

PHOTOSOL

ETUDE AGRO-PEDOLOGIQUE DU SITE D'ARNAY-LE-DUC

Projet de parc photovoltaïque au sol



VALTERRA MATIERES ORGANIQUES SAS
ANTENNE 71
PARC D'ACTIVITE DE SAINT ANDOCHE – BOULEVARD BERNARD GIBERSTEIN
71 400 AUTUN

CHAPITRE 1. ETUDE AGRO-PEDOLOGIQUE.....	3
1. CADRE DE L'ETUDE	4
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	4
1.2. METHODOLOGIE DE TRAVAIL	6
1.2.1. PHASE TERRAIN.....	6
1.2.2. PHASE D'INTERPRETATION	7
2. DESCRIPTION DU SITE D'ETUDE	8
2.1. GEOLOGIE	8
2.2. HISTORIQUE	10
2.3. ZONE D'ETUDE ET PROTOCOLE DE PRELEVEMENT	11
2.4. RAPPORT D'OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN	12
2.4.1. ZONE 1	13
2.4.2. ZONE 2	14
2.5. SYNTHESE	15
3. ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS	16
3.1. PARAMETRES ETUDIES	16
3.1.1. TEXTURE ET GRANULOMETRIE	16
3.1.2. HYDROMORPHIE	18
3.1.3. PROFONDEUR D'ENRACINEMENT.....	19
3.1.4. RESERVE UTILE.....	20
3.1.5. POTENTIEL TROPHIQUE	22
3.1.6. PIERROSITE (charge caillouteuse)	27
3.2. NOTATION GLOBALE DE L'APTITUDE AGROPEDOLOGIQUE.....	28
3.3. CULTURES PRECONISES.....	30
4. METHODOLOGIES DE L'ETUDES, BIBLIOGRAPHIE ET DIFFICULTES EVENTUELLES RENCONTREES	32
CHAPITRE 2. ANNEXES	33

INDEX DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX

Illustration 1 : Situation du site d'étude « Arnay-le-Duc »	4
Illustration 2 : Parcelles cadastrales du site d'étude.....	5
Illustration 3 : Carte géologique	9
Illustration 4 : Site d'étude : évolution de 1950 à 2020	10
Illustration 5 : Protocole de prélèvement	11
Illustration 6 : Profil n°1 : photographies et interprétation	13
Illustration 7 : Profil n°2 : photographies et interprétation	14
Illustration 8 : Analyse granulométrique des terres des 3 zones selon le triangle des textures.....	16
Illustration 9 : Diagramme d'assimilation des éléments minéraux.....	23
Illustration 10 : Classification du potentiel agro-pédologique en fonction des zones d'étude.	28
Tableau 1 : Liste des paramètres agronomiques mesurés	6
Tableau 2 : Coordonnées GPS et profondeur des horizons des mini-profils réalisés	12
Tableau 3 : Descriptif du profil de sol réalisé sur la zone 1	13
Tableau 4 : Descriptif du profil de sol réalisé sur la zone 2	14
Tableau 5 : Évaluation du paramètre « texture » des zones du site d'étude.....	17
Tableau 6 : Évaluation du paramètre « hydromorphie » des zones du site d'étude	18
Tableau 7 : Évaluation du paramètre « profondeur d'enracinement » des zones du site d'étude	19
Tableau 8 : Réserve Utile (RU) d'eau d'un sol en fonction de sa texture	20
Tableau 9 : Réserve Facilement Utilisable (RFU) des zones du site d'étude	21
Tableau 10 : Évaluation du paramètre « réserve utile » des zones du site d'étude	21
Tableau 11 : Teneurs des paramètres relatifs à la nutrition des plantes mesurés sur les horizons supérieurs des sondages	26
Tableau 12 : Évaluation du paramètre « potentiel trophique » des zones du site d'étude.....	26
Tableau 13 : Évaluation du paramètre « charge caillouteuse » des zones du site d'étude	27
Tableau 14 : Récapitulatif des évaluations des paramètres pour chaque zone du site d'étude	28
Tableau 15 : Classement des potentiels agronomiques en fonction de la note finale	28
Tableau 16 : Niveau d'exigence des cultures en P et K	30
Tableau 17 : Sensibilité des cultures à l'acidité d'un sol	31
Tableau 18 : Niveau d'exigence des cultures en eau	31





CHAPITRE 1. ETUDE AGRO- PEDOLOGIQUE

1. CADRE DE L'ETUDE

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le site d'étude se trouve sur la commune d'Arnay-le-Duc, dans le département de la Côte-d'Or (21) en région Bourgogne-Franche-Comté à 35 km au Nord-Ouest de Beaune et 60 km au Sud-Ouest de Dijon (Illustration 1).

- Adresse du site d'étude : Arnay-le-Duc 21 230,
- Coordonnées GPS : 47.135180,4.452842 (système de référence géographique en degrés décimaux),
- Superficie approximative : 10 ha,
- Parcelles cadastrales concernées par le site d'étude : feuille 1, section ZA, parcelle 0035 (Illustration 2).

Illustration 1 : Situation du site d'étude « Arnay-le-Duc »

Source : Géoportail

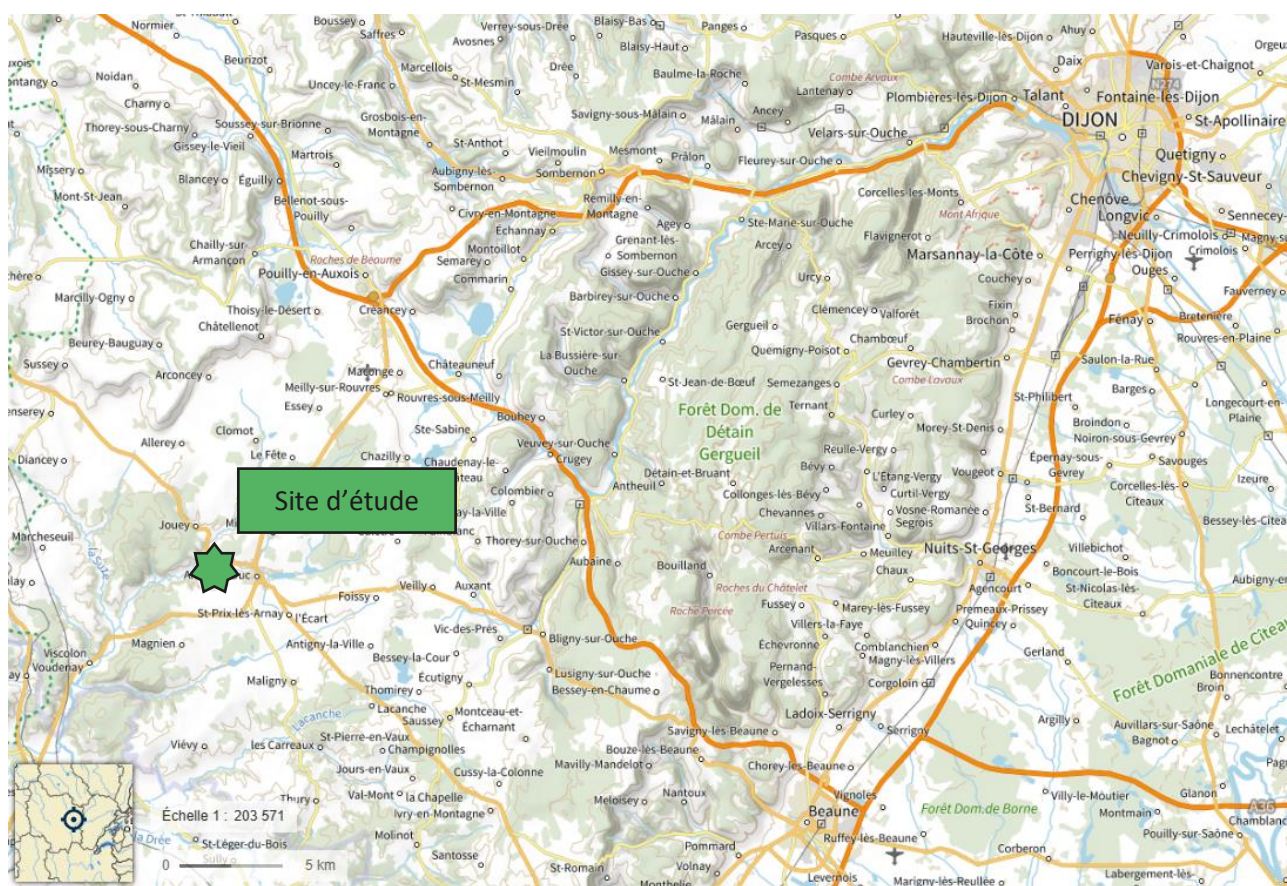


*Illustration 2 : Parcelles cadastrales du site d'étude**Source : Géoportail*

Le site d'étude a toujours été en culture. Cette parcelle a pour destination un projet photovoltaïque. Cette qualification doit être étudiée en prenant en compte, entre autres, la qualité du sol en place.

Pour cela, il est nécessaire d'établir un état des lieux des parcelles du site d'étude afin de proposer des valeurs de référence caractérisant leur potentiel agronomique actuel. Cette démarche vise donc à acquérir des données sur ces sols pour être capables de définir leur qualité d'un point de vue agricole et donc leur fertilité.

Notion de fertilité (D Baize, 2011)

La fertilité est définie comme « l'aptitude [d'un sol], à fournir des récoltes ». Ce qui a un véritable sens que lorsque le type de récolte envisagé est précisé (ex : blé, vigne, lavande, baie de genièvre, truffe). Trop souvent la fertilité est réduite à la seule fertilité minérale. La fertilité globale d'un sol ou d'un terrain considéré par rapport à telle ou telle utilisation dépend de toute une série de caractères, notamment :

- La fertilité physique (netteté et stabilité de la structure, compacité, aération épaisseur),
- La fertilité chimique (capacité d'échange, éléments majeurs et oligo-éléments assimilables),
- La fertilité biologique (richesse, variété et activité de la méso- et de la microfaune du sol),
- La fertilité hydrique (capacité de rétention et de cession de l'eau aux racines).

Afin d'être le plus exhaustif, ce rapport donnera des éléments de réponses sur l'ensemble de ces différents types de fertilité.



1.2. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

La méthodologie appliquée se compose de trois démarches complémentaires :

- Phase de recherches bibliographiques (collecte de données historiques et géologiques),
- Phase de terrain (observations, prélèvements in situ et analyses en laboratoire),
- Phase d'interprétation des résultats.

1.2.1. PHASE TERRAIN

Pour évaluer la qualité agronomique des sols sur une surface donnée, il est nécessaire d'en prélever des échantillons. La méthodologie employée est dérivée de celle du guide d'identification et de délimitation des sols de zones humides (MEDDE, 2013) qui précise le principe de base d'un plan d'échantillonnage. Il mentionne qu'un échantillon, correspondant à un sondage tarière, doit être réalisé par secteur homogène du point de vue des conditions du milieu. Ces conditions sont les facteurs pédogénétiques qui influencent la formation du sol : la nature du substrat géologique, le climat, la topographie, la couverture végétale et les pratiques agricoles et anthropiques.

Plusieurs procédures d'exploration sont effectuées afin d'analyser différents paramètres :

- **Les sondages pédologiques** permettent de recomposer le profil de sol jusqu'à maximum 1,20 m de profondeur.
- **Les prélèvements à la tarière manuelle** sur l'horizon de surface (20 cm de profondeur) sont envoyés au laboratoire afin d'analyser les paramètres agronomiques détaillés dans le tableau 1. Ces paramètres permettent d'évaluer les principales propriétés physiques et chimiques des sols et d'estimer ainsi leur fertilité globale. Le prélèvement d'échantillons est réalisé selon la méthode des échantillons composites constitués de 10 prélèvements élémentaires. Ceux-ci sont prélevés dans un rayon de 10 m autour du point du sondage de la zone élémentaire considérée. Une fois prélevés, ils sont envoyés pour des analyses dans un laboratoire indépendant agréé COFRAC. Une répétition est effectuée pour chacun des prélèvements sur les horizons 2 et 3 si la profondeur le permet.

