

Diagnostic agropédologique des parcs urbains de Marseille

Diagnostic agropédologique visant une meilleure
gestion des parcs urbains de la ville de Marseille



CONTACT ET SUIVI DE L'ÉTUDE

Libellé de la mission	Diagnostic agropédologique des parcs urbains de Marseille (13).
Maître d'ouvrage	Ville de Marseille
Interlocuteurs	Jérémie FREMONT (ville de Marseille) Mail : jfremont@marseille.fr
Rédacteur et contrôle qualité	Dr Florence BAPTIST Mail : fbaptist@soltis-environnement.com Marie-Caroline BRICHLER Mail : mcbrichler@soltis-environnement.com Emmanuel LAPIED Mail : emmanuel.lapied@drilobios.com
Date de réalisation	2024
Citation recommandée	Soltis Environnement, DriloBIOS. 2024. Diagnostic agropédologique des parcs urbains de Marseille.

SOMMAIRE

CONTACT ET SUIVI DE L'ÉTUDE.....	1
TABLE DES FIGURES.....	5
SOMMAIRE DES TABLEAUX.....	7
CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE	9
METHODOLOGIE MISE EN ŒUVRE	11
a. Méthode agropédologique	11
b. Méthodologie faunistique.....	13
CONNAISSANCES PREALABLES DU SECTEUR D'ETUDE.....	15
SYNTHESE DES RESULTATS GLOBAUX	18
a. Évaluation de la qualité physique des sols.....	18
b. Évaluation de la qualité chimique des sols.....	20
c. Évaluation de la qualité biologique des sols.....	24
LE PARC DE LA COLLINE SAINT-JOSEPH	31
a. Présentation et gestion du site	31
b. Contexte historique.....	32
c. Contexte géologique.....	32
d. Contexte pédologique.....	32
e. Topographie	33
f. Objectifs spécifiques au parc.....	33
g. Description pédologique et environnement du site	34
h. Qualité physique	36
i. Qualité chimique	37
j. Qualité biologique	38
k. Synthèse et préconisations	40
LE PARC DE LA BUZINE	41
a. Présentation et gestion du site	41
b. Contexte historique.....	42
c. Contexte géologique.....	42
d. Contexte pédologique.....	42
e. Topographie	43
f. Objectif.....	44
g. Description pédologique et environnement du site	44
h. Qualité physique	47
i. Qualité chimique	48
j. Qualité biologique	49
k. Préconisations	50
LE PARC CENTRAL DE BONNEVEINE	52

a.	Présentation et gestion du site	52
b.	Contexte historique	53
c.	Contexte géologique	53
d.	Contexte pédologique	53
e.	Topographie	54
f.	Objectif	54
g.	Description pédologique et environnement du site	55
h.	Qualité physique	56
i.	Qualité chimique	57
j.	Qualité biologique	59
k.	Préconisations	60
LE PARC ATHENA		61
a.	Présentation et gestion du site	61
b.	Contexte historique	62
c.	Contexte géologique	62
d.	Contexte pédologique	63
e.	Topographie	63
f.	Objectif	63
g.	Description pédologique et environnement du site	64
h.	Qualité physique	70
i.	Qualité chimique	71
j.	Qualité biologique	72
k.	Préconisations	74
LE PARC OASIS.....		76
a.	Présentation et gestion du site	76
b.	Contexte historique	77
c.	Contexte géologique	77
d.	Contexte pédologique	77
e.	Topographie	78
f.	Objectif	78
g.	Qualité physique	82
h.	Qualité chimique	83
i.	Qualité biologique	84
j.	Préconisations	85
LE DOMAINE DE L'ANNONCIADE.....		87
a.	Présentation et gestion du site	87
b.	Historique.....	87
c.	Contexte géologique	88
d.	Contexte pédologique	88
e.	Topographie	88
f.	Objectif	89
g.	Description pédologique et environnement du site	89
h.	Qualité physique	92
i.	Qualité chimique	94
j.	Qualité biologique	95
k.	Préconisations	96
LE PARC DES SŒURS FRANCISCAINES		98
a.	Présentation et gestion du site	98
b.	Contexte historique	98

c.	Contexte géologique.....	99
d.	Contexte pédologique.....	99
e.	Topographie	99
f.	Objectif.....	99
g.	Description pédologique et environnement du site	100
h.	Qualité physique	102
i.	Qualité chimique	104
j.	Qualité biologique	105
k.	Préconisations	106
BIBLIOGRAPHIE		108

