploitable.

À l'exception de N31, qui pourrait être un artefact, tous les autres points de mesure font état de sols fortement compactés, limitant le développement racinaire de manière superficielle comme profonde. On remarque une zone particulièrement problématique vers N29, ainsi que des sols peu profonds en N25 et N32.

4. Analyse approfondie des placettes

La partie suivante constitue un recueil des indicateurs relevés lors de l'analyse terrain et des résultats des analyses de sol. Les éléments d'interprétation sont présentés dans les parties suivantes.

La lecture des profils pédologiques mobilise un champ lexical spécialisé, explicité dans le Lexique et dans le référentiel pédologique 2008 (Baize et al. 2009). Les classes de textures sont définies en fonction du triangle GEPPA à 16 classes.

4.1. Profil pédologique 1 (P1)

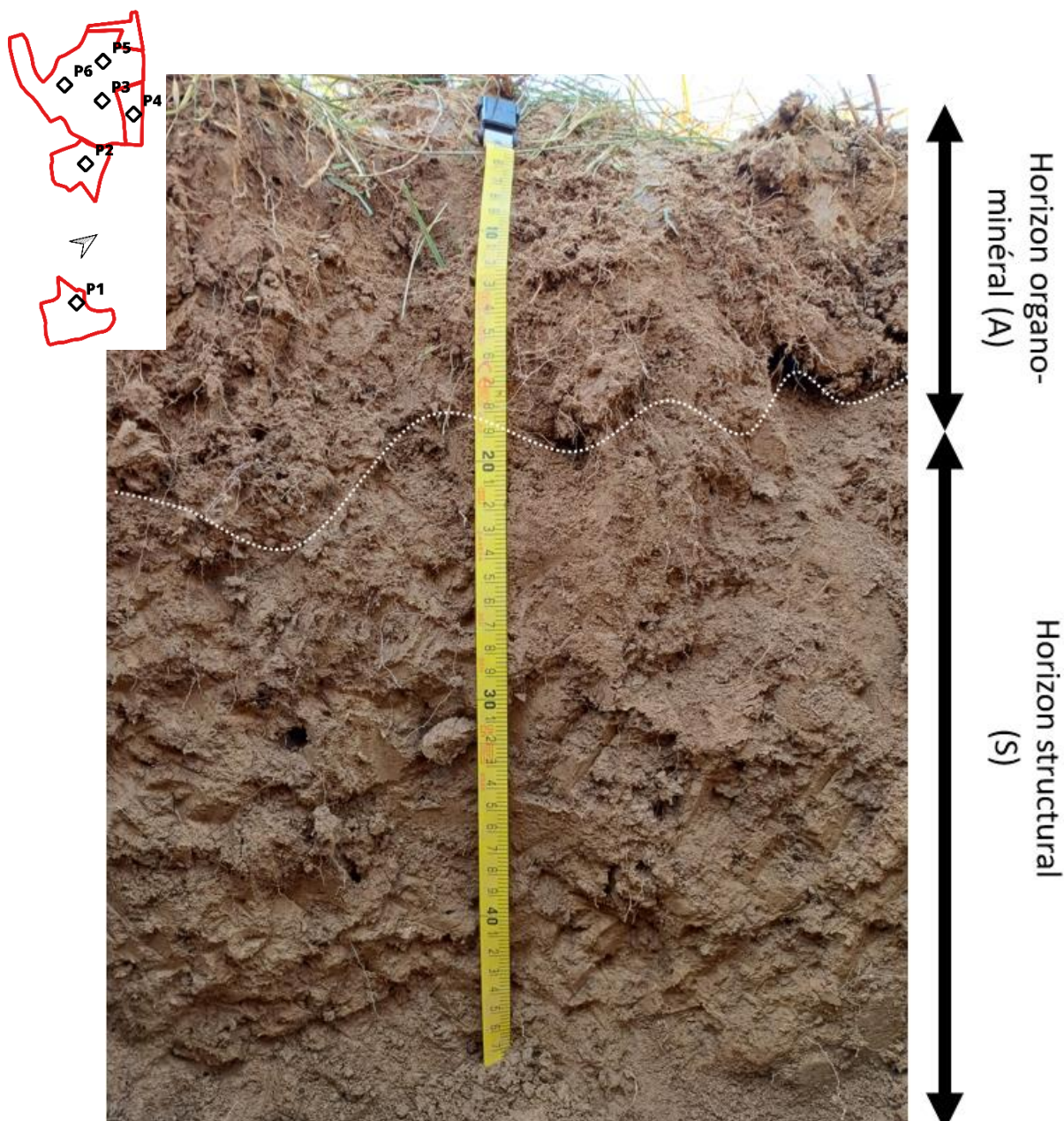


Figure 18 : Profil pédologique P1

Le profil P1 est le seul réalisé dans la partie Est du site (Figure 13). Bien que légèrement compacté par les passages répétés d'animaux ou de véhicules, il reste marqué par une structuration naturelle avec une différenciation nette en 2 horizons. Le premier horizon organo-minéral (A) est particulièrement riche en matières organiques organisées par une activité biologique intense. L'entretien de cette structure par les réseaux racinaires des espèces prairiales variées permet, en association avec l'action de la faune du sol, (lombrics, ...) d'apporter la matière organique assez profondément, jusqu'à 20cm environ.

Toutefois, cette apparence grumeleuse disparaît progressivement pour un sol avec encore quelques traces de matières organiques, nettement plus rares, et une densité plus importante. Il s'agit d'un horizon structural (S).

Notation agronomique du profil

Horizons	Structure	Activité biologique	Note Sq
0-20cm	Petits agrégats qui se désagrègent facilement, friables	Chevelu racinaire assez dense avec des galeries lombriciennes nombreuses	Sq2
20-45cm	Structure compacte	Rares racines, essentiellement au niveau des macropores, galeries lombriciennes, ...	Sq4

Tableau 4 : Notation agronomique du profil pédologique - P1

Analyse de la texture

Argile (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Classe de texture
15.4	35.6	17.6	11.0	20.3	Limons sablo-argileux

Tableau 5 : Analyse de la texture du sol 0-20cm - Profil pédologique - P1

L'analyse de texture du premier profil pédologique réalisé indique un sol composé de limons sablo-argileux. Pour autant, la proportion de sables est suffisante pour limiter les risques de battance, de tassement et d'érosion, qui sont en conséquence faibles.

Analyse chimique

CEC (meq/100g)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ Olsen (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Saturation (%)
9.8	3.2	6.8	13	89	141	96.0

Tableau 6 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique - P1

L'analyse chimique indique une CEC correcte et un taux de matière organique plutôt élevé. Le taux de saturation, proche de 100%, indique un entretien régulier en amendements calciques et basiques. En conséquence, le pH est favorable aux productions végétales en place. Si le taux de magnésium est suffisant pour tout type de culture, ce n'est toutefois pas le cas du taux de potasse, insuffisant, même pour des cultures faiblement exigeantes. Ce manque peut provoquer des blocages du magnésium en retour. D'autre part, le phosphore est également très faible et devrait être amené à un minimum de 50 mg/kg, afin de soutenir la croissance de la plupart des espèces cultivées.