Tableau 1 : Liste des paramètres agronomiques mesurés

Réalisation : Valterra

Paramètre agronomique	Norme de mesure
Carbone Organique Total (matière organique (Dichromate))	NF ISO 14 235
CEC Metson	NFX 31-130
Dosage CaO échangeable	NFX 31-108 Dosage ICP AES
Matière Organique	NFX ISO 14 235
C/N	NF ISO 13 878 (DUMAS)
Dosage K ₂ O échangeable	NFX 31-108 Dosage ICP AES
Dosage Manganèse DTPA	NFX 31-121 Dosage ICP AES
Dosage MgO échangeable	NFX 31-108 Dosage ICP AES
Dosage Na ₂ O échangeable	NFX 31-108 Dosage ICP AES
Granulométrie 5 fractions (s. déc.)	NFX 31-107 sans décarbonatation
pH eau	NF ISO 10 390
pH KCl	NF ISO 10 390
Azote total	NF ISO 13 878
Phosphore Olsen P ₂ O ₅	NF ISO 11263
Carbonates totaux	NFX 31-106



1.2.2. PHASE D'INTERPRETATION

La **méthodologie d'évaluation du potentiel agropédologique** du site d'étude s'appuiera sur la méthodologie élaborée par l'**INRA de Châteauroux** (Studer et al, 1977, Begon et Mori, 1978, Duclos et al., 1980), reprise et complétée par J.Moulin et al. (version v2, 2004) sur la base de données des sols dite « **STUDER** » (du nom de son initiateur).

La première version de l'appréciation des aptitudes agricoles des sols fait appel à une méthode d'évaluation analytique, qui cherche parmi les caractéristiques pédologiques celles qui s'opposent à la mise en valeur agricole, en procédant à l'inventaire et au classement des contraintes. Ces facteurs limitants peuvent être :

- Des contraintes physiques (texture, structure, pierrosité, profondeur de sol, réserve en eau, hydromorphie, ...),
- Des contraintes chimiques (pH, matière organique, C/N, capacité d'échange, calcaire actif, ...),
- Des contraintes topographiques (pentes, orientation).

Les relations entre les conditions de production et les caractéristiques pédologiques relèvent de deux niveaux (BEGON et al., 1978) :

- 1) Des conditions de développement de la plante (stabilité structurale de l'horizon de surface, texture, sensibilité à l'hydromorphie, aération du milieu, développement du profil et profondeur de sol, disponibilité en eau, assimilabilité des éléments nutritifs, ...)
- 2) Des conditions de réalisation des techniques culturales (faisabilité des travaux, obstacles à la mécanisation, ...)

Nous nous concentrerons dans cette étude uniquement au premier niveau. Le principe de collecte des informations sur le terrain et l'échelle de réalisation de la prospection, permettent cette analyse en termes de contraintes, puis d'aptitudes.

L'analyse finale doit enfin conduire à la **définition de la classe d'aptitude**, qui est déterminée par le nombre et le niveau d'expression des facteurs limitants, mais elle tient compte des possibilités qu'il y a de lever ces contraintes. Une seule contrainte majeure peut suffire à classer un sol parmi les sols inaptes à toutes cultures, alors que l'addition de quelques contraintes mineures peut n'affecter que modérément l'aptitude d'un sol. Les paramètres retenus (version 2, Moulin et al, 2004) sont :

- La texture de surface,
- La profondeur du profil exploitable par les racines,
- La pierrosité,
- L'hydromorphie,
- La réserve utile en eau,
- Le potentiel trophique.

Le système de notation du potentiel trophique sera amélioré. En effet, l'étude de Moulin et al, 2004 ne permettait pas de prendre en compte des résultats analytiques dans le calcul de ce critère. Nous choisissons aujourd'hui d'intégrer les paramètres agronomiques importants du potentiel trophique afin de pouvoir déterminer une note se basant sur un résultat d'analyse et non sur une interprétation et des observations terrain.

La pondération entre les différents facteurs reste sujette à des modifications et d'autres systèmes d'approche, du type catégorique par exemple, pourraient être expérimentés.

L'élaboration de cette ébauche de classement repose donc sur une méthode paramétrique, basée sur un **système de notation d'un sol sur 100 points**. Plus la note est élevée, plus l'éventail des cultures possibles devient large dans un contexte climatique donné et plus la note devient basse, moins la vocation agricole est affirmée.



2. DESCRIPTION DU SITE D'ETUDE

L'étude géologique est le point de départ de la caractérisation puisqu'elle va permettre de définir l'homogénéité du site d'étude dans sa globalité. Cette étude est ensuite complétée par l'étude historique. Les observations in situ viendront donner les premières indications sur les propriétés du sol, étayées ensuite par les analyses réalisées en laboratoire. L'ensemble des photographies aériennes et la carte géologique utilisées dans ce rapport proviennent des sites geoportail.gouv.fr et ficheinfoterre.brgm.fr.

2.1. GEOLOGIE

Le site d'étude est sur la carte « Epinac (525) » du BRGM (Illustration 3). Le territoire se situe en bordure Nord-Est du Massif central.

L'entité affleurante la plus ancienne, le socle anté-stéphanien, n'est entièrement découverte que dans la partie la plus occidentale de la carte.

Au Sud-Ouest ce socle est recouvert en discordance par trois lambeaux de shoshonites à affinité lamprophyrique, constituant les vestiges de coulées « basaltiques », ainsi que par les dépôts sédimentaires détritiques du Stéphanien moyen du petit bassin houiller d'Épinac (sous-ensemble du bassin d'Autun), eux-mêmes recouverts en discordance angulaire par les dépôts sédimentaires détritiques du Permien inférieur (Autunien) qui constituent le remplissage principal du bassin d'Autun.

Cet ensemble de terrains datés du Carbonifère au Permien, est séparé par une nouvelle discordance angulaire, de la couverture sédimentaire mésozoïque qui constitue la majeure partie des terrains affleurants.

Le site d'étude se trouve sur plusieurs formations (Illustration 3) :

- 10 % de la surface, à l'Ouest, se trouve sur la formation h2y, représentant des granitoïdes subvolcaniques à biotites.
- 35 % de l'étude, au centre, se trouve sur la formation B/Ly2 représentant les formations de plateaux : limons anciens sur roches plutoniques en massifs intrusifs dans les formations dinantiennes.
- Enfin, 55 % du site se trouve sur la formation Ly2 composée de Roches plutoniques en massifs intrusifs dans les formations dinantiennes.

La géologie observée donne un point de départ, toutefois, la micro-topographie, liée par exemple à des usages des sols, des pratiques culturales différentes et la variabilité naturelle des sols sont susceptibles d'occasionner la présence de plusieurs types de sol ayant des propriétés agronomiques différentes. L'historique des parcelles du site d'étude peut, en partie, nous renseigner sur ces éléments.



Illustration 3 : Carte géologique

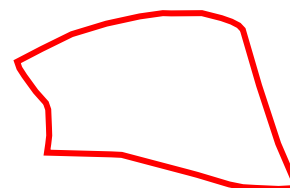
Source : Infoterre



Légende

-  tG Secteur de la forêt de Bruan, au Nord-Ouest : "Grès de base", faciès intermédiaire (Rhétien ou Trias plus ancien) ; secteur d'Amay-le-Duc Est et Sud : "Grès de base" quartzo-feldspatiques, localement silicifiés (Ansien ? Et Ladinien)
-  Si (1) Socle silicifié sous les grès du Trias en place
-  $\mu\gamma$ Microgranites porphyriques à biotite (intrusions magmatiques du carbonifères supérieur)
-  L γ 2 Roches plutoniques en massifs intrusifs dans les formations dinantiennes : Leucogranites à grain fin à moyen, à deux micas
-  h2 γ Granitoïdes subvolcaniques à biotite : granophyres, microgranites + ou - porphyriques, granites en stocks, filons, sills
-  h2ip Tufs soudés, ignimbrites et laves dacitiques à rhyodacitiques
-  B/L γ 2 Formations de plateaux : limons anciens sur roches plutoniques en massifs intrusifs dans les formations dinantiennes

Site d'Etude



2.2. HISTORIQUE

L'historique du site d'étude permet de voir l'évolution de ses usages dans le temps. L'usage du site a toujours été agricole. L'illustration 4 représente l'évolution du site entre 1950 et 2020. La zone d'étude n'a pas changé mis à part la séparation de la parcelle avec la mise en place d'une clôture entre 1965 et 2000.

Illustration 4 : Site d'étude : évolution de 1950 à 2020

Source : Géoportail



Les études géologique et historique, couplées aux observations de terrain sont nécessaires pour définir des zones d'études homogènes et ainsi définir le plan d'échantillonnage.

2.3. ZONE D'ETUDE ET PROTOCOLE DE PRELEVEMENT

L'emplacement des prélèvements est optimisé sur le terrain par analyse immédiate du paysage :

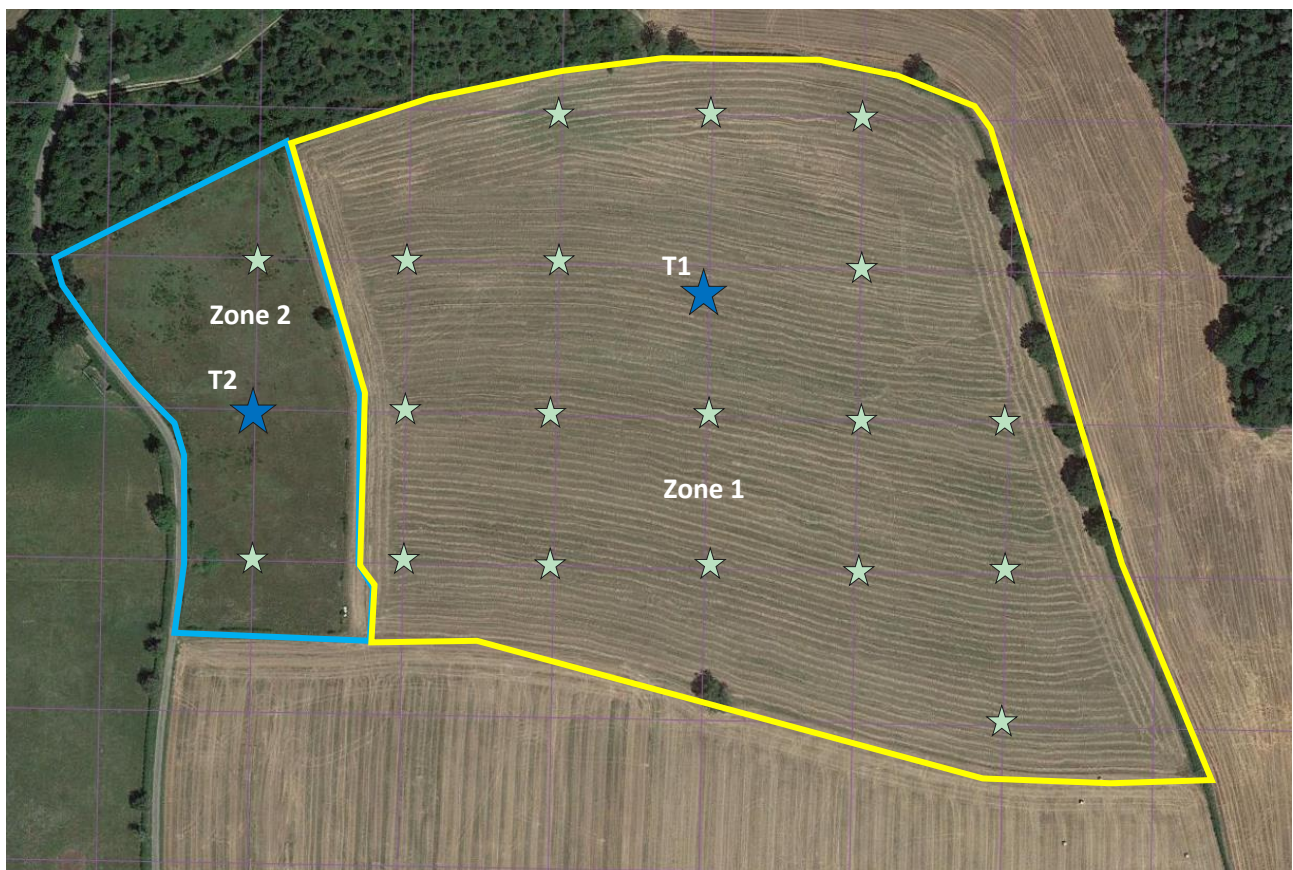
- Formes du relief,
- Occupation des sols,
- Végétation naturelle,
- Aspect de la surface du terrain (dans le cas de zones peu couvertes par la végétation).