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Localisation des sept parcs urbains prospectés pour le diagnostic agropédologique. L'ensemble des sites se situent dans la ville de Marseille, Bouches-du-Rhône (13).....	11
Figure 2. Représentation des couches géologiques couvrant la zone d'étude selon la carte au 1 / 50 000 harmonisée du BRGM.	15
Figure 3. Corrélation observée entre la capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur en matière organique (a), la teneur en CAO (b), l'azote (%) (c) et la teneur en argile (d).	24
Figure 4 : Corrélation observée entre la biomasse microbienne et l'azote total (a), la matière organique (b), et le pH (c).....	26
Figure 5 : Diversité morphotypique comparée entre tous les sites échantillonnés (ANN : Parc de l'Annonciade, ATH : Parc Athéna, BON : Parc de Bonneveine, BUZ : Parc de la Buzine, FRA : Parc des Sœurs Franciscaines, JOS : Parc de la Colline Saint-Joseph, OAS : Parc de l'Oasis).....	28
Figure 6 : Densité comparée de la macrofaune et de la mésofaune entre tous les sites échantillonnés (ANN : Parc de l'Annonciade, ATH : Parc Athéna, BON : Parc de Bonneveine, BUZ : Parc de la Buzine, FRA : Parc des Sœurs Franciscaines, JOS : Parc de la Colline Saint-Joseph, OAS : Parc de l'Oasis).....	28
Figure 7. Parc de la colline Saint-Joseph (source : internet).	31
Figure 8. Évolution du parc de la Colline Saint-Joseph de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.	32
Figure 9. Contexte topographique du parc de la Colline Saint-Joseph (MNT) et localisation des fosses pédologiques.	33
Figure 10. Localisation et fosses pédologiques du parc de la Colline Saint-Joseph. Les numéros associés aux fosses présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une pelouse, la deuxième fosse pédologique dans une récente plantation de résineux et la troisième fosse pédologique au sein d'une pinède ancienne.....	34
Figure 11. Profil pédologique simplifié des trois fosses pédologiques réalisées dans le parc de la Colline Saint-Joseph.....	35
Figure 12 : Densité et diversité morphotypique des trois fosses pédologiques du parc de la Colline Saint-Joseph.	39
Figure 13. Parc de la Buzine (source : internet).	41
Figure 14. Évolution du parc de la Buzine de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.	42
Figure 15. Contexte pédologique du parc urbain de la Buzine (Carte pédologique, RRP 1 / 250 000, Géoportail).	43
Figure 16. Contexte topographique du parc de la Buzine (MNT) et localisation des fosses pédologiques.....	44
Figure 17. Localisation et fosses pédologiques du parc de la Buzine. La première fosse (n°1) se situe dans l'espace boisé en régénération, et la deuxième fosse pédologique (n°2) sur une pelouse dégradée à côté de la mare.	45
Figure 18 : Profil pédologique simplifié des deux fosses pédologiques réalisées dans le parc de la Buzine.	46
Figure 19 : Densité et diversité morphotypique des deux fosses pédologiques du parc de la Buzine.....	50
Figure 20. Évolution du parc de Bonneveine de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.	53
Figure 21. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc Central de Bonneveine (MNT).....	54
Figure 22. Localisation et fosses pédologiques du parc Central de Bonneveine. Le numéro 1 en blanc présente la numérotation de la fosse pédologique. La première fosse pédologique se situe dans un bosquet herbacé.	55
Figure 23 : Profil pédologique simplifié de la fosse pédologique réalisée dans le parc Central de Bonneveine....	56
Figure 24 : Densité et diversité morphotypique de la fosse pédologique du parc Central de Bonneveine.	59
Figure 25. Évolution du parc Athéna de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.	62
Figure 26. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc Athéna (MNT).....	63
Figure 27. Localisation et fosses pédologiques du parc Athéna. Les numéros 1, 2, 3, 4 et 5 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une pelouse, la deuxième sur un ancien chemin de vélo à proximité de la première fosse, la troisième dans une pelouse à proximité d'une pinède, la quatrième dans une pinède pionnière, et la cinquième fosse pédologique au sein d'un bassin d'expansion des crues.....	64
Figure 28 : Profil pédologique simplifié des cinq fosses pédologiques réalisées dans le parc Athéna.	69
Figure 29 : Densité et diversité morphotypique des cinq fosses pédologiques du parc Athéna.....	73
Figure 30 : Parc Oasis (source : internet).....	76