4.2. Profil pédologique 2 (P2)

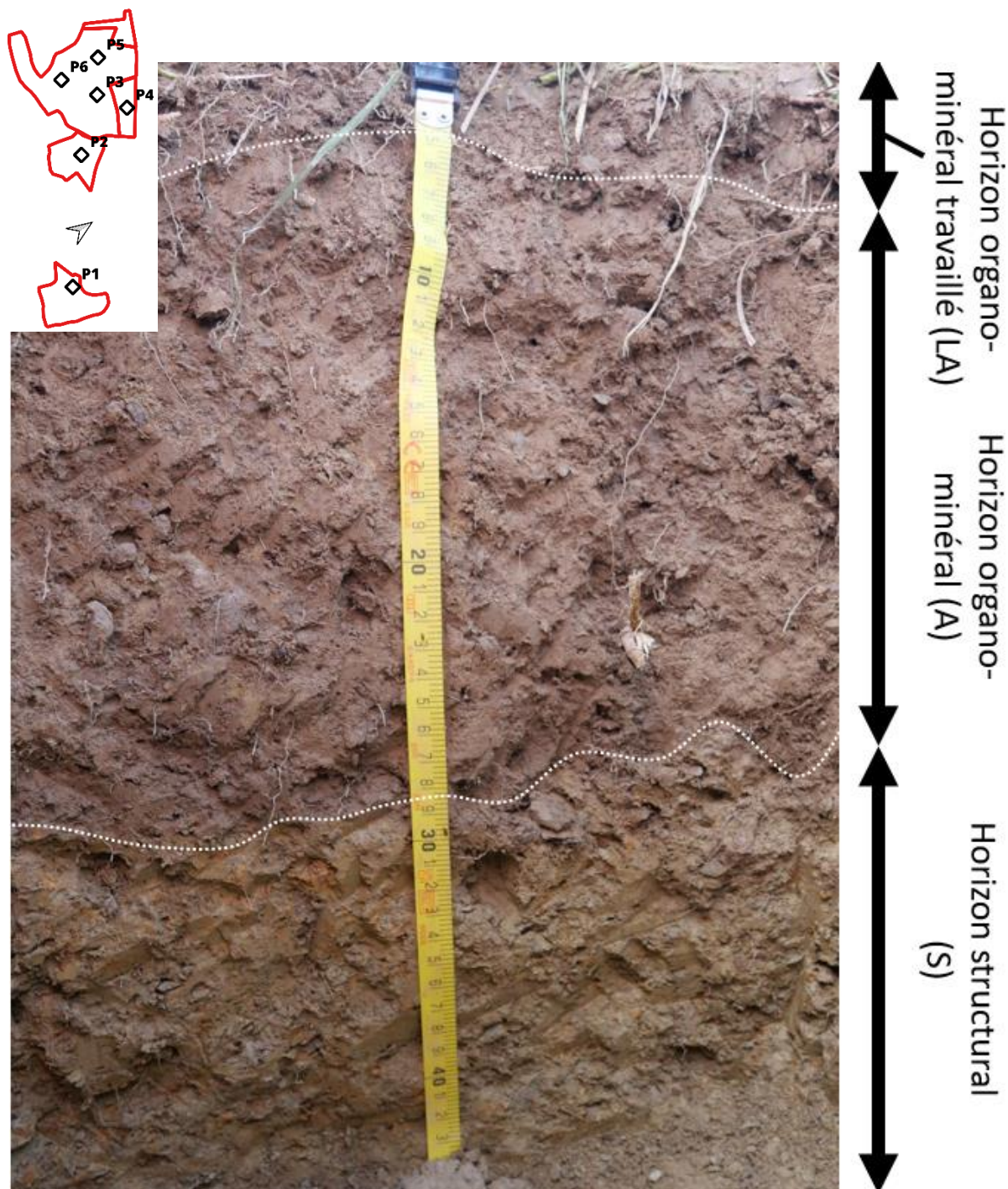


Figure 19 : Profil pédologique P2

Sur le profil P2, on observe un sol marqué par les pratiques culturales, notamment par une forte compaction qui rend le sol peu pénétrable. Le profil est peu colonisé par le système racinaire des espèces implantées, et les amendements, dont la matière organique, restent en surface. Cette particularité explique la teinte plus sombre de l'horizon (LA) qui est presque exclusivement influencé par les pratiques culturales. L'horizon (A) est intermédiaire vers l'horizon structural (S), sans activité biologique, et typique d'un brunisol.

Notation agronomique du profil

Horizons	Structure	Activité biologique	Note Sq
0-30cm	Dense avec fissures et quelques pores. Dans l'ensemble peu poreux.	Rares racines et galeries lombriciennes.	Sq3
30-45cm	Structure très compacte. Pas de porosité.	Activité biologique presque inexistante.	Sq5

Tableau 7 : Notation agronomique du profil pédologique P2

Analyse de la texture

Argile (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Classe de texture
16.1	37.1	21.2	11.3	14.3	Limons sablo-argileux

Tableau 8 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P2

L'analyse de texture du second profil pédologique réalisé indique un sol composé de sables argilo-limoneux. Il s'agit d'un sol assez battant, nécessitant une certaine vigilance face aux aléas climatiques.

Analyse chimique

CEC (meq/100g)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ Olsen (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Saturation (%)
8.8	2.8	6.7	26	197	163	>100

Tableau 9 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P2

Sur cet échantillon, la CEC est moyenne, mais suffisante pour assurer un stockage correct du magnésium, potassium et calcium. Ce dernier élément est d'ailleurs présent en excès, saturant la CEC. Ce phénomène indique un chaulage récent, et un entretien adapté de la fertilisation calcique, ce qui rend le pH optimal. Les apports de potassium et magnésium sont également très bien pilotés. On note toutefois un manque de phosphore qui nécessite d'adapter la stratégie de fertilisation.

4.3. Profil pédologique 3 (P3)

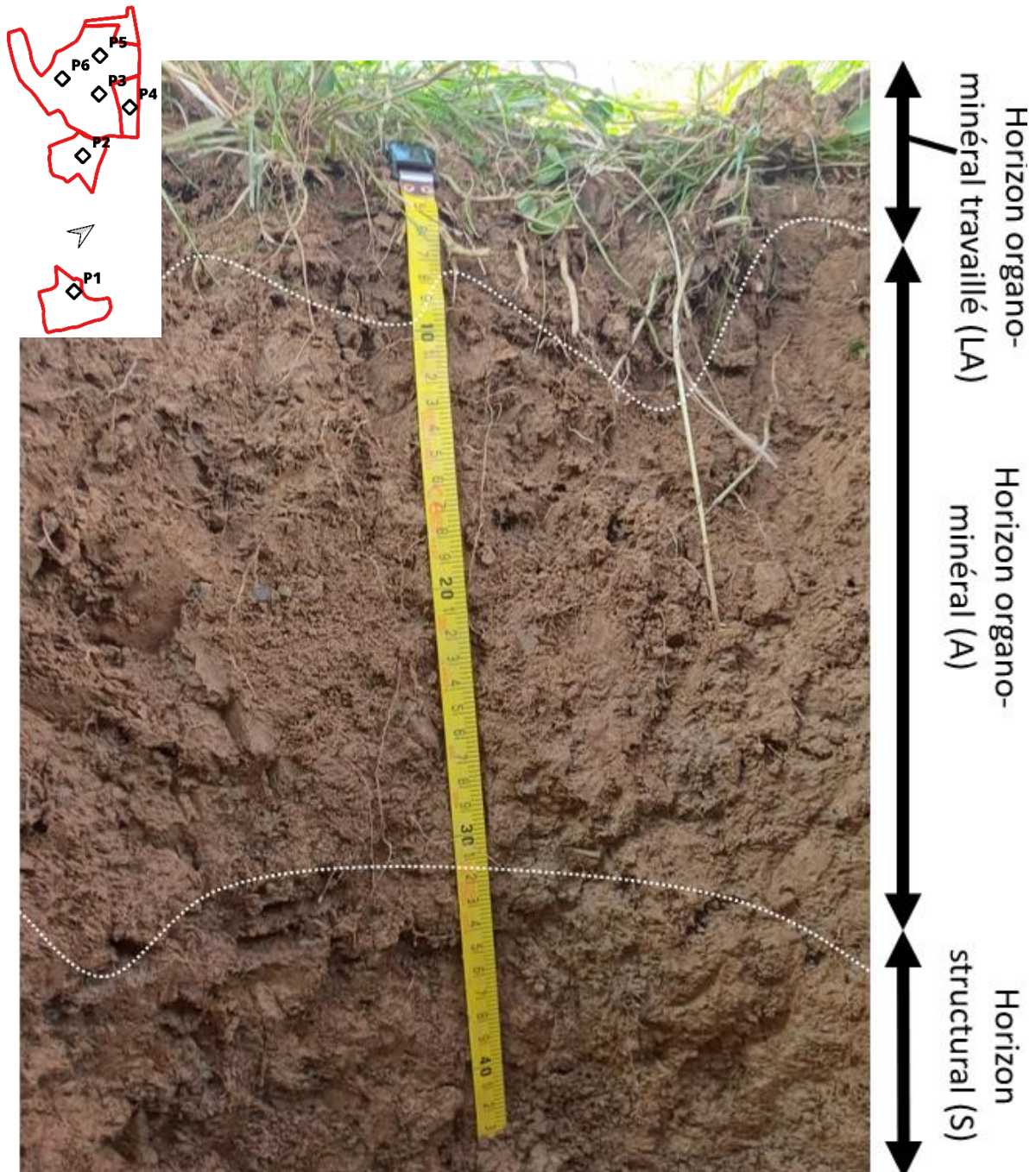


Figure 20 : Profil pédologique P3

Sur le profil P3 on observe un premier horizon organo-minéral (LA) particulièrement brun, du fait d'un taux très élevé en matières organiques. La matière organique reste majoritairement concentrée en surface, notamment à cause d'une compaction significative. Elle a néanmoins partiellement migré plus en profondeur le long de galeries lombriciennes et canalicules racinaires, s'associant aux matières minérales, composant ainsi l'horizon (A). De plus, les complexes organo-minéraux sont responsables de la formation d'agrégats dont les contours sont bien visibles sur la Figure 20. Au-delà de 30cm de profondeur, le sol s'éclaircit. Il s'agit d'un horizon structural (S) qui, bien que moins marqué que sur le profil P2, permet d'identifier un brunisol.