L'ensemble des observations permet de décomposer le site d'étude en 2 zones homogènes et de définir le protocole de prélèvement (Illustration 5).

Tous ces éléments suggèrent un plan d'échantillonnage composé de plusieurs points d'investigations pour caractériser la parcelle :

- 2 sondages à la tarière afin de réaliser des profils de sol,
- 19 sondages à tarière afin de vérifier l'homogénéité de la zone et mesurer les différents horizons,
- 4 prélèvements de sol (composés chacun de 9 prélèvements élémentaires) pour analyse physico-chimique dont 2 analyses concernant l'horizon 1 au niveau de chaque profil de sol et 2 analyses granulométriques pour chaque horizon supplémentaire observé.

Illustration 5 : Protocole de prélèvement
Source Géoportail ; Réalisation Valterra



Légende

★ : Profil de sol + prélèvements

★ : Mini profil pour valider la zone

2.4. RAPPORT D'OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN

Les 2 zones sont détaillées du point de vue des profils de sols et des spécificités particulières permettant de les caractériser.

De façon générale l'ensemble de la zone d'étude est homogène :

- Prairie ou culture,
- Localisation : Arnay le Duc (21), France,
- Topographie : terrain légèrement accidenté pour la zone 2, environ 20 m de dénivelé entre le point le plus haut et le point le plus bas,
- Altitude : 360 – 380 m,
- Roche mère : Non calcaire,
- Caractéristiques climatiques : Climat tempéré chaud, de type Cfb selon la classification de Köppen-Geiger (C : Climat tempéré ; f : Climat humide, précipitation tous les mois de l'année : b : été tempéré),
- Végétation : prairie ou culture.

Tableau 2 : Coordonnées GPS et profondeur des horizons des mini-profils réalisés

Réalisation : Valterra

Coordonnées GPS	Profondeur horizon 1	Profondeur horizon 2	Profondeur total
47.135544,4.450733	10	20	30
47.134468,4.450878	10	15	25
47.135594,4.451609	10	20	30
47.135072,4.451640	10	20	30
47.134451,4.451651	10	20	30
47.136014,4.452403	15	20	35
47.135622,4.452423	10	15	25
47.135047,4.452434	10	20	30
47.134442,4.452464	10	20	30
47.136021,4.453258	15	20	35
47.135015,4.453253	10	20	30
47.134373,4.453227	10	15	25
47.136029,4.454086	15	20	35
47.135615,4.454081	10	25	35
47.135030,4.454086	10	20	30
47.134391,4.454106	10	20	30
47.135016,4.454786	15	20	35
47.134377,4.454791	10	20	30
47.133877,4.454772	10	15	25



2.4.1. ZONE 1

Coordonnées GPS : 47.135365,4.453264

Illustration 6 : Profil n°1 : photographies et interprétation

Source et réalisation : Valterra

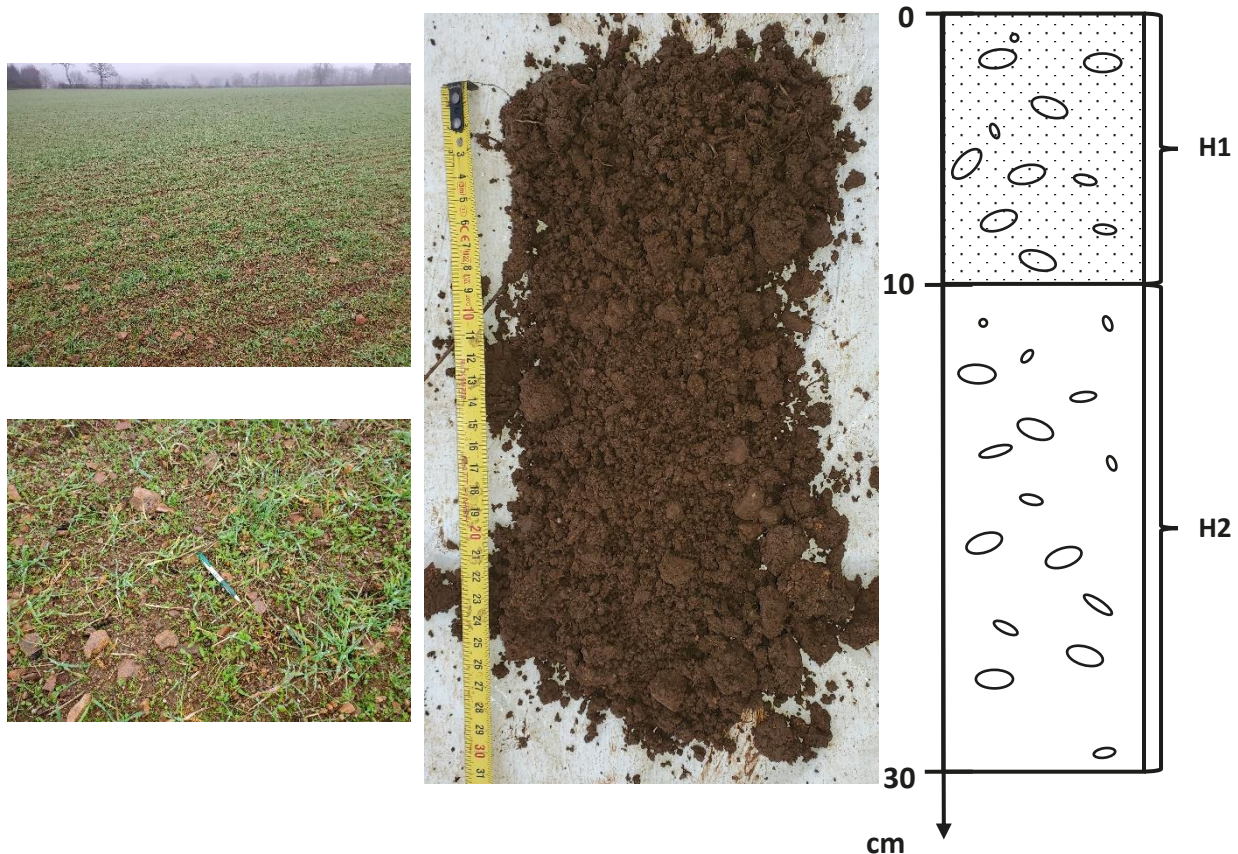


Tableau 3 : Descriptif du profil de sol réalisé sur la zone 1

Réalisation : Valterra

N° du profil	Horizon	Pierrosité (%)	Couleur	Humidité	Texture	Compacité	Traces Hydromorphie
1	1	40	Brun foncé	Humide	Sal	Très friable	0
	2	30	Brun	Frais	Sa	Très friable	0

L'horizon 1 mesure environ 10 cm, est brun foncé et possède une texture Sablo-argilo-limoneuse.

L'horizon 2 d'environ 20 cm est brun. Un peu moins riche en limon, sa texture devient Sablo-argileuse.

La texture d'un sol exerce une influence primordiale sur son régime hydrique : réserve utile, circulation de l'eau... Ainsi le profil de sol montre une tendance Sableuse.

Cette zone est à dominance Sableuse, cette texture permet au sol d'être bien aéré, facile à travailler mais aussi très perméable et l'eau y passe comme dans un filtre entraînant avec elle les matières minérales fertilisantes, c'est pourquoi ils sont pauvres en éléments nutritifs.



2.4.2. ZONE 2

Coordonnées GPS : 47.135008,4.450848

Illustration 7 : Profil n°2 : photographies et interprétation
Source et réalisation : Valterra

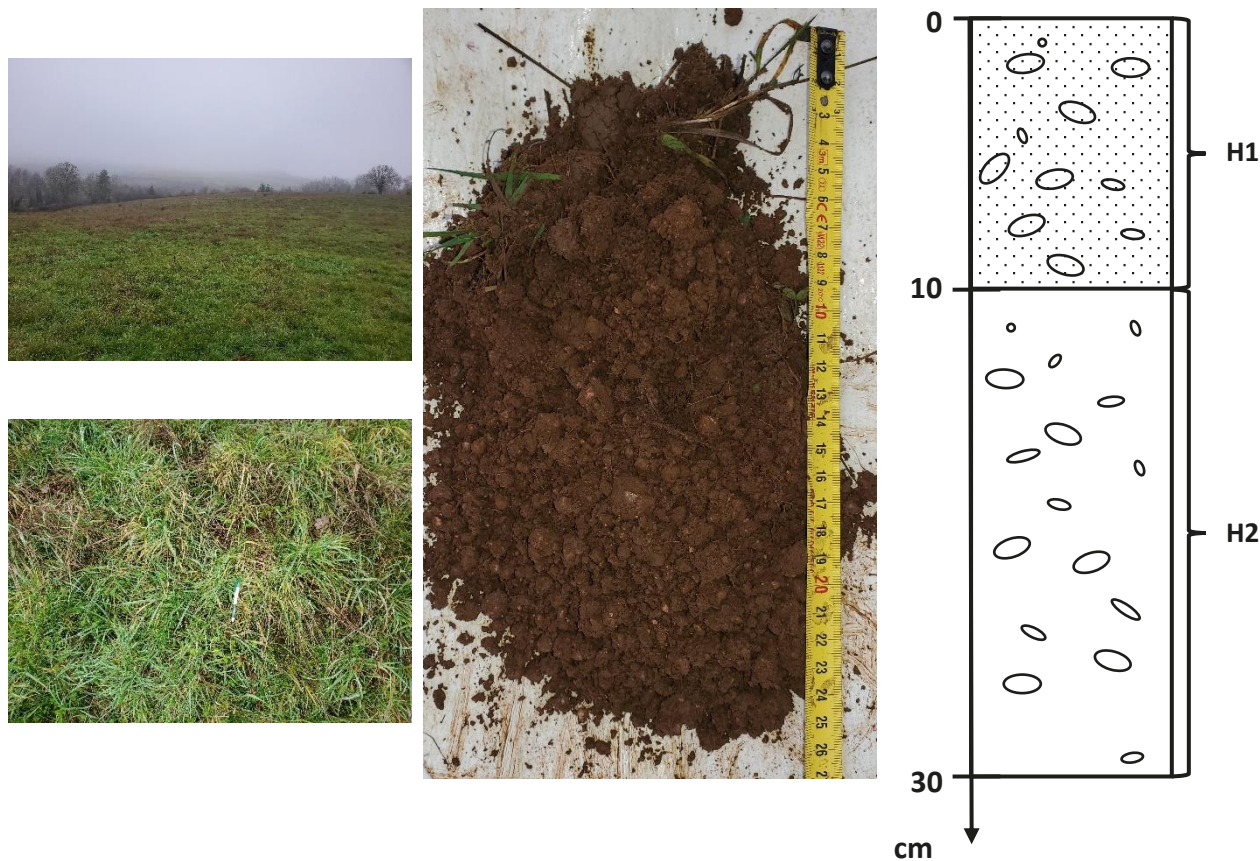


Tableau 4 : Descriptif du profil de sol réalisé sur la zone 2
Réalisation : Valterra

N° du profil	Horizon	Pierrosité (%)	Couleur	Humidité	Texture	Compacité	Traces Hydromorphie
2	1	40	Brun foncé	Humide	Sa	Très friable	0
	2	30	Brun	Frais	Sa	Très friable	0

La zone 2 ressemble en tout point la zone 1, chaque profil réalisé possède les mêmes caractéristiques pédologiques.

2.5. SYNTHÈSE

La zone d'étude est composée de 2 sous-ensembles, représentant 2 zones d'étude.

Les 2 zones présentent la même texture à dominance sableuse.

La zone d'étude est homogène (épaisseur de sol, texture, hydromorphie...). Les zones ne sont pas cultivées de la même façon (prairie ou culture) mais cela n'a, pour le moment, pas d'impact sur la qualité du sol.