Figure 31. Évolution du parc de l'Oasis de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.	77
Figure 32. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc de l'Oasis (MNT).	78
Figure 33. Localisation et fosses pédologiques du parc de l'Oasis. Les numéros 1 et 2 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une zone de pelouse entretenue et la deuxième fosse pédologique dans une zone de pelouse dégradée.	79
Figure 34 : Profil pédologique simplifié des deux fosses pédologiques réalisées dans le parc de l'Oasis.	81
Figure 35 : Densité et diversité morphotypique des deux fosses pédologiques du parc de l'Oasis.	85
Figure 36 : Domaine de l'Annonciade (source : Internet).	87
Figure 37. Évolution du Domaine de l'Annonciade de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.	87
Figure 38. Contexte topographique des fosses pédologiques du Domaine de l'Annonciade (MNT).	88
Figure 39. Localisation et fosses pédologiques du Domaine de l'Annonciade. Les numéros 1, 2 et 3 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une zone de friche en cours de fermeture, la deuxième fosse pédologique se situe dans une zone boisée et la troisième fosse pédologique se situe dans une pelouse.	89
Figure 40. Profil pédologique simplifié des trois fosses pédologiques réalisées au sein du Domaine de l'Annonciade.	92
Figure 41 : Densité et diversité morphotypique des trois fosses pédologiques du domaine de l'Annonciade.	96
Figure 42 : Parc des Sœurs Franciscaines (source : Internet).	98
Figure 43. Évolution du parc des Sœurs Franciscaines de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.	98
Figure 44. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc des Sœurs Franciscaines (MNT).	99
Figure 45. Localisation et fosses pédologiques du parc des Sœurs Franciscaines. Les numéros 1 et 2 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une récente plantation forestière, et la deuxième fosse pédologique dans une zone clôturée « sauvage ».	100
Figure 46 : Densité et diversité morphotypique des deux fosses pédologiques du parc des Sœurs Franciscaines.	106

SOMMAIRE DES TABLEAUX

Tableau 1. Période de terrain et conditions climatiques.....	12
Tableau 2. Paramètres mesurés dans les fosses pédologiques ouvertes.	12
Tableau 3. Paramètres physico-chimiques analysés par un laboratoire externe dans le cadre de cette étude.	12

Partie 1

Contexte et objectifs de l'étude



Contexte et objectif de l'étude

La Ville de Marseille affiche la volonté de ramener « **la nature dans la ville** » comme le soulignent les efforts entrepris, depuis 2006, sur une partie des parcs urbains de la ville ainsi que l'obtention de certaines accréditations comme le label « **EcoJardin** ».

La ville a la volonté d'étendre la labellisation « **EcoJardin** » à d'autres parcs urbains, comme celui des Sœurs Franciscaines (13006) ainsi que le futur parc de l'Annonciade (13015), nommés à ce jour Domaine de l'Annonciade, et rachetés par la ville de Marseille en juin 2022.



Le label « EcoJardin » a été mis en place par Plante & Cité, l'agence régionale de la biodiversité Île-de-France, et en collaboration avec la Ville de Marseille.

Ainsi, afin de pérenniser cette gestion écologique et de l'amorcer au sein de nouveaux espaces verts, la ville de Marseille a sollicité Soltis Environnement afin d'évaluer la fonctionnalité des sols dans sept parcs urbains :

- > le parc de la Buzine ;
- > le parc de la Colline Saint-Joseph ;
- > le parc Central de Bonneveine ;
- > le parc Athéna ;
- > le parc Oasis ;
- > le Domaine de l'Annonciade ;
- > le parc des Sœurs Franciscaines missionnaires de Marie.

Parmi ces sept parcs urbains, seuls les cinq premiers sont labellisés « **EcoJardin** ». Et la ville de Marseille a la volonté d'étendre la labellisation aux deux derniers parcs urbains cités.

Ce rapport restitue le diagnostic agropédologique de l'ensemble de ces sept parcs, en recherchant à répondre à l'ensemble des objectifs suivant :

- > **Quelle est la qualité physico-chimique et biologique des sols ?**
- > **Quelle est la biodiversité recensée dans ces sols ?**
- > **Quelle est la pertinence de certaines actions et quelles préconisations peuvent être formulées pour une meilleure gestion ?**

Ce rapport fait état d'une analyse globale et individuelle des parcs urbains prospectés suivie de préconisations à l'échelle de chaque parc urbain. **Chaque parc urbain peut donc être étudié de façon individuelle.**

Partie 2

Méthodologie mise en œuvre



Méthodologie mise en œuvre

a. Méthode agropédologique

À partir des travaux antérieurs et des données publiques disponibles, une analyse du contexte environnemental de chaque site a été menée dans le but d'évaluer la **fonctionnalité des sols**, au regard des critères agropédologiques, pour chacun des sept parcs urbains étudiés (Figure 1).