Notation agronomique du profil

Horizons	Structure	Activité biologique	Note Sq
0-30cm	Mélange de mottes et d'agrégats de tailles variables.	Quelques racines et galeries lombriciennes.	Sq3
30-40cm	Mottes fermées subangulaires	Peu de traces d'activité biologique.	Sq4

Tableau 10 : Notation agronomique du profil pédologique P3

Analyse de la texture

Argile (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Classe de texture
22.8	44.8	20.6	7.2	4.7	Limons argileux

Tableau 11 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P3

L'analyse de texture du troisième profil pédologique réalisé indique un sol composé de limons argileux. La proportion d'argile et de matières organiques limite considérablement les risques d'érosion et de tassement. Analyse chimique

CEC (meq/100g)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ Olsen (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Saturation (%)
13.2	5.7	5.8	37	365	314	80.3

Tableau 12 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P3

Le taux particulièrement élevé de matière organique améliore fortement la CEC qui est élevée. Les réserves en cations sont donc élevées et bien pourvues en potassium et magnésium. Toutefois, on peut remarquer que le taux de saturation de la CEC est faible. Cela indique un déficit en calcium qui pourrait être directement amélioré par un apport spécifique en amendement basique et calcique, corrigeant en même temps le pH particulièrement acide. Une attention particulière devra être portée sur la nutrition phosphatée du couvert, que les réserves actuelles ne permettent pas de soutenir.

4.4. Profil pédologique 4 (P4)

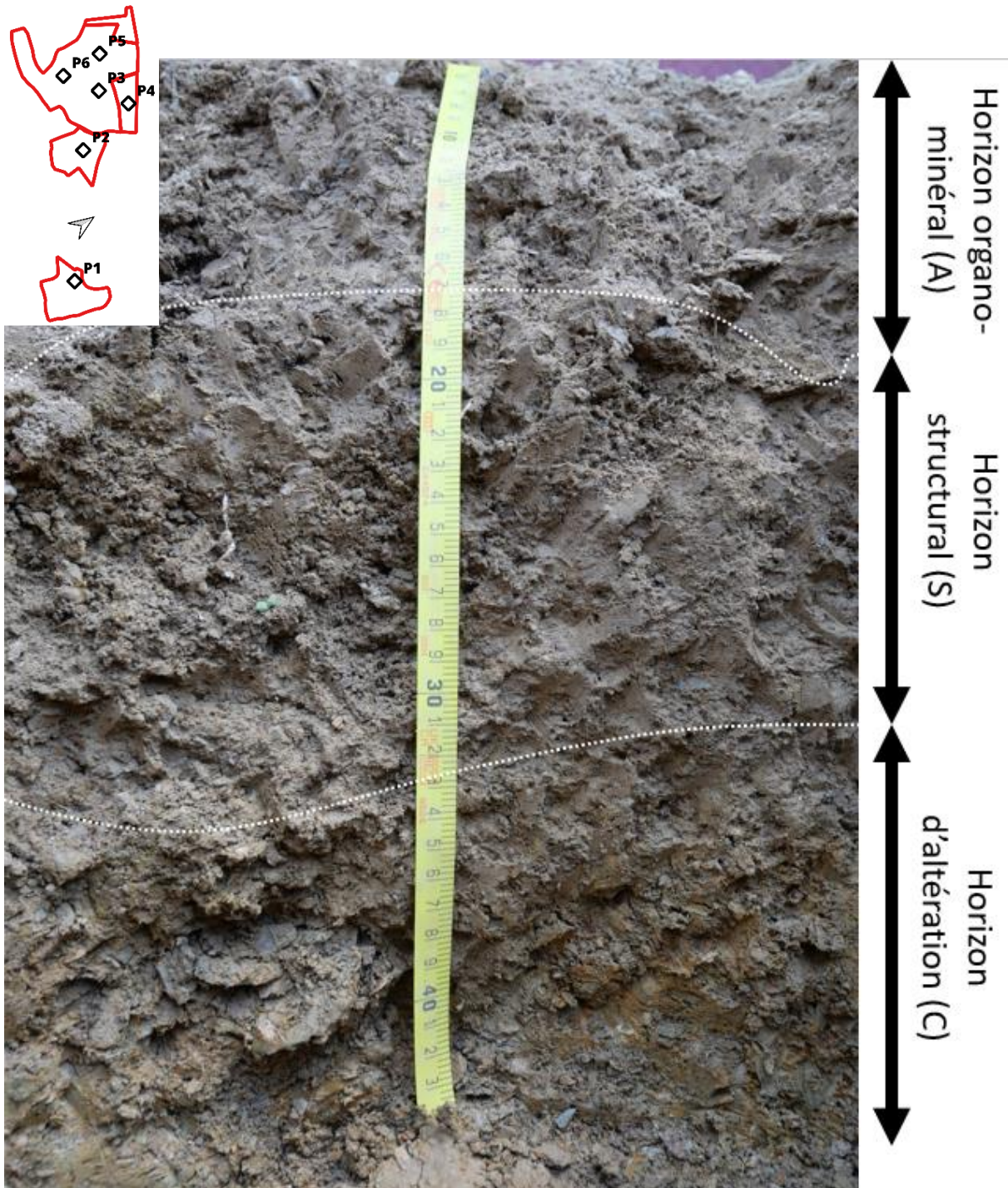


Figure 21 : Profil pédologique P4

Le profil P4, est celui d'un sol récemment travaillé pour l'implantation d'une culture de maïs. On observe une couleur peu différenciée entre les 2 premiers horizons, et une structure compacte liée à une prise en masse. Ainsi, le premier horizon organo-minéral se différencie par la faible activité biologique encore visible, ainsi que par la matière organique qui le compose. L'horizon structural (S), assez compact, laisse rapidement place à une association de sol hydromorphe et de schistes plus ou moins dégradés. Il s'agit d'un horizon d'altération (C), qui fait la transition avec la formation géologique sous-jacente.

Notation agronomique du profil

Horizons	Structure	Activité biologique	Note Sq
0-15cm	Structure compacte, mécaniquement morcelée.	Rares galeries de vers de terres.	Sq4
15-40cm	Structure compacte et prise en masse.	Pas de traces d'activité biologique	Sq5

Tableau 13 : Notation agronomique du profil pédologique P4

Analyse de la texture

Argile (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Classe de texture
15.3	31.4	33.6	9.7	10.0	Limons

Tableau 14 : Analyse de la texture de sol - Profil pédologique P4

L'analyse de texture du quatrième profil pédologique réalisé indique un sol composé de limons dont le risque de battance, érosion et tassement est particulièrement élevé. Ce risque est accru par la faible teneur en matières organiques.

Analyse chimique

CEC (meq/100g)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ Olsen (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Saturation (%)
7.3	2.1	6.3	42	263	225	97.2

Tableau 15 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P4

La CEC moyenne est en cohérence avec la classe texturale du sol, d'autant plus avec un taux de matières organiques assez bas. Malgré un taux de saturation de la CEC de 97.2%, le pH est tout juste suffisant. En effet, la fertilisation récente occupe la CEC avec une quantité élevée de potassium et magnésium, adaptée pour des cultures fortement exigeantes. Toutefois, cet enrichissement s'est fait au détriment du taux de calcium qui suggère un besoin d'amendement. Les réserves de phosphores sont à peine suffisantes pour des cultures faiblement exigeantes pouvant occasionner des carences et des retards de croissance. Après la culture de maïs actuelle, des amendements basiques, calciques et phosphatés sont recommandés.