D'après la carte des sols, le site d'étude est situé sur 2 Unités Cartographiques de Sol (UCS), toutefois la réalité du terrain indique que toute la zone se trouve sur un même type de sol et donc sur la même UCS :

- UCS n° 8 représentant les versants de la bordure du Morvan sur roches volcaniques.

Les profils ont été réalisés sur des Rankosols. Ce sont des sols peu épais (moins de 30 cm), peu différenciés, développés à partir de roches non calcaires. Les horizons des Rankosols contiennent de nombreux éléments grossiers (graviers, cailloux, pierres...) issus de la fragmentation ou de l'altération de la roche sous-jacente.



3. ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS

L'ensemble des résultats d'analyses est consultable en ANNEXE 1.

3.1. PARAMETRES ETUDIES

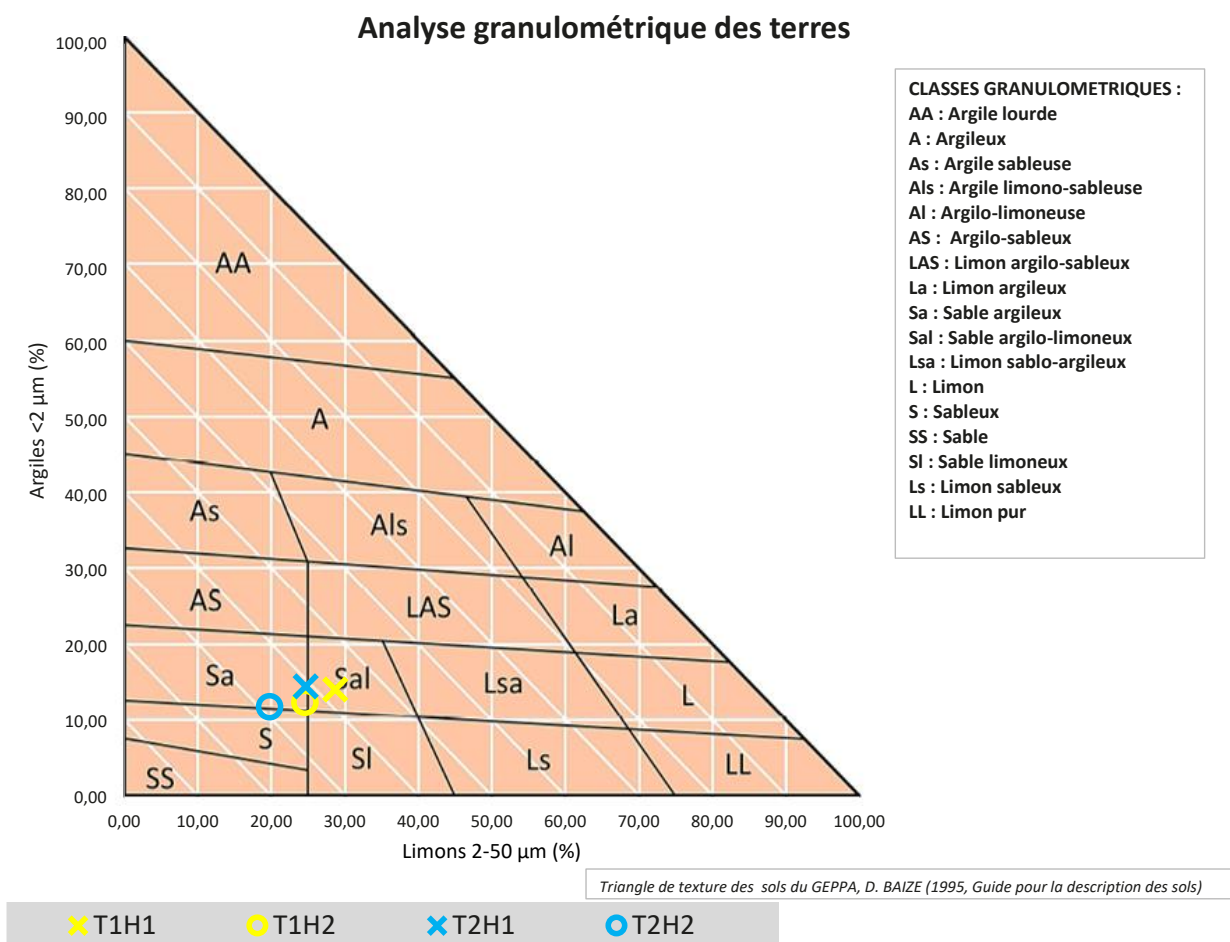
3.1.1. TEXTURE ET GRANULOMETRIE

La texture est directement liée à la composition granulométrique. Celle-ci s'exprime le plus couramment sous forme de diagramme triangulaire permettant de définir des classes texturales. L'illustration 8 présente les classes granulométriques des sols des 2 zones d'études.

Les 2 zones présentent des textures très similaires avec une dominance des Sables.

Illustration 8 : Analyse granulométrique des terres des 3 zones selon le triangle des textures

Réalisation : Valterra



La texture d'un sol n'a pas d'influence d'un point de vue chimique mais a un impact sur **la structure du sol**.

En effet, la texture d'un sol influe fortement sur le comportement d'un sol à sa capacité de rétention en eau.

Plus les grains sont fins et nombreux (ex : argile lourde, limons purs), plus le sol a tendance à retenir l'eau. Ce genre de sol est imperméable, il peut se gorger d'eau et favorise le ruissèlement sur sa surface par la formation de croûtes de battance. Ils ont tendance à retenir les minéraux. A l'inverse, plus les grains sont gros, plus le sol est perméable, l'eau et les nutriments sont facilement lessivés.

Système de notation du paramètre (Moulin et al., 2004) :

Du point de vue agricole, la granulométrie exerce une influence sur le travail du sol, le comportement à l'interface atmosphère-sol, la levée, l'implantation et l'enracinement des cultures, ainsi que sur la rétention des éléments minéraux et de l'eau ; c'est pourquoi le quart de la note totale maximale lui est affecté. Dans le classement proposé, l'échelle des notes attribuées à ce paramètre intègre déjà partiellement le niveau des réserves potentielles en eau.

Texture	Points
Textures autres (Anthropiques, tourbes, Lithosols et Rankosols...)	0
SS – S – SI – AA	5
Ls – As – AS - A	10
Sa - Sal – LL – L – Lsa	15
Als - Al	20
La - LAS	25

Application à l'échelle du site d'étude :

La texture de surface du site d'étude est de type Sable argilo-limoneux pour la zone 1 et Sables argileux pour la zone 2 selon le triangle de texture du GEPPA.

Tableau 5 : Évaluation du paramètre « texture » des zones du site d'étude

Source : J. MOULIN et al., 2004

Zone	Texture	Note attribuée
Zone 1	Sal : Sable argilo-limoneux	15
Zone 2	Sa : Sable argileux	15



3.1.2. HYDROMORPHIE

L'hydromorphisme correspond à la saturation des pores d'un sol en eau sur une période plus ou moins longue de l'année. Cette saturation du sol entraîne des phénomènes d'anoxie qui perturbent la faune du sol et la végétation. Elle affecte aussi les minéraux présents dans le sol avec la formation de dépôts rouges de fer oxydé, de dépôts bleu-vert de fer réduit et de concrétions noires ferro-manganiques (fer et manganèse).

Système de notation de l'hydromorphie (Moulin et al., 2004) :

Par son rôle dans la vie biologique du sol, dans la vie de la plante, et par son influence sur les possibilités de réalisation des travaux agricoles, ce critère prend une place prépondérante qui lui vaut de se voir affecter une note maximale représentant 1/5 de la note totale.

Valeur	Points
Sain (pas de trace) ou hydromorphie de profondeur (traces à partir de 80 cm)	20
Traces d'hydromorphie entre 40 et 80 cm de profondeur	15
Traces d'hydromorphie dès la surface	8
Type de sols REDOXISOL	4
Type de sols REDUCTISOL TYPIQUE	2
Type de sols REDUCTISOL STAGNIQUE et autres	0

Application à l'échelle du site d'étude :

L'ensemble de la zone d'étude ne présente pas de trace d'hydromorphie.

Tableau 6 : Évaluation du paramètre « hydromorphie » des zones du site d'étude

Source : J. MOULIN et al., 2004

Zone	Catégorie	Note attribuée
Zone 1	Sain (pas de trace) ou hydromorphie de profondeur (traces à partir de 80 cm)	20
Zone 2	Sain (pas de trace) ou hydromorphie de profondeur (traces à partir de 80 cm)	20



3.1.3. PROFONDEUR D'ENRACINEMENT

Nous prendrons en compte le profil de sol favorable à l'enracinement des plantes. Si la plante trouve une partie des éléments nécessaires à sa croissance lors de son implantation, elle utilise également le stock d'eau et de minéraux qu'elle va trouver tout au long de sa prospection racinaire. Ce profil est directement dépendant des matériaux rencontrés par les racines (plancher argileux, milieu anaérobique, roche, ...).

Système de notation du paramètre (Moulin et al., 2004) :

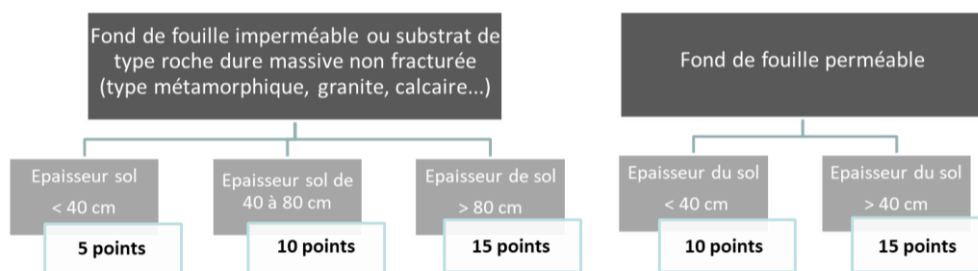
C'est un critère important puisqu'il conditionne l'exploitation des réserves hydriques et minérales du profil. Les formations géologiques dures ou massives limitent l'enracinement : calcaire dur, banc de silex, de galets, et autres. Dans les sols minéraux bruts ou les sols d'érosion par exemple, la profondeur maximale utilisable ne dépasse pas 20 cm. Mais indépendamment de la présence d'un substrat massif et dur (obstacle physique à la pénétration des racines), certains profils, développés dans des matériaux meubles profonds, doivent être affectés d'une décote sur ce paramètre ; la possibilité effective d'enracinement y étant nettement inférieure à l'enracinement potentiel physique, diminuée en raison de propriétés tout à fait défavorables de certains horizons. C'est le cas, en particulier, de tous les sols podzolisés, pour lesquels on considère que la profondeur exploitable par les racines de plantes annuelles ne dépasse pas 30 cm. En revanche, sur assises calcaires l'altération où la fissuration des bancs de cailloux et la présence de joints ou de niveaux argileux permet assez souvent un enracinement supérieur à la profondeur d'apparition du substrat.

1^{ère} règle :

Type de Sol	Points
REGOSOL, LITHOSOL, RANKOSOL, PEYROSOL	2
PODZOSOLS, BRUNISOL DYSTRIQUE acide	5
RENDOSOLS, RENDISOLS, CALCOSOLS, CALCISOLS	5
REDUCTISOLS	7

Dans le cas où les sols ne sont pas présents dans la première règle, il faut alors appliquer la seconde règle ci-dessous.

2^{ème} règle (interprétée)



Application à l'échelle du site d'étude :

Tableau 7 : Évaluation du paramètre « profondeur d'enracinement » des zones du site d'étude

Source : J. MOULIN et al., 2004

Zone	Catégorie	Note attribuée
Zone 1	Rankosol	2
Zone 2	Rankosol	2



3.1.4. RESERVE UTILE

La Réserve Utile (RU) en eau du sol est constituée d'une Réserve Difficilement Utilisable (RDU) et d'une Réserve Facilement Utilisable (RFU). Comme pour les précipitations, la RU est exprimée en mm : $1 \text{ mm} = 1 \text{ L} / \text{m}^2 = 10 \text{ m}^3 / \text{ha}$. La RU est liée à la texture du sol, c'est-à-dire à sa composition physique en argiles, limons et sables, ainsi qu'à la pierrosité du sol (proportion de cailloux ou éléments grossiers supérieurs à 2 mm). La teneur en éléments grossiers viendra en déduction de la RU.