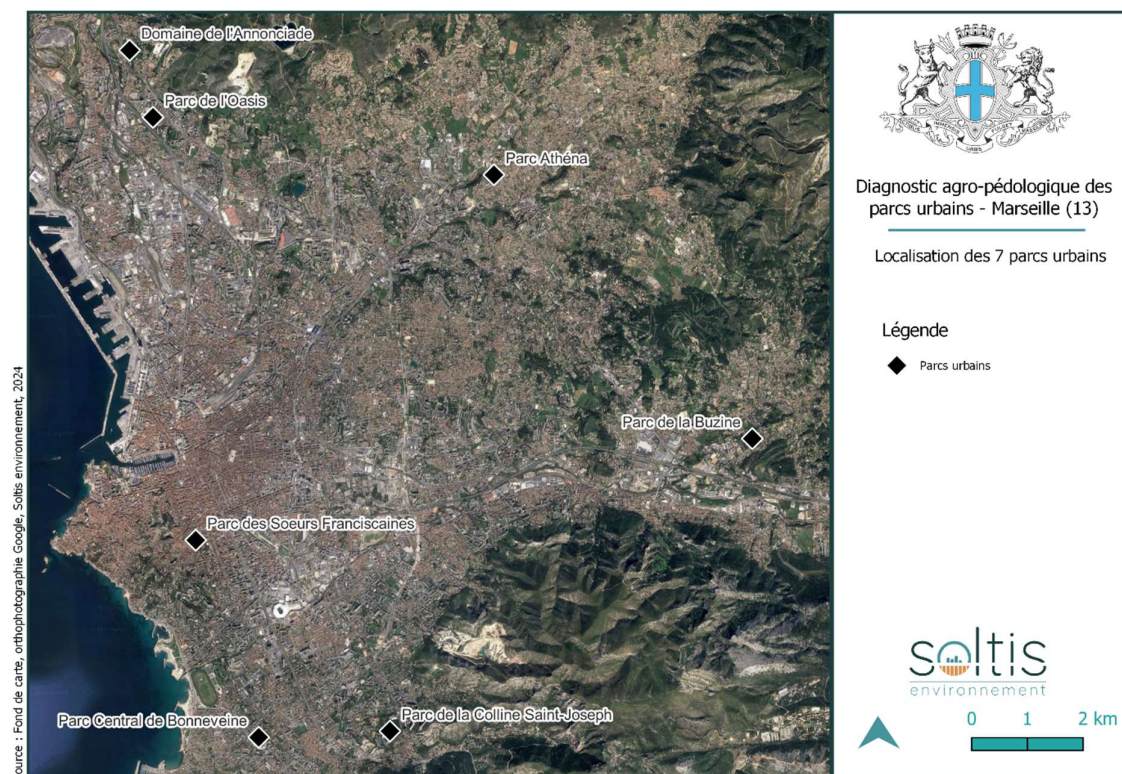


Figure 1. Localisation des sept parcs urbains prospectés pour le diagnostic agropédologique. L'ensemble des sites se situent dans la ville de Marseille, Bouches-du-Rhône (13).

La méthodologie mise en place suit les trois étapes suivantes :

- > Une phase préparatoire aux investigations des parcs urbains prospectés ;
- > Une campagne de terrain afin de décrire les sols à l'aide d'ouverture manuelle de fosse pédologique ;
- > Une étude fine des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des horizons de chaque fosse pédologique, envoyés en laboratoire.

La phase préparatoire s'est basée sur la littérature suivante :

- > Sites labellisés, Label EcoJardin ;
- > Carte géologique au 1 / 50 000e, BRGM ;
- > Carte pédologique au 1/ 250 000e, INRAE ;
- > Remonter le temps, IGN ;
- > Base de données des tronçons hydrographiques, BDLISA ;
- > Modèle numérique de terrain, IGN ;
- > Base de données BDAT, INRAE.

Cette analyse a été complétée par une étude de terrain, dont les informations se trouvent dans le tableau ci-joint :

Tableau 1. Période de terrain et conditions climatiques.

Date	Personnes présentes	Météo	Contexte climatique
27/12/2023	F. Baptist, MC. Brichler	Ciel dégagé, temps frais	Fin de de la saison automnale
28/12/2023	F. Baptist, MC. Brichler	Ciel dégagé, temps frais	Fin de de la saison automnale
29/12/2023	F. Baptist, MC. Brichler	Ciel dégagé, lendemain de pluie	Fin de la saison automnale

Dix-huit fosses pédologiques, réparties dans 7 parcs urbains, ont été ouvertes manuellement, afin d'y procéder à un diagnostic **agropédologique**. L'objectif était d'y décrire les deux premiers horizons, présentant le plus d'**intérêt agronomique**, sur un profil de sol ne dépassant pas 60 cm de profondeur, où se situe généralement le matériau parental.