4.5. Profil pédologique 5 (P5)

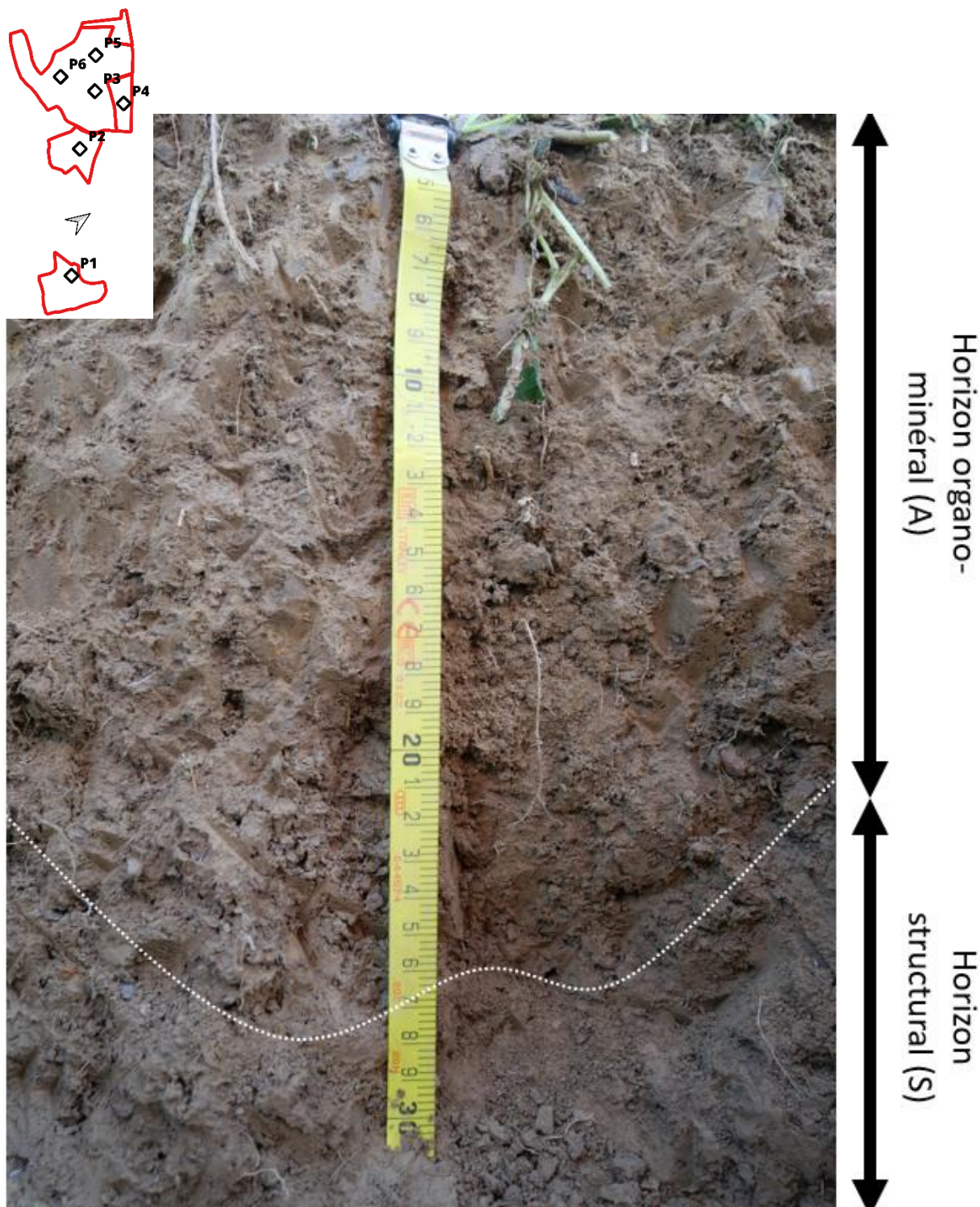


Figure 22 : Profil pédologique P5

Le sol du profil P5 est particulièrement compact et superficiel. D'après l'exploitant, cette parcelle est particulièrement séchante avec une faible réserve utile. Le mélange pluriannuel de légumineuses et graminées cultivé a tout de même permis le développement d'un tissu racinaire discret et de galeries lombriciennes de petites tailles sur les 25 premiers centimètres. Cet horizon organo-minéral (A) est succédé par un horizon très dense et difficilement pénétrable, correspondant certainement à l'horizon structural (S) d'un brunisol superficiel.

Notation agronomique du profil

Horizons	Structure	Activité biologique	Note Sq
0-25cm	Structure dense, mottes fermées angulaires à subangulaires.	Rares racines. Quelques galeries lombriciennes récentes.	Sq4
25-30cm	Structure très compacte, sans porosité visible.	Pas de traces d'activité biologique	Sq5

Tableau 16 : Notation agronomique du profil pédologique P5

Analyse de la texture

Argile (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Classe de texture
10.3	15.1	19.8	18.2	36.6	Limons sablo-argileux

Tableau 17 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P5

L'analyse de texture du cinquième profil pédologique réalisé indique un sol composé de limons sablo-argileux assez battants.

Analyse chimique

CEC (meq/100g)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ Olsen (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Saturation (%)
7.2	2.3	5.8	19	97	92	83.7

Tableau 18 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P5

L'analyse chimique du prélèvement P5 révèle une CEC moyenne et un taux de matière organique modeste. Le sol n'a pas été amendé récemment et on remarque des carences en potasse, phosphate et calcium. En effet, en dehors du magnésium, les réserves du sol en nutriments sont limitantes pour tout type de cultures. C'est également le cas du pH encore acceptable mais qui risque de provoquer dans les prochaines années des risques de toxicité aluminique s'il n'est pas corrigé.