Ainsi nous prendrons en compte les RU en mm/cm de sol suivantes en fonction des différentes textures :

Tableau 8 : Réserve Utile (RU) d'eau d'un sol en fonction de sa texture

Source : Bruand A. et al, 2004, modèles ARVALIS, Valterra MO

Texture	RU Moyen(mm/cm)
AA : Argile lourde	1,45
A : Argileux	1,45
Al : Argilo-limoneuse	1,45
Als : Argile limono-sableuse	1,55
As : Argile sableuse	1,55
AS : Argilo-sableux	2
L : Limon	1,8
La : Limon argileux	1,65
LAS : Limon argilo-sableux	2
LL : Limon pur	1,75
Ls : Limon sableux	1,9
Lsa : Limon sablo-argileux	0,9
S : Sableux	1,45
Sa : Sable argileux	1,45
Sal : Sable argilo-limoneux	1,5
Sl : Sable limoneux	0,9
SS : Sable	0
Textures autres	0

La Réserve Facilement Utilisable (RFU) correspond à la partie de la RU effectivement exploitée par les racines et utilisable par la plante. Elle dépend donc de l'enracinement des cultures et diminue en profondeur. Cet enracinement est influencé par différents facteurs :

- La compaction du sol : un sol trop compact est défavorable à l'enracinement,
- L'hydromorphie : elle entrave la bonne infiltration de l'eau dans le sol et le développement des racines,
- La matière organique : elle favorise la rétention d'eau dans le sol,
- L'activité biologique : elle améliore la structure et la porosité du sol. Par exemple, les galeries de vers de terre favorisent l'exploration des différents horizons du sol par les racines. Le système racinaire n'étant pas toujours visible en profondeur. Nous apprécierons ce critère en fonction de l'hydromorphie, de la compacité du sol et de la profondeur du sol.

Nous considérerons que le coefficient de calcul de la RFU sera de :

- 2/3 de la RU pour un sol très bien enraciné,
- 1/2 de la RU pour un sol moyennement enraciné,
- 1/3 de la RU pour un sol moins bien enraciné.

Soit la formule finale suivante :

RFU de l'horizon = épaisseur de l'horizon x RU moyen x Coefficient de la RFU x (1- pourcentage d'éléments grossiers)



Ainsi pour les sondages analysés, la RFU est de :

Tableau 9 : Réserve Facilement Utilisable (RFU) des zones du site d'étude

Source : Valterra MO

Zone	Sondage	Prélèvement	Horizons	Epaisseurs de l'horizon (cm)	RU moyen (mm/cm)	Eléments grossiers (%)	Coefficient d'enracinement	RFU de l'horizon (mm)	RFU du profil (mm)
Zone 1	1	T1H1	1	10	1,50	40%	0,50	4,5	11,3
Zone 1	1	T1H2	2	20	1,45	30%	0,33	6,8	
Zone 2	2	T2H1	1	10	1,45	40%	0,50	4,4	11,2
Zone 2	2	T2H2	2	20	1,45	30%	0,33	6,8	

La réserve en eau des différents sols observés est très faible (< 25 mm) pour l'ensemble des sols du site d'étude. Elle est logiquement liée à l'épaisseur de sol prospectable par les racines, mais la texture et la pierrosité joue également un rôle important.

Les résultats obtenus sont défavorables au regard des moyennes habituellement observées ce qui implique un risque de stress hydrique pendant une partie de l'année pour toute la zone étudiée.

Système de notation du paramètre (Moulin et al., 2004) :

Le degré de résistance à la sécheresse est déjà pris en compte par la texture, et la profondeur exploitable par les racines. Néanmoins, son intégration se justifie pour compenser certaines textures pénalisées, en particulier les argiles lourdes et certaines argiles sableuses. Les sols de la zone d'étude sont très humides. A l'aide des analyses nous avons pu calculer la RFU de chaque zone.

Valeur	Points
<= à 25 mm	1
26 à 50 mm	4
51 à 75 mm	6
76 à 100 mm	8
101 à 125 mm	10
125 à 150 mm	11
151 à 175 mm	13
>= 176	15

Application à l'échelle du site d'étude :

Tableau 10 : Évaluation du paramètre « réserve utile » des zones du site d'étude

Source : J. MOULIN et al., 2004

Zone	RFU du profil (en mm)	Note attribuée
Zone 1	< 25	1
Zone 2	< 25	1



3.1.5. POTENTIEL TROPHIQUE

3.1.5.1. La matière organique et le carbone organique

La teneur en matière organique est directement liée au carbone organique :

Teneur MOS = Coefficient x teneur en carbone organique. Elle représente la réserve en nutriments d'un sol et sa capacité à résister aux phénomènes extrêmes (réserve en eau, décompaction...)

Il s'agit de l'ensemble des constituants organiques présents dans le sol qui sont morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non. Il est difficile de définir une norme concernant le taux de matière organique. Le fonctionnement du sol dépendra de la nature des constituants et de leur capacité d'évolution. Entretenir un taux de matière organique suffisant dans les sols est essentiel à la fertilité biologique des sols (nutrition de la faune et de la microflore du sol) ce qui permet le développement de champignons mycorhiziens (symbiose favorable entre la plante et le champignon).

Une matière organique basse indique que le sol n'a plus les réserves de nutriments nécessaires au développement des espèces végétales. D'où une limitation de la biomasse du sol, impliquant une baisse de fertilité du sol et une incapacité à s'adapter aux conditions de culture (en cas de stress, la plante souffrira immédiatement).

Si la matière organique est trop élevée ; une grosse partie de la matière organique n'évolue plus ou pas. Ce phénomène est particulièrement observé sur les sols très légers, séchants, et souvent carencés en oligo-éléments. Parfois, ce taux de matière organique est également dû à un dysfonctionnement du sol (hydromorphie, tassement...).

Selon le guide de l'UNEP, les valeurs optimales de la matière organiques se situent entre 10 et 50 g/kg.

3.1.5.2. Le rapport C/N

Le rapport C/N correspond au carbone organique total apte à se décomposer plus ou moins dans le sol. C'est un indicateur de l'évolution de la matière organique dans le sol.

Les préconisations concernant le rapport C/N sont les suivantes :

- *En-dessous de 8 la transformation est rapide et il y a perte d'éléments fertilisants, notamment des produits azotés facilement lessivables.*
- *En sol cultivé le C/N doit se situer entre 8 et 12.*
- *Entre 15 et 25, la minéralisation est lente et la matière organique brute s'accumule.*
- *Au-dessus de 25, il y a trop de carbone par rapport à l'azote. Les micro-organismes vont puiser dans le sol au lieu d'en libérer ce qui risque de provoquer des faims d'azote au détriment des cultures.*



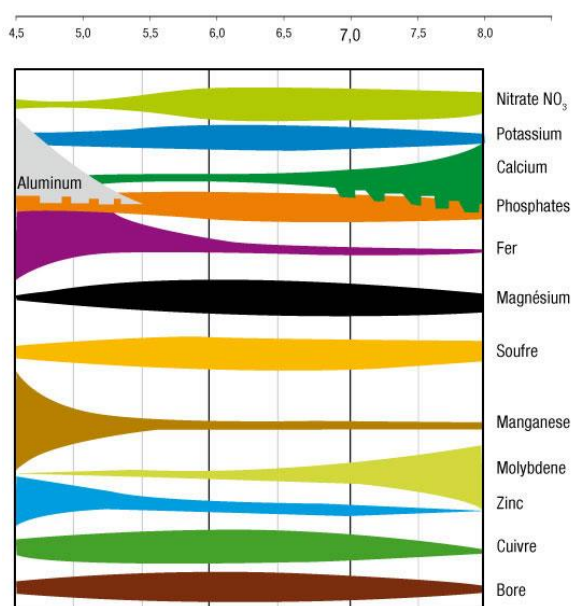
3.1.5.3. Le pH

Le pH (ou potentiel Hydrogène) indique la teneur en ion H^+ présents dans le sol. Plus la concentration en H^+ est élevée, plus le pH est acide ou faible – et inversement. Il est directement lié à la présence d'ions carbonates dans le sol. Ainsi, un sol calcaire ne sera que très rarement acide.

Le pH mesure l'acidité du sol qui a un impact immédiat sur la disponibilité des éléments nutritifs du sol. Il conditionne la disponibilité ou la toxicité des éléments minéraux (voir figure ci-dessous).

Illustration 9 : Diagramme d'assimilation des éléments minéraux

Source : UNIFA, selon Truog, 1948



Un sol dont le pH est inférieur à 5,5 est considéré comme fortement acide et présente des risques de toxicité aluminique pour les plantes, ce qui peut impacter le rendement. Un sol dont le pH varie entre 6 et 7 est optimal. Sans risque de toxicité, la plupart des éléments minéraux sont disponibles pour la plante. Au-delà de 7,5 : les courbes d'assimilation du manganèse, zinc, magnésium, cuivre, potassium commencent à décroître. Le pH n'est plus optimal.

3.1.5.4. La CEC

La CEC ou Capacité d'Echange Cationique correspond à la quantité de cations qu'un sol peut retenir à la surface de ses agrégats à un pH donné. Elle indique la capacité d'un sol à retenir les éléments nutritifs et est directement liée à la proportion d'argile et de matière organique présentes dans le sol (complexe argilo-humique). C'est un paramètre important de mesure de la fertilité des sols qui représente la taille du « garde-manger » disponible pour les plantes. Plus la CEC est élevée, plus le sol concerné sera favorable à nourrir les cultures.

Selon Collaud et al. (1990) la CEC peut être évaluée de la manière suivante :

- **CEC inférieure à 120 méq/kg : CEC faible.**
- **CEC comprise entre 120 et 200 méq/kg : CEC moyenne.**
- **CEC supérieure à 200 méq/kg : CEC forte.**

3.1.5.5. Le taux de saturation

Le taux de saturation correspond au taux de remplissage du « garde-manger » disponible pour la plante (c'est-à-dire le taux de sites occupés par des cations échangeables). Les sites inoccupés le sont par les ions hydrogènes, inutiles pour la fertilité des plantes. Ce taux est donc fortement lié au pH du sol.

Un taux de saturation trop faible sera préjudiciable pour les plantes car il n'y aura pas assez de cations disponibles pour favoriser leur croissance. Un taux de saturation trop élevé révèle la prédominance d'ion carbonate, et une plus faible proportion des autres cations.

Selon Progrès-Sol, le taux de saturation optimum est de l'ordre de 75 %. Nous considérerons qu'un écart de +/- 10 % est acceptable.

3.1.5.6. L'azote

L'azote est le principal macronutriment du sol. C'est l'élément majeur garantissant le rendement des cultures. Les besoins en azote sont variables en fonction des cultures en place. La teneur en azote est difficilement évaluable car elle est très variable dans le temps et dans l'espace (en fonction du pH, de la température, de l'humidité...). Une part seulement de l'azote total est directement assimilable par les plantes.

Un excès d'azote ne sera jamais préjudiciable pour les espèces végétales (notons toutefois que l'azote étant lessivable, un excès d'azote pourra impacter les eaux filtrantes).

Nous considérerons que la teneur acceptable en azote doit dépasser 1 g/kg avec des teneurs optimales d'un point de vue agronomique supérieures à 2 g/kg.

3.1.5.7. Le phosphore

Le phosphore est l'un des macronutriments indispensables pour une bonne croissance des cultures. Il est assimilé par la plante sous forme d'ion phosphate. Il détermine la structure des végétaux en influençant les cellules et la photosynthèse. Il favorise le développement du système racinaire, la formation des fleurs et des graines.

Le phosphore est très peu lessivable dans le sol.

Un excès de phosphore ne sera jamais préjudiciable pour les espèces végétales (notons que le phosphore n'est pas lessivable).

3.1.5.8. Le potassium

Le potassium, comme le phosphore, est un des éléments majeurs indispensables à la croissance et au développement des végétaux. Il joue un rôle multiple dans la plante : échanges ioniques dans la cellule, activation de la photosynthèse, synthèse des protéines... C'est un élément peu présent à l'état naturel dans nos sols, à l'exception de certains sols calcaires ou argileux.