La litière, ou appelé horizon organique, n'est pas considéré comme un horizon, le premier horizon présentait donc toujours une **matrice minérale**. Il a été réalisé par la description d'un troisième horizon pour la compréhension d'une zone, suspecté humide, dans le Domaine de l'Annonciade, en état de friche, et considérée comme première fosse de ce parc (fosse pédologique n°1). **C'est donc un total de 37 horizons qui ont été analysés.**

Chaque ouverture de fosse faisait l'objet d'un repérage GPS et d'une description visuelle ; les différents éléments qui y ont été observés sont résumés dans le Tableau 2 suivant :

Tableau 2. Paramètres mesurés dans les fosses pédologiques ouvertes.

Paramètres mesurés
<ul style="list-style-type: none"> > Description de l'environnement du profil : topographie, aménagement, couverture végétale, litière, couverture d'éléments grossiers... > Épaisseur des horizons > Structure : grumeleuse, polyédrique, massive > Enracinement : faible, moyen, important > Texture dominante : argileuse, limoneuse ou sableuse > Couleur Munsell > Teneur en éléments grossiers : faible > État d'humidité sur site : sec, frais, humide, très humide, engorgé > État de compacité : Faible, moyenne, importante > Hydromorphie (observation des traces redox) > Densité apparente > Humidité relative > Caractère calcaire (test HCl) > Traces d'activité biologique

À la suite de la description de la fosse pédologique, des échantillons ont été prélevés, sur chaque horizon, afin de les envoyer dans un laboratoire pour une description fine des **caractéristiques physico-chimiques**. Les analyses physiques et chimiques ont été envoyées au laboratoire LANO, à Saint-Lô (50), selon la norme NF EN ISO/CEI 17025. Le Tableau 3 suivant résume les différents paramètres mesurés et les normes correspondantes par le laboratoire externe.

Tableau 3. Paramètres physico-chimiques analysés par un laboratoire externe dans le cadre de cette étude.

Type d'analyses	Analyses (norme)
Physique du sol	<ul style="list-style-type: none"> > Granulométrie (NF X31-107, sans décarbonatation)
Chimie du sol	<ul style="list-style-type: none"> > pH eau (NF ISO 10390) > SEC (NF X31-130) > Taux de saturation > Teneur en cations échangeables (NF X31-108) > Teneur en matière organique (NF ISO 14235) > Teneur en carbone organique (NF ISO 14235) > Teneur en azote total (NF ISO 11261) > Rapport C/N (NF ISO 11261) > Teneur en P Olsen (NF ISO 11263) > Teneur en calcaire total (NF ISO 10693)
Biologie du sol	<ul style="list-style-type: none"> > Biomasse microbienne (N. ISO 14.240-2)

Un échantillonnage supplémentaire sur chaque horizon a été réalisé par Soltis Environnement afin de mesurer la **densité apparente**, l'**humidité relative** et la **porosité**.

Les résultats ont été traités à la suite d'un travail scientifique de traitement de données, à l'aide d'Excel, ainsi que des langages R et Python.

b. Méthodologie faunistique

Le protocole de récolte de la faune suivi au cours de ce travail a consisté en l'extraction manuelle d'un monolithe de sol de 25x25 cm de côté sur 20 cm de profondeur, en marge de chaque fosse creusée pour les analyses de sol et à une distance maximum de deux mètres de celle-ci. Aucun produit chimique ou irritant n'a été introduit dans les sols étudiés.

Les vers de terre et arthropodes (myriapodes, isopodes, araignées et insectes) de grande taille ont été récoltés directement *in situ* après un tri manuel rapide et fixés à l'éthanol 70°.

Rapportés au laboratoire, les échantillons de sols ont été retriés afin de vérifier l'éventuelle présence résiduelle de macrofaune, puis un volume composite de 500 cm³ de chacun d'entre eux, incluant à part égale l'ensemble des profondeurs de 0 à 20 cm, a été introduit dans un appareil de Berlese durant 10 jours. Les échantillons de sol, placés sur un tamis dans un entonnoir, ont ainsi séché très progressivement à l'air, sans lampes ni aucune source de chaleur de surface afin d'éviter toute mortalité prématurée. Comme pour la macrofaune récoltée *in situ*, l'ensemble de la faune ainsi extraite a été fixée à l'éthanol 70°.

Pour tous les groupes animaux étudiés, à l'exception des vers de terre identifiés à l'espèce quand le stade de développement le permettait, la diversité a été appréhendée par l'identification de morphotypes. Chaque spécimen de morphologie caractéristique a été considéré comme un type morphologique distinct. Ainsi, la diversité taxonomique est présentée ici sous la forme de diversité morphotypique.

Les données d'abondance présentées en termes de nombre d'individus par mètre carré représentent une extrapolation des résultats obtenus pour un volume de 500 cm³ de sol composite incluant à part égale l'ensemble des profondeurs de 0 à 20 cm.