4.6. Profil pédologique 6 (P6)

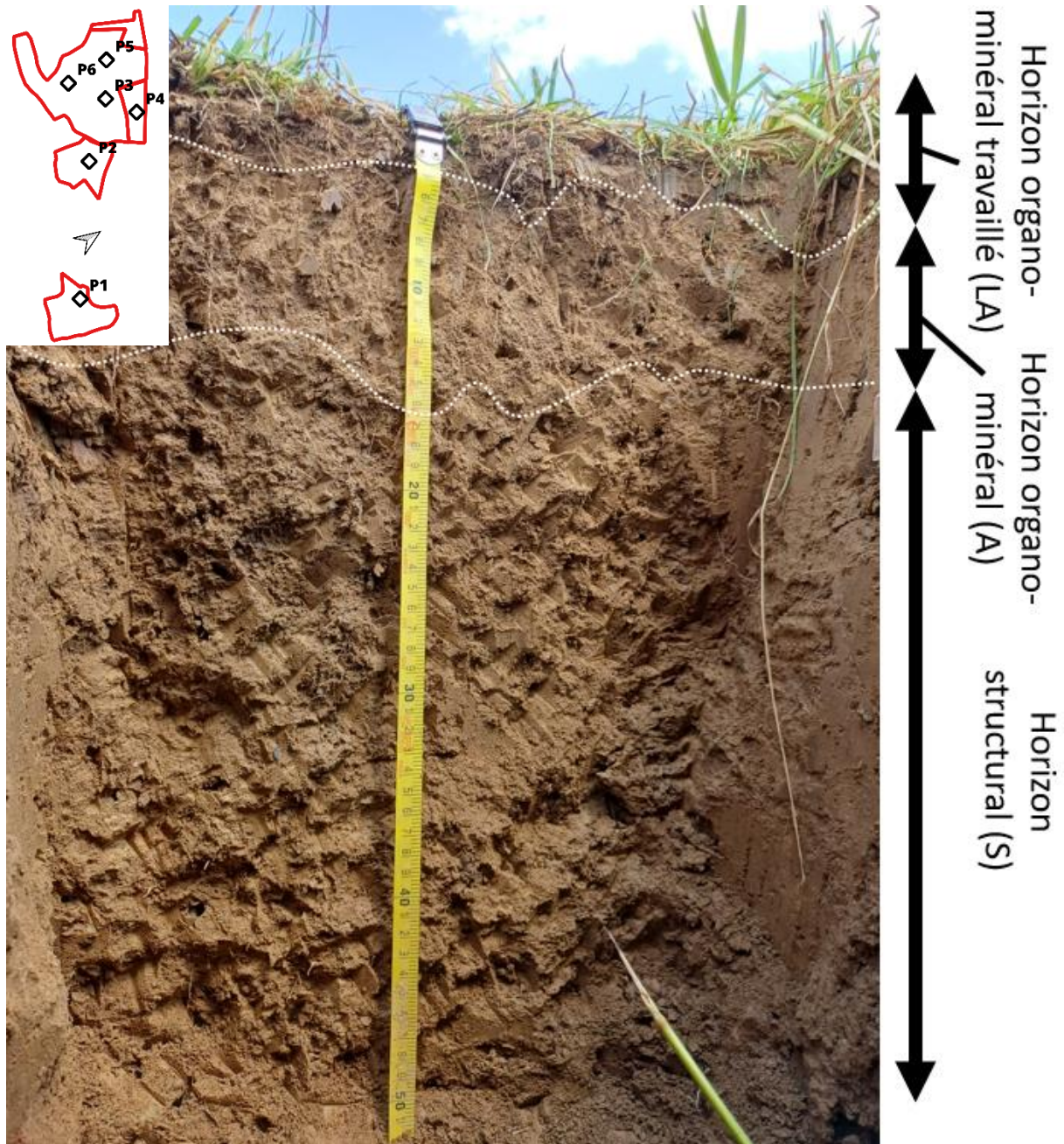


Figure 23 : Profil pédologique P6

Le sol du profil P6 est situé plus bas dans le relief que les parcelles adjacentes (Figure 14) ce qui explique qu'il soit plus profond. La prairie permanente a préservé le sol d'interventions mécanique susceptibles de provoquer un brassage de la matière organique. Elle s'est donc progressivement concentrée dans les premiers centimètres du sol, expliquant la couleur plus sombre du premier horizon (LA). On observe ensuite un second horizon organo-minéral (A), parcouru de chevelus racinaires éparses et de galeries lombriciennes assez nombreuses. Au-delà de 15cm, la structure devient plus compacte et lisse. Sur cet horizon structural (S), les traces d'activités biologiques sont progressivement moins visibles, mêmes si des lombrics sont présents jusqu'à 50 cm.

Notation agronomique du profil

Horizons	Structure	Activité biologique	Note Sq
0-15cm	Structure assez meuble, mélange de mottes ouvertes et fermées.	Présence de racines et de signes d'activité biologique.	Sq3
15-50cm	Structure compacte avec mottes fermées subangulaires.	Pas de racines, galeries lombriciennes et lombrics en diapause.	Sq4

Tableau 19 : Notation agronomique du profil pédologique P6

Analyse de la texture

Argile (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Classe de texture
16.7	39.5	26.8	7.8	9.3	Limons

Tableau 20 : Analyse de la texture du sol - Profil pédologique P6

L'analyse de texture du sixième profil pédologique réalisé indique un sol composé de limons très battants.

Analyse chimique

CEC (meq/100g)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ Olsen (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Saturation (%)
7.7	2.2	5.9	13	271	162	93.3

Tableau 21 : Analyse chimique de sol - Profil pédologique P6

L'analyse du profil P6 révèle un sol avec une CEC moyenne et un taux plutôt faible en matières organiques. La CEC est suffisamment pourvue en potasse et magnésium pour tout type de culture. Au contraire, la teneur en phosphore est très insuffisante pour tout type de culture, pouvant provoquer des carences et des manques. Le pH, plutôt bas, doit faire l'objet d'une attention particulière et d'un amendement d'entretien avant qu'il n'atteigne un seuil critique.

4.7. Eléments traces métalliques

Prélèvement	Cadmium (mg/kg)	Chrome (mg/kg)	Cuivre (mg/kg)	Mercure (mg/kg)	Nickel (mg/kg)	Plomb (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
P3	<0.5	28	16	<0.04	28	16	77
P5	<0.5	24	19	<0.04	27	17	73

Tableau 22 : Teneurs en éléments traces métalliques

Tous les éléments traces métalliques sont présents dans des proportions inférieures aux seuils de l'arrêté ministériel du 08 janvier 1998 (Annexe A) et de la moyenne de la petites région agricole (PRA) « Bocage Angevin (Mayenne) », sauf pour le Zinc et le Nickel des échantillons P3 et P5, ainsi que le Cuivre pour l'échantillon P5. Néanmoins, les teneurs étant inférieures aux seuils d'anomalies locaux (Vibrisse), elles sont le fruit d'une variabilité locale considérée comme naturelle. Elles ne représentent donc aucun risque sanitaire ou de phytotoxicité.

5. Interprétation des résultats

Les informations disponibles contribuent, avec les observations de terrain, à discriminer des zones au potentiel de terrain plus ou moins élevé, notamment :

- Le recueil de données cartographiques :
 - La vue aérienne et les paysages nous montrent une influence des pentes et des cours d'eau sur certaines parcelles.
 - Un historique de parcelles cultivées depuis plus de 75 ans avec des prairies implantées parfois depuis plus de 10 ans.
- Le témoignage de l'exploitant :
 - Des parcelles superficielles et séchantes, plus ou moins intensivement exploitées, avec des potentiels variés.
 - Des pâtures adaptées aux ovins.
 - Une production d'herbe suffisante pour le cheptel.

5.1. Analyse physique des sols

Les six profils pédologiques ont été réalisés à des emplacements représentatifs des parcelles. Cela a permis de caractériser les différents paramètres physiques du sol, qui ne sont pas perceptibles depuis la surface du sol :

- Profondeur du sol, qui correspond à la profondeur du sol exploitable par les racines. Un sol profond est moins sensible à la sécheresse.
- État structural, en contrôlant qu'aucun obstacle ne perturbe l'exploration racinaire : compaction, lissage (semelles), présence de pierres... Par exemple, une compaction du sol liée à un passage d'engins en mauvaises conditions (sol insuffisamment réssuyé...), peut rendre le volume de sol à disposition très difficilement franchissable par les racines.
- Indices d'activité biologique du sol (présence de bioturbations) : présence d'un certain nombre d'organismes vivants, une forte activité biologique s'accorde généralement avec un sol en « bonne santé » et productif.

	Degré de limitation		
	Faible	Moyenne	Forte
Profondeur en cm	>60cm	30-60cm	<30cm

Tableau 23 : Limitations culturales et profondeur du sol utile (à dire d'experts)

D'après le Tableau 23 : Limitations culturales et profondeur du sol utile (à dire d'experts), les sondages réalisés indiquent une profondeur de sol entre 20cm et plus de 70cm, ce qui engendre une limitation faible à forte du potentiel de rendement pour la plupart des grandes cultures et cultures fourragères. Les limitations associées à chaque sondage sont représentées dans le Tableau 244.

Sondage	Profondeur de terre en cm	Limitation du potentiel Céréales et pâturages
S1	65	Faible
S2	70	Faible
S3	50	Moyenne
S4	55	Moyenne
S5	50	Moyenne
S6	45	Moyenne
S7	40	Moyenne
S8	35	Moyenne
S9	40	Moyenne
S10	45	Moyenne
S11	20	Forte
S12	30	Moyenne
S13	35	Moyenne
S14	35	Moyenne
S15	50	Moyenne
S16	40	Moyenne

Tableau 24 : Limitation du potentiel du sol pour chaque point de prélèvement en fonction de la profondeur de sol

Les résultats montrent que la profondeur de sol est un facteur limitant. C'est certainement un des principaux facteurs portant préjudice au potentiel agropédologique du site. Le contexte climatique ne permet sans doute pas au sol d'assurer une continuité dans l'approvisionnement hydrique des cultures au cours des périodes sèches. Il s'agit donc de choisir d'implanter des espèces particulièrement résistantes au stress hydrique, sans quoi un système d'irrigation sera incontournable pour exploiter les cultures à leur plein potentiel. La réserve utile en eau d'un sol (RU) est la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante.

Calcul de la RU d'après Jamagne et Betremieux, 1977 : $RU = H \times TE \times (1 - \frac{EG}{100})$

- RU : réserve utile en eau exprimée en millimètre
- H : épaisseur du sol exprimée en centimètre
- TE : facteur ou indice de texture déterminé à partir de la classe de texture en mm/cm
- EG : éléments grossiers exprimés en pourcentage

Prélèvement	Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Terre fine	Classe de texture
P1	15.4	35.6	17.6	11.0	20.3	96.0	Limons sablo-argileux
P2	16.1	37.1	21.2	11.3	14.3	97.8	Limons sablo-argileux
P3	22.8	44.8	20.6	7.2	4.7	99.7	Limons argileux
P4	15.3	31.4	33.6	9.7	10.0	95.5	Limons
P5	15.1	31.6	19.7	10.9	22.7	95.5	Limons sablo-argileux
P6	16.7	39.5	26.8	7.8	9.3	97.6	Limons

Tableau 25 : Récapitulatif des caractéristiques granulométriques des prélèvements (en %)

Tableau 25Le Tableau 25 reprend les informations citées dans la partie 4, sur la granulométrie des prélèvements. Ils sont nécessaires au calcul de la réserve utile en eau des sols analysés (Tableau 266).