Dans le sol, le potassium est libéré durant la phase de croissance du végétal à partir de la phase solide du sol. Il s'agit d'un élément assez mobile mais qui peut être adsorbé sur la capacité d'échange cationique CEC des sols. Le potassium de la solution du sol est retenu par l'humus ou l'argile ; celui contenu dans les minéraux ne sera libéré que très lentement. Le potassium est un élément nutritif prélevé en très grande quantité par la plante.



3.1.5.9. Le magnésium

Le magnésium est un composant fondamental de la chlorophylle et intervient dans la synthèse, le transfert, et le stockage des glucides, protéines et lipides au cœur des végétaux. Il favorise ainsi la photosynthèse et la croissance du système racinaire. Il influe directement le rendement et protège les plantes des situations de stress.

Pour les trois éléments que sont le phosphore, la potasse et le magnésium, nous considérerons que la teneur acceptable doit dépasser 0,1 g/kg avec des teneurs optimales d'un point de vue agronomique supérieurs à 0,2 g/kg (source : Guide UNEP).

3.1.5.10. Le calcium

Le calcium est un élément nutritif secondaire qui agit sur la production des parois et de membranes cellulaires de la plante. Les carences en calcium se manifestent généralement sur l'aspect de fruits. Par ailleurs, il est directement lié au pH du sol et à ce titre, joue un rôle prépondérant dans la fertilité des sols (voir paragraphe sur le pH).

Pour le calcium, nous considérerons que la teneur acceptable doit dépasser 1 g/kg avec des teneurs optimales d'un point de vue agronomique supérieurs à 2 g/kg.



3.1.5.11. Bilan des valeurs fertilisantes

Tableau 11 : Teneurs des paramètres relatifs à la nutrition des plantes mesurés sur les horizons supérieurs des sondages

Réalisation : Valterra

Zone	Prélèvement	pH	Matière organique (g/kg)	Azote total (g/kg)	Rapport C/N	CEC (mé/kg)	Taux de saturation du complexe (%)	P2O5 (g/kg)	K2O (g/kg)	MgO (g/kg)	CaO (g/kg)
Zone 1	T1H1	7,10	33,9	1,73	11,30	92,0	94	0,18	0,47	0,13	1,88
Zone 2	T2H1	6,10	58,5	2,99	11,30	119,0	66	0,07	0,37	0,24	1,58

Valeurs défavorables	< 5,5 et > 7,5	< 10 ou > 50	< 1	< 8 ou > 15	< 120	< 65 % ou > 85%	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 1
Valeurs acceptables	5,5 à 6 et 7 à 7,5	10 à 20 et 40 à 50	1 à 2	12 à 15	120 à 200	65 % à 85%	0,1 à 0,2	0,1 à 0,2	0,1 à 0,2	1 à 2
Valeurs favorables	6 à 7	20 à 40	> 2	8 à 12	> 200	75%	> 0,2	> 0,2	> 0,2	> 2

Système de notation du paramètre :

Paramètres	pH	MO	N tot	CEC	P2O5	K2O	MgO	CaO
Points	1	1	3	2	3	3	1	1

Application à l'échelle du site d'étude :

Tableau 12 : Évaluation du paramètre « potentiel trophique » des zones du site d'étude

Source : J. MOULIN et al., 2004

Zone	pH	Matière organique (g/kg)	Azote total (g/kg)	CEC (mé/kg)	P2O5 (g/kg)	K2O (g/kg)	MgO (g/kg)	CaO (g/kg)	TOTAL
Zone 1	0,5	1,0	2,0	0,0	2,0	3,0	0,5	0,5	9,5
Zone 2	1,0	0,0	3,0	0,0	1,0	3,0	1,0	0,5	9,5

L'ensemble des éléments présentés peuvent être améliorés avec un apport de ces derniers moyennant un coût financier. De fait, la notation pourra être revue et corrigée si de nouvelles analyses montrent un changement de ces valeurs.



3.1.6. PIERROSITE (charge caillouteuse)

Système de notation du paramètre (Moulin et al., 2004) :

Son incidence, à partir d'une pierrosité supérieure à 25 % du poids total de la terre dans le profil, a déjà été précomptée au niveau des réserves utiles ; elle réduit de fait, le volume de sol exploitable, mais constitue aussi un sérieux handicap pour le travail du sol (cf. usure du matériel ...) et la vitesse d'implantation du système racinaire. Les pierres calcaires sont moins pénalisées que les fragments siliceux.

Type Eléments Grossiers	Points
0 à 25 % d'éléments grossiers	10
25 à 50 % d'éléments grossiers type EG calcaire (durs, tendres) et de grèze	5
Autres Cas (types et % d'EG)	0

Application à l'échelle du site d'étude :

Tableau 13 : Évaluation du paramètre « charge caillouteuse » des zones du site d'étude

Source : J. MOULIN et al., 2004

Zone	Note moyenne
Zone 1	5
Zone 2	5



3.2. NOTATION GLOBALE DE L'APTITUDE AGROPEDOLOGIQUE

Le tableau ci-dessous résume la notation des différents paramètres des zones du site d'étude.

Tableau 14 : Récapitulatif des évaluations des paramètres pour chaque zone du site d'étude

Zones	Texture	Hydromorphie	Enracinement	Réserve utile en eau	Potentiel trophique	Pierrosité	TOTAL
Zone 1	15	20	2	1	9,5	5	52,5
Zone 2	15	20	2	1	9,5	5	52,5

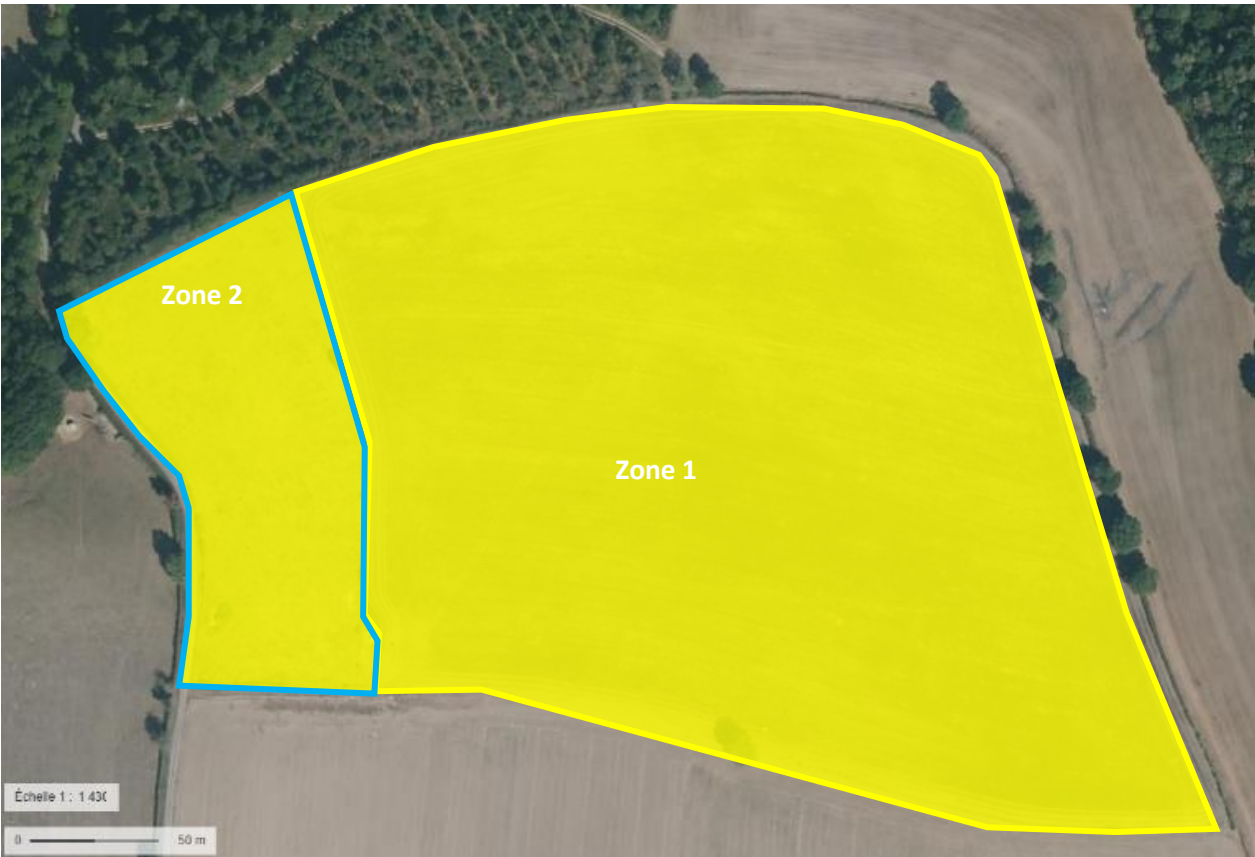
Tableau 15 : Classement des potentiels agronomiques en fonction de la note finale

Source : J. MOULIN et al., 2004

Classe	Définition	Points	Commentaires
1	Potentiel médiocre	0 à 29	Dans le contexte technico-économique actuel, la raison dicte d'y limiter les investissements
2	Potentiel très faible	30 à 39	
3	Potentiel faible	40 à 49	Sols aux potentialités réduites ; les facteurs défavorables ont une action prépondérante, et les opérations d'amélioration pourront exiger des investissements coûteux, si toutefois elles sont réalisables techniquement
4	Potentiel moyen	50 à 59	
5	Potentiel satisfaisant	60 à 69	L'éventail des cultures peut être restreint par quelques facteurs limitants ; il est possible de lever certains d'entre eux (excès d'eau, réserves en eau insuffisantes), d'autres sont immuables (texture, profil assez superficiel...)
6	Bon potentiel	70 à 79	
7	Très bon potentiel	80 à 89	Convenant à la majorité des cultures : aucun facteur limitant drastique ne vient perturber la croissance des végétaux au niveau du sol. Cependant, le climat, la topographie ou éventuellement le système cultural, peuvent interdire telle ou telle culture
8	Potentiel fort	90 à 100	

Illustration 10 : Classification du potentiel agro-pédologique en fonction des zones d'étude.

Source : VALTERRA



D'après la méthodologie d'évaluation du potentiel agronomique des sols utilisée, l'ensemble des sols de la zone d'étude présente un potentiel moyen. Toutefois, l'absence d'hydromorphie permet à elle seule d'augmenter de 20 points la note, la réalité du terrain aurait tendance à diminuer la note et passer plutôt l'étude sur un potentiel faible voir très faible. En effet, l'épaisseur de l'horizon organo-minéral ne dépasse pas les 15 cm et la profondeur totale les 35 cm. Il est important de souligner qu'un sol d'une épaisseur inférieure à 40 cm, permet difficilement l'application de toutes techniques traditionnelles de travail du sol. Dans l'état actuel, il doit être difficile de mener des cultures avec des rendements suffisants. Même une prairie temporaire aura très certainement des difficultés à s'implanter correctement.



3.3. CULTURES PRECONISES

Si dans l'absolue, la très grande majorité des cultures peuvent être implantées sur tous types de sol avec une réussite aléatoire, la recherche d'une optimisation agronomique et économique conduit à planter les cultures les plus en adéquation avec les caractéristiques agropédologiques de la parcelle. Cela permet de limiter les coûts de production et ainsi de viabiliser économiquement l'activité.

Trois principaux critères sont regardés afin de trouver la culture la plus adaptée aux conditions spécifiques de la zone étudiée : l'exigence en Potasse et Phosphore ; le pH et le besoin en eau.

○ Exigence en Potasse et Phosphore :

Les sols cultivés possèdent des réserves plus ou moins riches de Phosphore et de Potassium qui vont être libérées selon les besoins des plantes. Toutefois, il arrive qu'une trop faible disponibilité des éléments entraîne une carence qui se traduit par une perte de production.