Partie 1

Connaissance actuelle des
différents secteurs d'étude



Connaissances préalables du secteur d'étude

Les sites étudiés concernent donc sept parcs urbains, situés dans sept arrondissements différents de la commune de Marseille, dans le département des Bouches-du-Rhône. Une distance de 13 km sépare les deux parcs les plus éloignés, le Domaine de l'Annonciade situé au nord et le parc de la Colline Saint-Joseph situé au sud de Marseille, dans un axe nord-sud, et une distance de 10 km sépare les parcs urbains les plus éloignés, le parc de la Buzine et le parc des Sœurs Franciscaines, dans un axe est-Ouest.

La majorité des parcs urbains (parc de la Buzine, parc Athéna, parc de l'Oasis et le Domaine de l'Annonciade) sont localisés sur le bassin sédimentaire de Marseille (entité 563AB, Formations détritiques à dominante oligocène du bassin de Marseille, BDLISA), fortement marqué par des sédiments constitués de calcaires lacustres, de conglomérats, de grès et poudingues, marnes et argiles, ainsi que de bancs calcaires pluridécimétriques.

À l'exception des bordures de Marseille, cette entité forme un relief peu accentué, avec une altitude moyenne comprise entre 100 et 200 mètres d'altitude dans la partie est, avoisine 50 mètres d'altitude dans la partie ouest de Marseille, en direction de la mer.

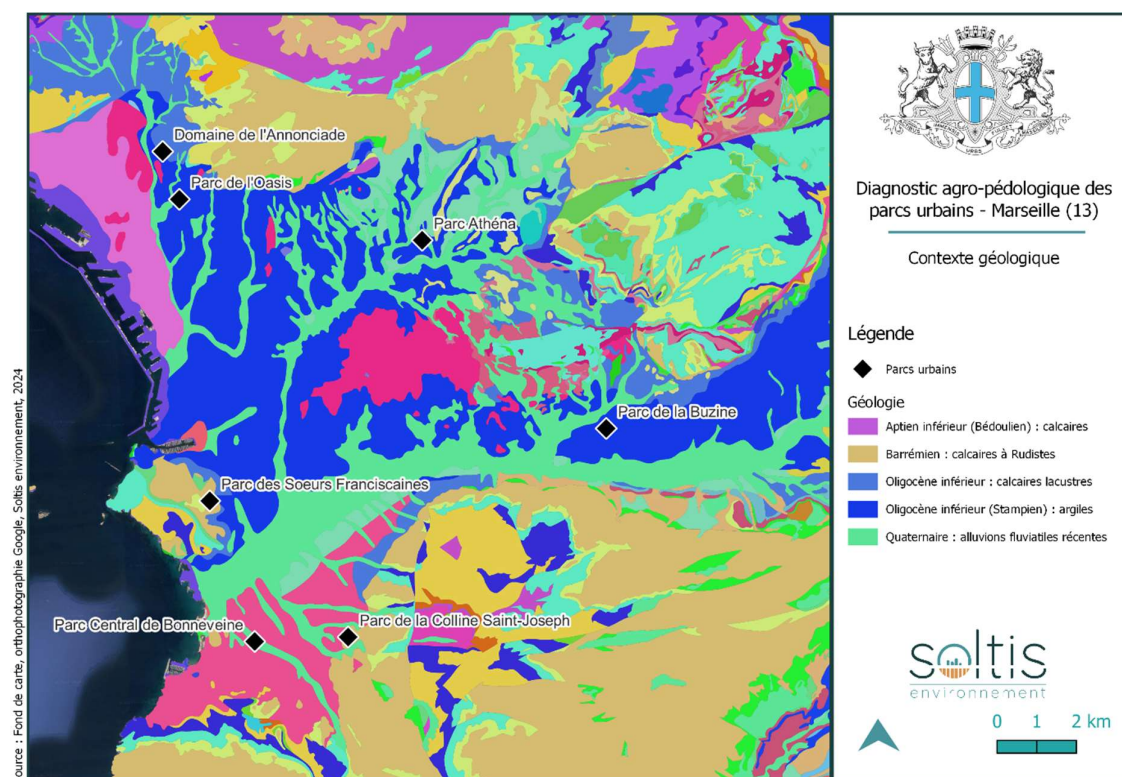


Figure 2. Représentation des couches géologiques couvrant la zone d'étude selon la carte au 1 / 50 000 harmonisée du BRGM.