Prélèvement	H (cm)	TE mini (mm/cm)	TE maxi (mm/cm)	EG (%)	RU mini (mm)	RU maxi (mm)
P1	45	1.7	1.9	4.0	73	82
P2	40	1.7	1.9	2.2	67	74
P3	40	1.6	1.9	0.3	64	76
P4	45	2.2	2.4	4.5	95	104
P5	30	1.7	1.9	4.5	49	54
P6	50	2.2	2.4	2.4	107	117

Tableau 26 : Calcul de la réserve utile en eau de chaque profil pédologique

Les prélèvements associés aux observations des fosses permettent d'estimer la réserve utile en eau des sols du site. Elle est faible (<75mm) dans le cas de P2 et P5 à moyenne pour les autres prélèvements. La texture du sol est généralement favorable à une réserve hydrique élevée mais c'est avant tout le caractère superficiel qui défavorise les sols étudiés.

5.2. Analyse biologique des sols

En complément de la notation physique des mottes, une notation de la bioturbation a été effectuée. L'ISTRO (International Soil Tillage Research Organisation) * a retenu 4 catégories de bioturbation :

- B0 - pas de structure biologique visible ;
- B1 - présence de macropores - dont galeries de vers de terre - essentiellement ;
- B2 - présence d'un réseau de macropores et de déjections plus ou moins fraîches ;
- B3 - sol entièrement bioturbé ou presque, macropores, déjections fraîches ou intégrées aux agrégats.

Fosses pédologiques	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Notes de bioturbation	B1	B1	B1	B0	B0	B1

Tableau 27 : Notation visuelle de la bioturbation de chaque profil pédologique

L'interprétation est ensuite synthétisée à l'échelle de chaque horizon de sol préalablement identifié. Ainsi, la mise en relation de l'état physique et de la bioturbation au sein des mottes permet de rendre compte de l'action des vers de terre dans l'évolution de la structure du sol et d'identifier des passages privilégiés pouvant être utilisés par les racines de la culture pour traverser une zone tassée. Dans notre cas, les notes de bioturbation sont majoritairement de B1 (présence d'activité lombricienne), donc moyennes (Cf Analyse approfondie des placettes), voire de B0 dans le cas de P4 et P5. Seul P1 semble nettement plus propice à une activité biologique intense, probablement grâce à une gestion plus extensive que sur le reste du site. On peut noter que l'activité des lombrics ralentit du milieu d'été au début de l'automne, lorsque le sol devient trop sec et la température trop élevée. Ils sont alors susceptibles de descendre dans des horizons plus profonds et plus frais pour se mettre en diapause jusqu'au retour des pluies. Le comportement est dépendant de l'espèce et des conditions du milieu (météorologie particulièrement). La campagne de mesure s'est déroulée en juin sur un sol qui commençait à sécher, lors d'un pic de chaleur. Ces conditions sont plutôt celle d'une baisse d'activité lombricienne. Il est donc possible que l'activité biologique soit légèrement sous-estimée. Dans ce contexte, l'activité lombricienne sur le site est très variable.

* Piron D., et al., Indicators of earthworm bioturbation to improve visual assessment of soil structure. *Soil and Tillage Research*, 2016, 173.

5.3. Analyse chimique des sols

L'analyse chimique montre que les parcelles possèdent une teneur souvent importante en magnésium et potassium. Les pH sont dans une gamme de valeurs adaptées à la production fourragère.

Prélèvement	CEC (meq/100g)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ Olsen (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	MgO (mg/kg)	Saturation (%)
P1	9.8	3.2	6.8	13	89	141	96.0
P2	8.8	2.8	6.7	26	197	163	>100
P3	13.2	5.7	5.8	37	365	314	80.3
P4	7.3	2.1	6.3	42	263	225	97.2
P5	7.2	2.3	5.8	19	97	92	83.7
P6	7.7	2.2	5.9	13	271	162	93.3

Tableau 28 : Récapitulatif des analyses chimiques des prélèvements

Les CEC sont moyennes à élevées. Leur variabilité est très dépendante du taux de matières organiques pour ces sols dont la texture reste similaire. P3 se démarque toutefois avec un taux de sables beaucoup plus bas et un taux de MO particulièrement élevé. Cette valeur est stable dans le temps et conditionne fortement la fertilité chimique du sol. À l'exception du profil P3 et P5, toutes les parcelles ont été amendées récemment, et sont donc bien pourvues en magnésium et potassium, avec un taux de saturation important. Dans le cas de P6 et P4, un entretien basique et calcique est à prévoir pour le maintien de la structure du sol et de valeurs de pH adaptée. De plus, on remarque un déficit important en phosphate sur l'ensemble des échantillons. Favoriser des amendements riches en potasse plutôt qu'en phosphore permettrait de mieux optimiser la nutrition des cultures et le potentiel agropédologique du site.

6. Bilan de l'évaluation du potentiel agronomique

Plusieurs variables ont pu être mesurées et quantifiées de manière objective dans chacune des parcelles du projet agrivoltaïque.

- Analyse physique du sol
 - Texture de sol
 - Profondeur de sol (exploitable par les racines)
 - Notation de la structure du sol (note Sq)
 - Compaction
- Analyse chimique du sol : analyses de laboratoire
- Analyse biologique : notation de la bioturbation

Chacun de ces critères est pris en compte, en fonction de leur contribution respective à la fertilité du sol, pour aboutir à une classification des différents potentiels agronomiques du site. Ils permettent ainsi d'élaborer une carte discriminant les zones selon leur aptitude culturale, présentée en conclusion, Figure 24.

7. Conclusion

L'ensemble des parcelles a été apprécié à travers différents indicateurs pédologiques et agronomiques. L'analyse de ces indicateurs, associée au témoignage de l'exploitant et à l'expertise de Ter-Qualitechs, a permis de caractériser le potentiel agronomique du parcellaire, représenté sur Figure 24.



Figure 24 : Classification du potentiel agronomique du parcellaire

Parmi les caractéristiques influençant le potentiel agronomique, certaines telles que la texture sont intrinsèques au type de sol et ne peuvent pas être modifiées. D'autres, au contraire, peuvent être ajustées aux besoins des cultures par des pratiques agricoles adaptées.

La texture du sol est un atout fort sur l'ensemble du site, permettant notamment des sols faciles à travailler. Cela est dû au pourcentage important de limons qui, bien que variable, est toujours dominant. La dominante limoneuse est favorable puisqu'elle est associée avec un pourcentage d'argiles très homogène (entre 15 et 20%). Cet atout compense en partie la faible profondeur des sols du site qui est, quant à elle, défavorable au potentiel agronomique du site. Ainsi, la réserve hydrique des horizons de surface est bonne mais limitée par la profondeur exploitable par les plantes. Elle rend les cultures plus sensibles aux aléas climatiques et limite l'exploration racinaire ainsi que les réserves en nutriments.

Pour autant, la fertilisation est bien pilotée avec un chaulage adapté sur la majorité des échantillons analysés ainsi que des réserves en magnésium et potassium généralement bien pourvues. C'est avant tout l'apport d'éléments phosphatés qui permet d'améliorer le potentiel agronomique des cultures. D'autre part, un certain nombre de parcelles sont très compactées. Leur nature limoneuse, lorsqu'elle est associée à un taux de matières organique modeste, est favorable à des phénomènes de tassement

et de prise en masse qui peuvent être à l'origine de cette situation. Néanmoins, il est possible de corriger mécaniquement la compaction du sol, en particulier superficielle, tout en surveillant les facteurs susceptibles de la provoquer. L'aération du sol favorisera l'activité biologique qui reviendra d'elle-même sur les parcelles où elle est actuellement peu visible.