Les plantes sont plus ou moins sensibles à ces carences, ce qui fait que pour une même carence, les pertes de rendement seront d'autant plus importantes que la plante est sensible. C'est cette exigence (ou sensibilité) qui est décrite dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Niveau d'exigence des cultures en P et K
Source : Arvalis

Niveau d'exigence	P2O5 (Phosphore)	K2O (Potasse)
Elevé	Betterave, colza, luzerne, pomme de terre	Betterave, pomme de terre
Moyen	Blé sur blé, blé dur, maïs ensilage, orge, pois, ray-grass, sorgho	Colza, luzerne, maïs, pois, ray-grass, soja, tournesol
Faible	Avoine, blé tendre, maïs grain, seigle, soja, tournesol	Avoine, blé dur, blé tendre, orge, seigle, sorgho

Ainsi, la betterave est une plante qui a un niveau d'exigence élevé par rapport à la potasse et au phosphore. Cela ne signifie pas qu'elle aura plus de besoin qu'une autre plante, cela signifie qu'elle sera plus sensible lors d'une carence dans le sol et donc que son rendement sera plus impacté qu'une culture d'avoine par exemple.

Impact économique : plus la carence est forte et plus la sensibilité de la plante est élevée : plus les dépenses économiques seront élevées avec l'achat de divers intrants plus ou moins riches en P et K.

L'ensemble de la zone d'étude ne présente aucune carence en Potasse. Cependant, les 2 zones présentent une carence en Phosphore, il faudrait donc favoriser les cultures avec une faible exigence en Phosphore. De plus, la dominance des Sables dans la texture du sol entraîne un lessivage facile des éléments fertilisants, la mise en place de culture sur la zone entraînera donc obligatoirement des frais supplémentaires pour l'exploitant.

○ Le pH du sol :

Le pH influe directement sur le développement des cultures. En effet, en pH acide, et notamment inférieur à 5,5, l'aluminium devient toxique et certaines espèces sont particulièrement sensibles à cette toxicité.

La toxicité de l'aluminium provoque une forte réduction de la croissance des racines qui deviennent épaisses et peu ramifiées. Ainsi, elles ne sont plus capables d'assurer l'alimentation minérale et hydrique des plantes. Le tableau suivant montre le niveau de sensibilité de certaines plantes par rapport à l'acidité du sol :



Tableau 17 : Sensibilité des cultures à l'acidité d'un sol

Source : Arvalis.

Niveau de sensibilité	Acidité du sol
Elevé	Légumes, luzerne, orge
Moyen	Blé tendre, colza, pois protéagineux, triticales
Faible	Maïs, prairie temporaire, prairie permanente

Ainsi, les légumes sont les plus affectées par l'acidité. Concernant les céréales, l'orge est très sensible alors que le blé ou encore le triticale le sont peu. Les prairies comme le maïs sont les plantes les moins sensibles à la toxicité de l'aluminium.

Le cas de la luzerne est un peu particulier car l'installation du rhizobium se fait uniquement avec un pH supérieur à 6.

Le chaulage permet de supprimer la toxicité de l'aluminium en augmentant artificiellement le pH du sol et ce quel que soit le type de sol ou l'espèce cultivée.

Impact économique : le chaulage régulier des parcelles est obligatoire afin de maintenir un pH suffisamment élevé, entraînant ainsi un coût pour l'exploitant.

Les zones d'études ont un pH idéal allant de 6,10 à 7,10, il n'y a donc pas de contrainte liée au pH.

- Le besoin en eau

Les plantes ont un besoin plus ou moins important d'eau tout au long de la culture ainsi qu'à différents stades.

Le tableau suivant montre le niveau d'exigence des cultures en eau.

Tableau 18 : Niveau d'exigence des cultures en eau

Réalisation : Valterra

Niveau d'exigence	Eau
Elevé	Betterave, colza, pois, soja
Moyen	Blé, maïs grain, orge, ray-grass, sorgho
Faible	Luzerne, avoine, pomme de terre, tournesol, prairie

Ainsi, la betterave, le colza ou encore le soja sont des plantes avec un fort besoin d'eau, elles devront être implantées dans des zones ayant une pluviométrie importante et/ou une réserve utile très importante afin de maximiser tous les apports en eau.

A l'inverse la culture de luzerne ou encore d'avoine ont un faible besoin en eau.

Impact économique : besoin d'irriguer ou alors perte de rendement.

La région n'étant pas dans une zone de pluviométrie forte et la réserve utile étant extrêmement faible sur la zone d'étude, il y a de fort risque que les cultures implantées souffrent d'un déficit hydrique régulier.

En conclusion, le dernier facteur concernant le besoin en eau est le plus limitant sur le site d'étude mais il ne faut pas oublier les carences en phosphore et le lessivage certain des autres éléments, il faudrait donc privilégier les cultures d'avoine, tournesol ou prairie. Attention à la très faible épaisseur du sol qui risque également de compliquer la mise en place de culture et de rendre leur rendement très aléatoire. La fluctuation des prix des différents intrants à mettre en place afin d'assurer un potentiel minimum est également à prendre en compte dans l'étude technico-économique de la filière.



4. METHODOLOGIES DE L'ETUDES, BIBLIOGRAPHIE ET DIFFICULTES EVENTUELLES RENCONTREES

Norme AFNOR NF X31-560. (2007). Qualités des sols, Cartographie des sols appliquée à toutes les échelles, acquisition et gestion informatique de données pédologiques en vue de leur utilisation en cartographie des sols.

Arrêté du 8 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.

BAIZE, D. et GIRARD, MC. (2008). Référentiel Pédologique Français. AFES, éditions QUAE, 435 p.

BAIZE, D. et al. (2011). Guide pour la description des sols. Éditions QUAE, 452 p.

BEGON, J. et MORI, A. (1978). Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 64, 1274-1285.

BRUAND, A. et al. (2004). Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données Solhydro. *Etude et gestion des Sols*, 11, 3-323.

COLLAUD, G. et al. (1990). Capacité d'échange des cations. *Revue suisse Agric.* 22, 285-289.

DELAUNOIS, A. (2013). Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols. *Chambre d'agriculture du Tarn*, 39p.

LE ROUX, J. et al. (1983). Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), *feuille Epinac* (525).

MEDDE, GIS Sol. (2013). Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, *Groupement d'Intérêt Scientifique Sol*, 63 p.

MOULIN, J. et al. (2004). Version 2, document interne CA36, *sans publication*.





CHAPITRE 2. ANNEXES

Annexe 1 : Bulletins des analyses de sols



Rapport d'analyses
TERRES

PHOTOSOL

21230

ARNAY-LE-DUC

Informations Client

ORGANISME

VALTERRA - AUTUN

Parcelle : 1
Commune : ARNAY-LE-DUC
Type de sol :
Coordonnées : E : 0, N : 0

Référence : 1403-30710-T1-H1-ARNAY
VA71A.WW003.140.10
Date de prélèvement : 19/12/2023

SADEF est exonérée de toute responsabilité quant à l'exactitude des informations fournies par le client.

Informations Laboratoire

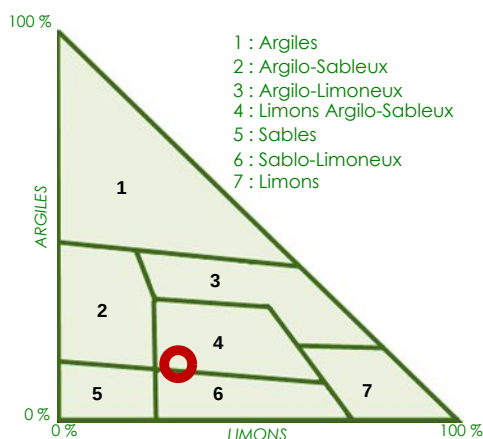
Dossier : LAB23-36463-1 Numéro Labo. T-18368-23

Date de réception : 21/12/2023
Date début analyses : 28/12/2023
Date fin analyses : 09/01/2024
Date d'édition : 10/01/2024



Texture et granulométrie

NFX 31-107 sans décarbonatation



* Argile	143	g/kg
* Limon fin	194	g/kg
* Limon grossier	93	g/kg
* Sable fin	107	g/kg
* Sable grossier	464	g/kg

Bouclage à 100% sur la fraction minérale

Indice de battance

0.7

Sol non battant

Calculé (Rémy Marin-Lafèche)

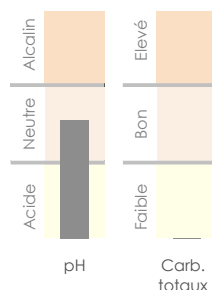
Stabilité structurale Bartoli	-
Capacité de rétention (pF 2.8)	-
Point de flétrissement (pF 4.2)	-

Etat Calcique et Matière Organique

* pH eau 7.1
NF ISO 10 390

* Carbonates totaux < 0,5 %
NF ISO 10 693

* Azote Total 1.73 g/kg
NF ISO 13 878 (méthode Dumas)



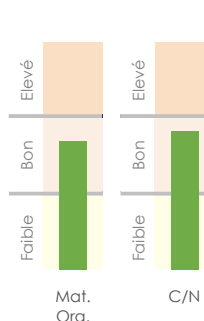
* Matière organique 33.9 g/kg 20
NF ISO 14235

* C. organique total 19.6 g/kg
NF ISO 14235

Rapport C/N 11.3 8-12

Carbone labile -

Niveau Carb. labile -
Exprimé en % du C org.

ACCREDITATION COFRAC
N°1-0751Portée disponible sur
www.cofrac.fr

SADEF

Rue de la Station - F 68700 Aspach le Bas - www.sadef.net
Tel : +33 (0)3 89 62 72 30 - Email : client@sadef.net

L'accréditation de la section Laboratoire du COFRAC atteste de la compétence technique des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, essais identifiés par une étoile (*). Ce rapport d'analyse concerne seulement l'échantillon soumis aux analyses. Ce rapport ne doit pas être reproduit sans l'approbation du laboratoire d'essai. La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. L'interprétation est hors accréditation.

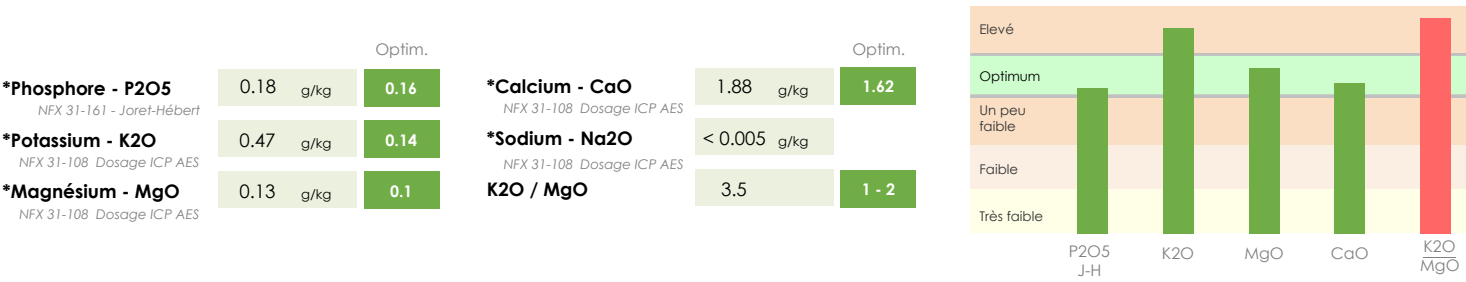
Rapport d'analyse n° : T-18368-23

Version n° 0
Page 1/3

Complexe argilo-humique et C.E.C.



Eléments majeurs échangeables



Conseil de Fumure



	PRAIRIE fauche			
Objectifs de rendement	6 t/ha MS			
Devenir des résidus				
Apport organique				
	P2O5	K2O	MgO	CaO
Exportations	55	160	20	0
Fixation à l'entretien	10	0	0	0
Lessivage	0	0	0	0
Fumure d'entretien	65	160	20	0
Majoration - Minoration	-35	-160	-10	0
Besoins annuels <i>(restant à apporter en unités par hectare)</i>	30	0	10	0

Commentaires

FUMURE POTASSIQUE:

les préconisations ci-dessus ne concernent que les cultures mentionnées et supposent un contrôle régulier de la fertilité par l'analyse.

Rapport d'analyses TERRES

VALTERRA MATIERES ORGANIQUES

Parc d'activité de Saint Andoche
Boulevard Bernard Giberstein

71400 AUTUN

Informations Client

EXPLOITANT : PHOTOSOL
21230 - ARNAY-LE-DUC

Parcelle : 1
Coordonnées : :0, :0

Référence : WW003.140.12 - PHOTOSOL - 1404-30710-T1-H2-ARNAY
Date de prélèvement : 19/12/2023

SADEF est exonérée de toute responsabilité quant à l'exactitude des informations fournies par le client.