Les trois autres parcs urbains (parc Central de Bonneveine, parc de la Colline Saint-Joseph, et le parc des Sœurs Franciscaines) se situent dans le massif des Calanques et au sein Bassin de Beausset (entité 565J00, Systèmes karstiques des Calanques entre Marseille et Cassis, BDLISA), constitués de plusieurs formations ; une première alternance de grès, d'argiles, gréseuses et de marnes sableuses, avec ponctuellement des horizons calcaires, une succession marneuse, une série dolomitique et calcaire épaisse affleurant largement dans le massif des Calanques, et enfin des calcaires dolomitiques et dolomies présentant des intercalations marneuses et argileuses.

Ce contexte géologique donne lieu à une formation karstique¹ très développée, induisant donc une perméabilité très élevée ; l'aquifère est alors alimenté en majorité par l'infiltration de l'eau des pluies. Le relief y est élevé avec une altitude moyenne de 400 mètres.

Le climat de Marseille est de type méditerranéen, caractérisé par des hivers doux et des étés chauds et secs.

¹ Le matériel karstique est une structure géomorphologique résultant de l'érosion hydrochimique des roches calcaires.

La ville de Marseille est régulièrement victime de sécheresse, et est marquée par une faible pluviométrie, 283 mm en 2023, avec une précipitation de 33.9 mm au cours du mois de décembre (Infoclimat, 2023).

L'urbanisation de la ville présage une anthropisation et un remaniement important des sols de Marseille, très influencés par le matériau parental calcaire. Les sols du centre de la ville sont occupés par des zones urbanisées, et le reste du bassin est occupé par des zones agricoles, principalement maraîchères et caractérisé par un habitat diffus. Les informations pédologiques disponibles ne concernent que le pourtour du bassin sédimentaire de Marseille.

Généralement, les sols urbains sont caractérisés d'**Anthroposols** (Référentiel pédologique français, 2008). Ils ne présentent pas de pédogenèse naturelle, et sont souvent marqués par une destruction en raison d'un mélange des horizons, du nivellement, du talutage ou encore l'addition répétée de matériaux allochtones terreux ou inertes impliquant l'apport de quantités notables de matières minérales (mottes de gazon, sable de plage, fumiers terreux, curage ...) (Référentiel pédologique français, 2008).

Partie 3

Synthèse générale des résultats



Synthèse des résultats globaux

Pour rappel, 18 fosses pédologiques ont été réalisées sur 7 parcs Marseillais. Des échantillons des horizons de surface et de sous-face ont été collectés et analysés du point de vue physique, chimique et biologique. Une première analyse globale est proposée ci-dessous. Elle permet de définir les caractéristiques générales des sols observés en termes de structure physique, de potentiel de fertilité et de biodiversité présente.

Une analyse par parc est par la suite proposée accompagnée de préconisations destinées aux gestionnaires.

a. Évaluation de la qualité physique des sols

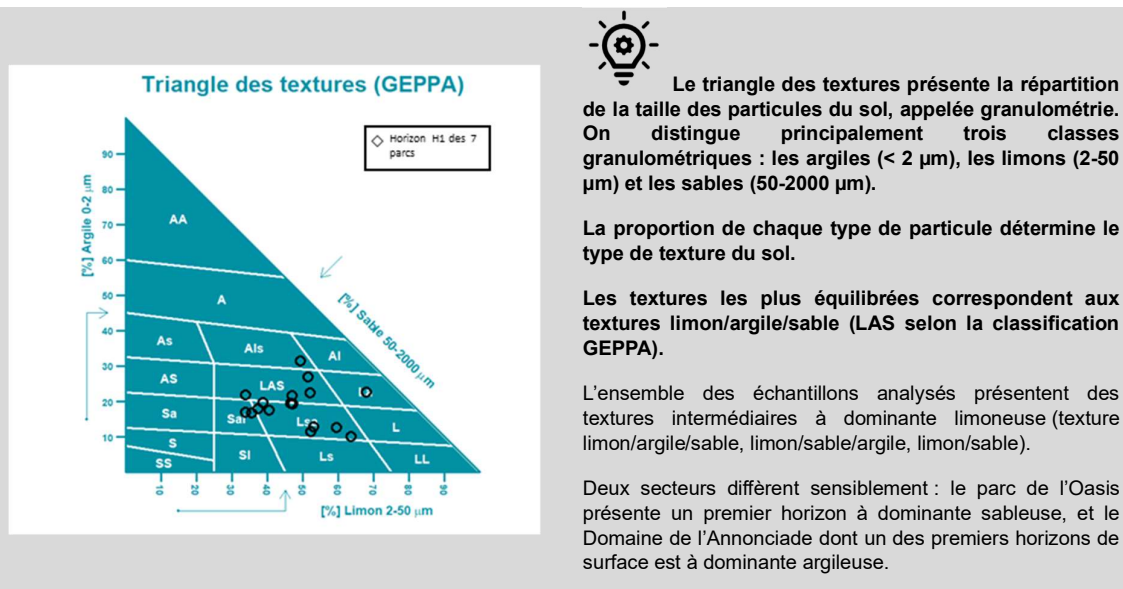
La qualité physique des sols s'évalue au travers de différents paramètres :