C'est avant tout les différences de profondeur et de compaction qui explique que le potentiel agronomique soit meilleur sur la partie Est du site, alors que la fertilisation a d'avantage d'importance dans la variabilité du potentiel à l'intérieur de la partie Ouest du site. Toutefois, une intervention mécanique pour corriger la compaction, est un levier important d'amélioration du potentiel agronomique sur l'ensemble du site. De la même manière, la gestion de la fertilité chimique, et notamment des amendements phosphatés, est un facteur clé du maintien d'une production agricole de qualité à la suite de la réalisation du projet, avec possiblement l'augmentation des rendements. Les modalités de pâturage, le choix des espèces et variétés implantées en cas de re-semis, seront aussi déterminants pour le maintien de la production sur l'ensemble du parcellaire.

8. Lexique

Amendements : Les amendements en agriculture sont utilisés dans le but d'améliorer ou maintenir la qualité des sols, aussi bien physique, chimique, qu'organique. Les amendements peuvent être d'origine minéral (carbonates ...) ou organique (fumier, lisier ...).

Assolement : Un assolement correspond à la répartition spatiale des cultures à un moment donné.

Battement de nappe : Variation de hauteur de la nappe d'eau d'un sol.

Bioturbation : Réarrangement physique du matériel pédologique ou des sédiments par le mouvement d'organismes vivant, comme la formation et l'entretien de galeries lombriciennes.

Éléments traces métalliques (ETM) : les éléments traces sont présents à une concentration de 0,1% dans la composition de la croûte terrestre continentale. Parmi ces 80 éléments environ, ceux qui sont des métaux sont appelés ETM.

Hydromorphie : Traces sur le profil de sol résultant d'un engorgement temporaire ou permanent d'un horizon pédologique. Elles témoignent du fonctionnement hydrique particulier du sol et favorisé par une forte compaction.

Pédologie : Science du sol.

Pénétrromètre : Outil permettant d'apprécier l'intensité et le niveau de tassement d'un sol en profondeur.

Profil cultural : Technique agronomique permettant d'évaluer l'état structural et biologique d'un sol (coupe verticale).

Rotation : Succession de plusieurs cultures sur une même parcelle.

Tarière : Outil permettant de réaliser des prélèvements ou carottes de sol à différentes profondeurs.

9. Annexes

Annexe A : Référence sur les éléments traces métalliques (ppm ou mg/kg)

Dosages	Seuil AM 01/98	PRA (moyenne)	Vibrisse (seuil d'anomalie)
Cadmium (Cd)	2	0.26	0.27
Chrome Total (Cr)	150	35.2	97.9
Cuivre (Cu)	100	17.1	34.8
Mercure (Hg)	1	0.11	0.088
Nickel (Ni)	50	19.5	53.5
Plomb (Pb)	100	17.2	62.0
Zinc (Zn)	300	65.3	123

Tableau 29 : Seuils de référence pour les éléments traces métalliques (ETM). PRA : Petite région agricole.

L'arrêté ministériel du 08 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées, est à ce jour la référence normative qui fait le plus consensus sur le seuil de risque de teneur en éléments traces métalliques dans les sols agricoles. C'est donc sur la base de cette référence que nous jugerons comme acceptable ou non les teneurs des sols étudiés. Cela dit, les risques sanitaires ou de phytotoxicité qui peuvent y être associé sont également déterminés par des facteurs pédologiques (%MO, pH, ...) dont les relations sont encore mal connues.

Pour détecter une potentielle pollution, il convient de se référer aux moyennes des sols locaux, issues majoritairement de plans d'épandages de boues de stations d'épuration, et en conséquence, avant tout de parcelles en grandes cultures, en pente faible ou nulles. Les vibrisses correspondent à l'expression statistique des seuils d'anomalies en éléments traces métalliques, calculés par carré de 16km de côté. C'est la résolution spatiale de la base de données RMQS à laquelle ils sont associés.

Annexe B : Évaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (Méthode VESS) *

VESS ₂₀₂₀ Version 10.06.2020	Couche entière: taille des agrégats/mottes	Agrégat/motte intact		Résistance (observable seulement en conditions d'humidité optimales, sinon se référer à "aspect après ouverture")	Ouvrir (briser) la motte	Taille et forme des agrégats/fragments ouverts	Aspect après "ouverture"		Racines et couleurs (racines observables uniquement quand les cultures sont bien établies)
		Taille	Forme				Forme	Porosité	
Sq1 Très bien (friable)		La plupart font moins de 6 mm [critère à exclure si travail du sol récent -- > se référer uniquement à la forme]	Grumeleux. Agrégats petits et arrondis	Agrégats se désagrègent très facilement avec les doigts	Motte poreuse (ouverte): motte colonisable par des racines. Lorsqu'on ouvre la motte, elle se brise de façon irrégulière, pas exactement ou on veut. Pour Sq1-2 la motte semble être composée de plus petits agrégats.		Les agrégats sont composés de plus petits agrégats, maintenus ensemble par des racines	Très poreux	Racines à l'intérieur des agrégats
Sq2 Bien (intact)		De 2 mm à 7 cm [critère à exclure si travail du sol récent -- > se référer uniquement à la forme]	Agrégats arrondis. Pas de mottes fermées	Agrégats se désagrègent facilement avec les doigts			L'ouverture des agrégats révèle quelques agrégats plus petits et des faces irrégulières	Poreux	Racines à l'intérieur des agrégats
Sq3 Moyen (ferme)		De 2 mm à 10 cm. 2/3 font plus de 2cm	Mélange d'agrégats arrondis de différentes tailles. Mottes anguleuses fermées aussi possible	La plupart des agrégats se désagrègent facilement entre les doigts			L'ouverture révèle des faces plus ou moins rugueuses. Possibilité de faces planes	Peu poreux. Présence possible de quelques macropores et fissures.	Racines en général dans les agrégats
Sq4 Mauvais (compact)		Environ 2/3 des mottes font plus de 10 cm. 1/3 des mottes peuvent faire moins de 7 cm	Motte fermée sub- angulaire. Possibilité de bords anguleux. Structure lamellaire ou fissurée	Assez difficile de briser les mottes avec une seule main			L'ouverture des mottes révèle des faces plutôt planes	Peu ou pas de porosité visible sauf macropores biologiques	Racines généralement regroupées dans les macropores et fissures ou autour des mottes fermées
Sq5 Très mauvais (très compact)		La plupart font plus de 10 cm	Motte fermée anguleuse	Très difficile de briser les mottes avec la main			Révèle des faces planes avec des bords anguleux. Possible de faire des cubes à bords nets	Non poreux. Porosité restreinte à quelques macropores et fissures	Zones anoxiques avec couleur gris- bleu possible . S'il y a des racines, elles sont uniquement dans les fissures ou autour des mottes

* Boizard H., et al., Caractérisation au champ de la structure des horizons de surface des sols cultivés, dans Les sols et leurs structures, *Editions Quae - Synthèses*, 2013.

Annexe C : Analyses de sol

Profil pédologique 1 (P1)

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	Résultats (en %)
▣ Argile	15.4
▣ Limons fins	35.6
▣ Limons grossiers	17.6
▣ Sables fins	11.0
▣ Sables grossiers	20.3
▣ Terre Fine	90.0

Texture (selon le triangle GEPPA à 16 classes) :

Limons sablo-argileux

Indice de battance :

1.4

2 - COMPLEXE ARGILO - HUMIQUE

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Humidité		%	2.5		
▣ Carbone Organique (Comb. sèche)	C	g/kg	18.5		
▣ CEC Metson	CEC	meq/100g	9.8		10.0
▣ Matières Organiques (Carbone * 1.72)	M.O.	%	3.2		3.0
▣ pH	pH	unité pH	6.8		6.5
▣ Azote Total Dumas	N	g/kg N	2.3		
Carbone / Azote	C/N		8.0		

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Phosphore assimilable Olsen	P2O5	mg/kg	13		50
▣ Calcium Echangeable (en CaO)	CaO	mg/kg	2383		2058
▣ Magnésium Echangeable (en MgO)	MgO	mg/kg	141		147
▣ Potassium Echangeable (en K2O)	K2O	mg/kg	89		140

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Calcium (en CaO)	Magnésium (en MgO)	Potassium (en K2O)
Résultat en meq/100g	8.51	0.71	0.19
Résultats en % de la CEC	86.8	7.2	1.9
Répartition idéale en % :	75	6-7	4-5

Votre taux de saturation

96.0

Profil pédologique 2 (P2)

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	Résultats (en %)
▣ Argile	16.1
▣ Limons fins	37.1
▣ Limons grossiers	21.2
▣ Sables fins	11.3
▣ Sables grossiers	14.3
▣ Terre Fine	97.8