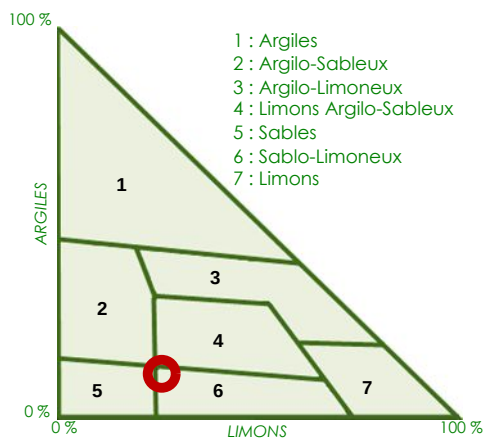
Informations Laboratoire

Dossier : LAB23-36473 Numéro Labo. : T-18378-23

Date de réception : 21/12/2023
Date début analyses : 21/12/2023
Date fin analyses : 09/01/2024
Date d'édition : 09/01/2024



Texture et granulométrie



Argile (fraction < 2µm)

Limons Fins (fraction 2 µm à 20 µm)

Limons Grossiers (fraction 20 µm à 50 µm)

Sables Fins (fraction 50 µm à 200 µm)

Sables Grossiers (fraction 200 µm à 2 mm)

Résultats	Unités	Méthodes
126	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
169	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
77	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
99	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
528	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation

Bouclage à 100% sur la fraction minérale

Echantillon fourni par le client. Le laboratoire n'ayant pas été en charge de l'étape de l'échantillonnage, les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

L'Humidité Résiduelle (*) déterminée selon la NF ISO 11465 est de 1.49 %. Ce résultat, représentant la teneur en eau après séchage et broyage, ne reflète pas la teneur en eau initiale de l'échantillon soumis à l'essai.

* : Analyses SADEF réalisées sous accréditation.

Adrien TRITTER

Adjoint Responsable SCIENTIFIQUE

Les résultats sont exprimés par rapport à la terre fine sèche à 2mm préparée selon la norme NF ISO 11464 (sur la base de la matière sèche à 105°C).

Les résultats de granulométrie sans décarbonatation sont bouclés à 1000 sur la partie minérale (Ag+Lim+Sb = 1000).

Les résultats de granulométrie avec décarbonatation sont bouclés à 1000 sur la partie minérale (Ag+Lim+Sb+Carbonates = 1000). Les incertitudes de mesure peuvent être obtenues sur demande.



ACCREDITATION COFRAC
N°1-0751

Portée disponible sur
www.cofrac.fr

SADEF

Rue de la Station - F 68700 Aspach le Bas - www.sadef.net
Tel : +33 (0)3 89 62 72 30 - Email : client@sadef.net

L'accréditation de la section Laboratoire du COFRAC atteste de la compétence technique des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, essais identifiés par une étoile (*). Ce rapport d'analyse concerne seulement l'échantillon soumis aux analyses. Ce rapport ne doit pas être reproduit sans l'approbation du laboratoire d'essai. La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Ce rapport comporte : 1 page(s)
Rapport d'analyses n° : T-18378-23

Version n°0
Page 1/1

Rapport d'analyses
TERRES

PHOTOSOL

21230

ARNAY-LE-DUC

Informations Client

ORGANISME

VALTERRA - AUTUN

Parcelle : 1
Commune : ARNAY-LE-DUC
Type de sol :
Coordonnées : E : 0, N : 0

Référence :
1405-30710-T2-H1-ARNAY
VA71A.WW003.140.11
Date de prélèvement : 19/12/2023

SADEF est exonérée de toute responsabilité quant à l'exactitude des informations fournies par le client.

Informations Laboratoire

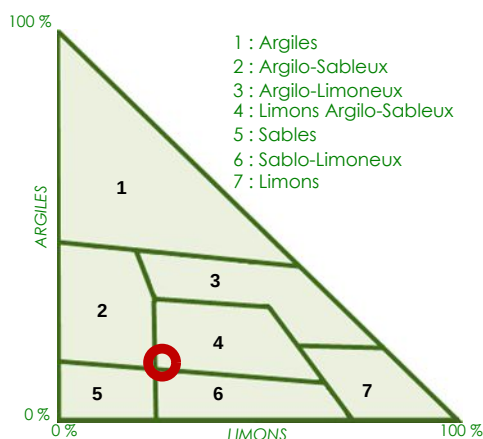
Dossier : LAB23-36464-1 Numéro Labo. T-18369-23

Date de réception : 21/12/2023
Date début analyses : 28/12/2023
Date fin analyses : 09/01/2024
Date d'édition : 10/01/2024



Texture et granulométrie

NFX 31-107 sans décarbonatation



* Argile	147	g/kg
* Limon fin	159	g/kg
* Limon grossier	88	g/kg
* Sable fin	136	g/kg
* Sable grossier	470	g/kg

Bouclage à 100% sur la fraction minérale

Indice de battance

0.4

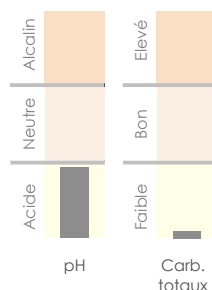
Sol non battant

Calculé (Rémy Marin-Lafèche)

Stabilité structurale Bartoli	-
Capacité de rétention (pF 2.8)	-
Point de flétrissement (pF 4.2)	-

Etat Calcique et Matière Organique

* pH eau
NF ISO 10 390
6.1



* Carbonates totaux
NF ISO 10 693
< 0.5 %

* Azote Total
NF ISO 13 878 (méthode Dumas)
2.99 g/kg

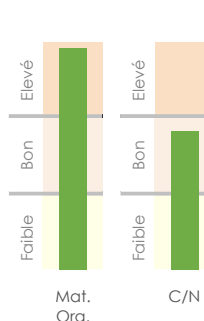
* Matière organique
NF ISO 10694
58.5 g/kg 20

* C. organique total
NF ISO 10694
33.8 g/kg

Rapport C/N 11.3 8-12

Carbone labile -

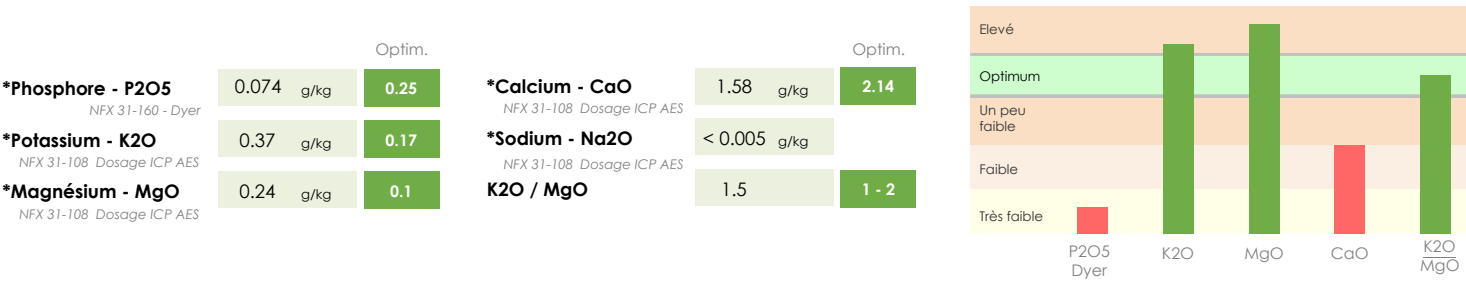
Niveau Carb. labile
Exprimé en % du C org.
-



Complexe argilo-humique et C.E.C.



Eléments majeurs échangeables



Conseil de Fumure



	PRAIRIE fauche			
Objectifs de rendement	6 t/ha MS			
Devenir des résidus				
Apport organique				
	P2O5	K2O	MgO	CaO
Exportations	55	160	20	0
Fixation à l'entretien	10	0	0	0
Lessivage	0	0	0	0
Fumure d'entretien	65	160	20	0
Majoration - Minoration	20	-110	-15	1440
Besoins annuels <i>(restant à apporter en unités par hectare)</i>	85	50	5	1440

Commentaires

CHAULAGE :

Les besoins totaux de redressement ont été évalués à 1440 unités/ha de CaO.

Rapport d'analyses TERRES

VALTERRA MATIERES ORGANIQUES

Parc d'activité de Saint Andoche
Boulevard Bernard Giberstein

71400 AUTUN

Informations Client

EXPLOITANT : PHOTOSOL
21230 - ARNAY-LE-DUC

Parcelle : 1
Coordonnées : :0, :0

Référence : WW003.140.13 - PHOTOSOL - 1406-30710-T2-H2-ARNAY
Date de prélèvement : 19/12/2023

SADEF est exonérée de toute responsabilité quant à l'exactitude des informations fournies par le client.

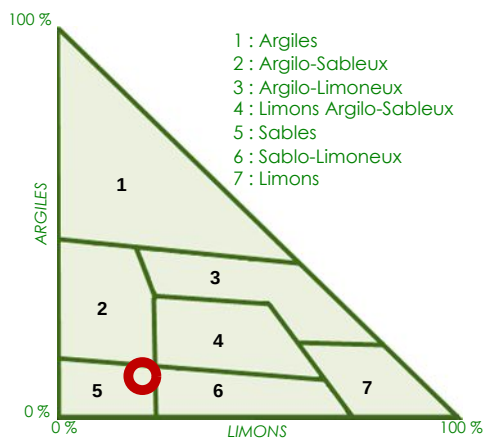
Informations Laboratoire

Dossier : LAB23-36474 Numéro Labo. : T-18379-23

Date de réception : 21/12/2023
Date début analyses : 21/12/2023
Date fin analyses : 09/01/2024
Date d'édition : 09/01/2024



Texture et granulométrie



Argile (fraction < 2µm)

Résultats	Unités	Méthodes
120	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation

Limons Fins (fraction 2 µm à 20 µm)

128	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
-----	------	---------------------------------

Limons Grossiers (fraction 20 µm à 50 µm)

70	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
----	------	---------------------------------

Sables Fins (fraction 50 µm à 200 µm)

120	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
-----	------	---------------------------------

Sables Grossiers (fraction 200 µm à 2 mm)

563	g/kg	NFX 31-107 sans décarbonatation
-----	------	---------------------------------

Bouclage à 100% sur la fraction minérale

Echantillon fourni par le client. Le laboratoire n'ayant pas été en charge de l'étape de l'échantillonnage, les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

L'Humidité Résiduelle (*) déterminée selon la NF ISO 11465 est de 1.18 %. Ce résultat, représentant la teneur en eau après séchage et broyage, ne reflète pas la teneur en eau initiale de l'échantillon soumis à l'essai.

* : Analyses SADEF réalisées sous accréditation.

Adrien TRITTER

Adjoint Responsable SCIENTIFIQUE

Les résultats sont exprimés par rapport à la terre fine sèche à 2mm préparée selon la norme NF ISO 11464 (sur la base de la matière sèche à 105°C).

Les résultats de granulométrie sans décarbonatation sont bouclés à 1000 sur la partie minérale (Ag+Lim+Sb = 1000).

Les résultats de granulométrie avec décarbonatation sont bouclés à 1000 sur la partie minérale (Ag+Lim+Sb+Carbonates = 1000). Les incertitudes de mesure peuvent être obtenues sur demande.



ACCREDITATION COFRAC
N°1-0751

Portée disponible sur
www.cofrac.fr

SADEF

Rue de la Station - F 68700 Aspach le Bas - www.sadef.net
Tel : +33 (0)3 89 62 72 30 - Email : client@sadef.net

L'accréditation de la section Laboratoire du COFRAC atteste de la compétence technique des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, essais identifiés par une étoile (*). Ce rapport d'analyse concerne seulement l'échantillon soumis aux analyses. Ce rapport ne doit pas être reproduit sans l'approbation du laboratoire d'essai. La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Ce rapport comporte : 1 page(s)
Rapport d'analyses n° : T-18379-23

Version n°0
Page 1/1