Texture (selon le triangle GEPPA à 16 classes) :

Limons sablo-argileux

Indice de battance :

1.6

2 - COMPLEXE ARGILO - HUMIQUE

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Humidité		%	2.3		
▣ Carbone Organique (Comb. sèche)	C	g/kg	16.5		
▣ CEC Metson	CEC	meq/100g	8.8		10.0
▣ Matières Organiques (Carbone * 1.72)	M.O.	%	2.8		3.0
▣ pH	pH	unité pH	6.7		6.5
▣ Azote Total Dumas	N	g/kg N	2.0		
Carbone / Azote	C/N		8.3		

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Phosphore assimilable Olsen	P2O5	mg/kg	26		50
▣ Calcium Echangeable (en CaO)	CaO	mg/kg	2270		1848
▣ Magnésium Echangeable (en MgO)	MgO	mg/kg	163		132
▣ Potassium Echangeable (en K2O)	K2O	mg/kg	197		140

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Calcium (en CaO)	Magnésium (en MgO)	Potassium (en K2O)
Résultat en meq/100g	8.11	0.82	0.42
Résultats en % de la CEC	92.2	9.3	4.8
Répartition idéale en % :	75	6-7	4-5

Votre taux de saturation

> 100

Profil pédologique 3 (P3)

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	Résultats (en %)
▣ Argile	22.8
▣ Limons fins	44.8
▣ Limons grossiers	20.6
▣ Sables fins	7.2
▣ Sables grossiers	4.7
▣ Terre Fine	99.7

Texture (selon le triangle GEPPA à 16 classes) :

Limons argileux

Indice de battance :

1.0

2 - COMPLEXE ARGIL - HUMIQUE

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Humidité		%	4.5		
▣ Carbone Organique (Comb. sèche)	C	g/kg	33.4		
▣ CEC Metson	CEC	meq/100g	13.2		10.0
▣ Matières Organiques (Carbone * 1.72)	M.O.	%	5.7		3.0
▣ pH	pH	unité pH	5.8		6.5
▣ Azote Total Dumas	N	g/kg N	3.7		
Carbone / Azote	C/N		9.0		

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Phosphore assimilable Olsen	P2O5	mg/kg	37		50
▣ Calcium Echangeable (en CaO)	CaO	mg/kg	2311		2772
▣ Magnésium Echangeable (en MgO)	MgO	mg/kg	314		198
▣ Potassium Echangeable (en K2O)	K2O	mg/kg	365		140

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Calcium (en CaO)	Magnésium (en MgO)	Potassium (en K2O)
Résultat en meq/100g	8.25	1.57	0.78
Résultats en % de la CEC	62.5	11.9	5.9
Répartition idéale en % :	75	6-7	4-5

Votre taux de saturation

80.3

5 -ELEMENT TRACES ENVIRONNEMENT

Dosage	Symbole	Unité	Résultat	Seuil AM 01/98
Cadmium	Cd	mg/kg	<0.5	2
Chrome Total	Cr	mg/kg	28	150
Cuivre	Cu	mg/kg	16	100
Mercur	Hg	mg/kg	<0.04	1
Nickel	Ni	mg/kg	28	50
Plomb	Pb	mg/kg	16	100
Zinc	Zn	mg/kg	77	300

Profil pédologique 4 (P4)

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	Résultats (en %)
▣ Argile	15.3
▣ Limons fins	31.4
▣ Limons grossiers	33.6
▣ Sables fins	9.7
▣ Sables grossiers	10.0
▣ Terre Fine	95.5

Texture (selon le triangle GEPPA à 16 classes) :

Limons

Indice de battance :

2.0

2 - COMPLEXE ARGILO - HUMIQUE

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Humidité		%	2.3		
▣ Carbone Organique (Comb. sèche)	C	g/kg	11.9		
▣ CEC Metson	CEC	meq/100g	7.3		10.0
▣ Matières Organiques (Carbone * 1.72)	M.O.	%	2.1		3.0
▣ pH	pH	unité pH	6.3		6.5
▣ Azote Total Dumas	N	g/kg N	1.5		
Carbone / Azote	C/N		7.9		

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Phosphore assimilable Olsen	P2O5	mg/kg	42		50
▣ Calcium Echangeable (en CaO)	CaO	mg/kg	1515		1533
▣ Magnésium Echangeable (en MgO)	MgO	mg/kg	225		110
▣ Potassium Echangeable (en K2O)	K2O	mg/kg	263		140

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Calcium (en CaO)	Magnésium (en MgO)	Potassium (en K2O)
Résultat en meq/100g	5.41	1.13	0.56
Résultats en % de la CEC	74.1	15.5	7.7
Répartition idéale en % :	75	6-7	4-5

Votre taux de saturation

97.2

Profil pédologique 5 (P5)

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	Résultats (en %)
▣ Argile	15.1
▣ Limons fins	31.6
▣ Limons grossiers	19.7
▣ Sables fins	10.9
▣ Sables grossiers	22.7
▣ Terre Fine	95.5

Texture (selon le triangle GEPPA à 16 classes) :

Limons sablo-argileux

Indice de battance :

1.6

2 - COMPLEXE ARGILLO - HUMIQUE

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Humidité		%	1.8		
▣ Carbone Organique (Comb. sèche)	C	g/kg	13.2		
▣ CEC Metson	CEC	meq/100g	7.2		10.0
▣ Matières Organiques (Carbone * 1.72)	M.O.	%	2.3		3.0
▣ pH	pH	unité pH	5.8		6.5
▣ Azote Total Dumas	N	g/kg N	1.6		
Carbone / Azote	C/N		8.3		

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Phosphore assimilable Olsen	P2O5	mg/kg	19		50
▣ Calcium Echangeable (en CaO)	CaO	mg/kg	1500		1512
▣ Magnésium Echangeable (en MgO)	MgO	mg/kg	92		108
▣ Potassium Echangeable (en K2O)	K2O	mg/kg	97		140

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Calcium (en CaO)	Magnésium (en MgO)	Potassium (en K2O)
Résultat en meq/100g	5.36	0.46	0.21
Résultats en % de la CEC	74.4	6.4	2.9
Répartition idéale en % :	75	6-7	4-5

Votre taux de saturation

83.7

5 -ELEMENT TRACES ENVIRONNEMENT

Dosage	Symbole	Unité	Résultat	Seuil AM 01/98
Cadmium	Cd	mg/kg	<0.5	2
Chrome Total	Cr	mg/kg	24	150
Cuivre	Cu	mg/kg	19	100
Mercure	Hg	mg/kg	<0.04	1
Nickel	Ni	mg/kg	27	50
Plomb	Pb	mg/kg	17	100
Zinc	Zn	mg/kg	73	300

Profil pédologique 6 (P6)

1 - GRANULOMETRIE

Dosages	Résultats (en %)
▣ Argile	16.7
▣ Limons fins	39.5
▣ Limons grossiers	26.8
▣ Sables fins	7.8
▣ Sables grossiers	9.3
▣ Terre Fine	97.6

Texture (selon le triangle GEPPA à 16 classes) :

Limons

Indice de battance :

2.1

2 - COMPLEXE ARGILO - HUMIQUE

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Humidité		%	2.3		
▣ Carbone Organique (Comb. sèche)	C	g/kg	13.0		
▣ CEC Metson	CEC	meq/100g	7.7		10.0
▣ Matières Organiques (Carbone * 1.72)	M.O.	%	2.2		3.0
▣ pH	pH	unité pH	5.9		6.5
▣ Azote Total Dumas	N	g/kg N	1.7		
Carbone / Azote	C/N		7.7		

3 - ELEMENTS ECHANGEABLES

Dosages	Symbole	Unité	Résultat	Faible Normal Elevé	Souhaitable
▣ Phosphore assimilable Olsen	P2O5	mg/kg	13		50
▣ Calcium Echangeable (en CaO)	CaO	mg/kg	1624		1617
▣ Magnésium Echangeable (en MgO)	MgO	mg/kg	162		116
▣ Potassium Echangeable (en K2O)	K2O	mg/kg	271		140

4 - TABLEAU DES % DE CATIONS DANS LA CEC

	Calcium (en CaO)	Magnésium (en MgO)	Potassium (en K2O)
Résultat en meq/100g	5.8	0.81	0.58
Résultats en % de la CEC	75.3	10.5	7.5
Répartition idéale en % :	75	6-7	4-5

Votre taux de saturation

93.3