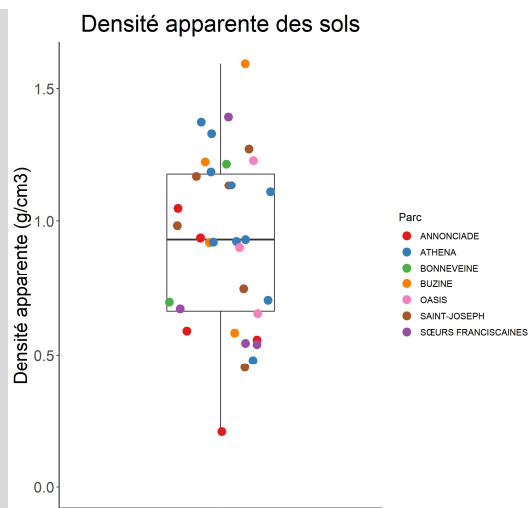
- > La texture des sols ;
- > La densité apparente ;
- > L'indice de battance ;
- > La porosité des sols.

La teneur en eau des sols mesurée à un temps t peut également être intéressante lorsque différentes situations sont comparées. En revanche, elle présente en général une forte variabilité temporelle. D'autres paramètres comme la capacité au champ ou le point de flétrissement peuvent être préférés pour évaluer la réserve utile des sols.

Les résultats obtenus pour ces différents paramètres sont présentés ci-dessous. Pour chaque paramètre, des éléments de compréhension sont donnés.

À noter que la valeur de porosité dans les sols est très influencée par la présence d'éléments grossiers, et peut présenter des valeurs très hétérogènes empreintes d'une incertitude élevée.



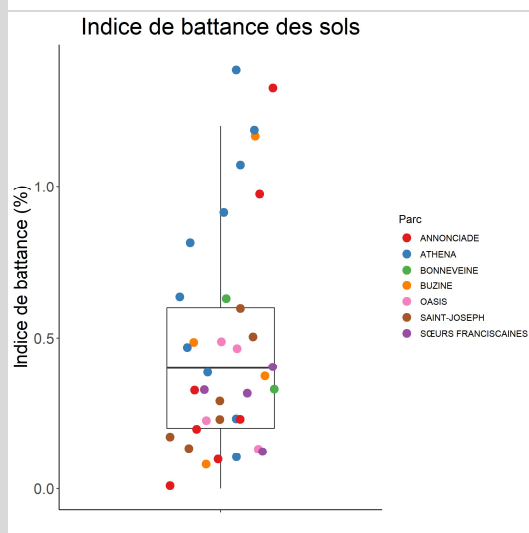


La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol.

D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieur à $1,5 \text{ g cm}^{-3}$.

Les densités apparentes mesurées sur l'ensemble des parcs urbains sont hétérogènes, mais présentent des valeurs convenables.

Seul le second horizon de la fosse n°2 du parc de la Buzine, présente une densité apparente supérieure à $1,5 \text{ g cm}^{-3}$.

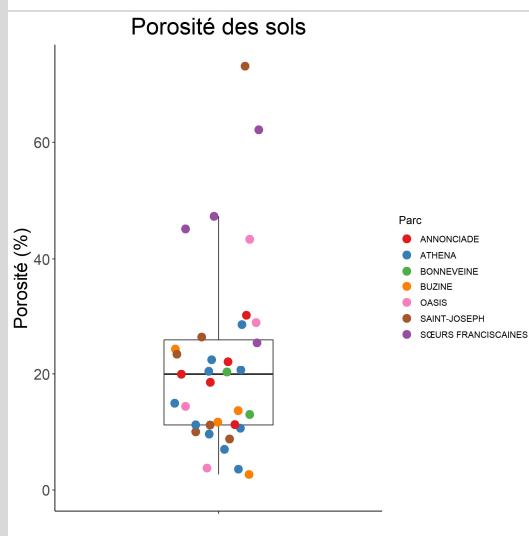


L'indice de battance évalue le risque de battance de sols, liée à la stabilité de leur structure. Le limon est la particule minérale particulièrement destructurant.

D'un point de vue agronomique, le sol est considéré comme non battant lorsque l'indice est inférieur à 1,6, et très battant lorsqu'il est supérieur à 1,8.

Les indices de battances mesurés sur l'ensemble des parcs urbains sont hétérogènes, mais présentent des valeurs convenables.

Aucun horizon ne fait état d'une problématique de battance, malgré la dominante limoneuse d'une partie de leur texture.

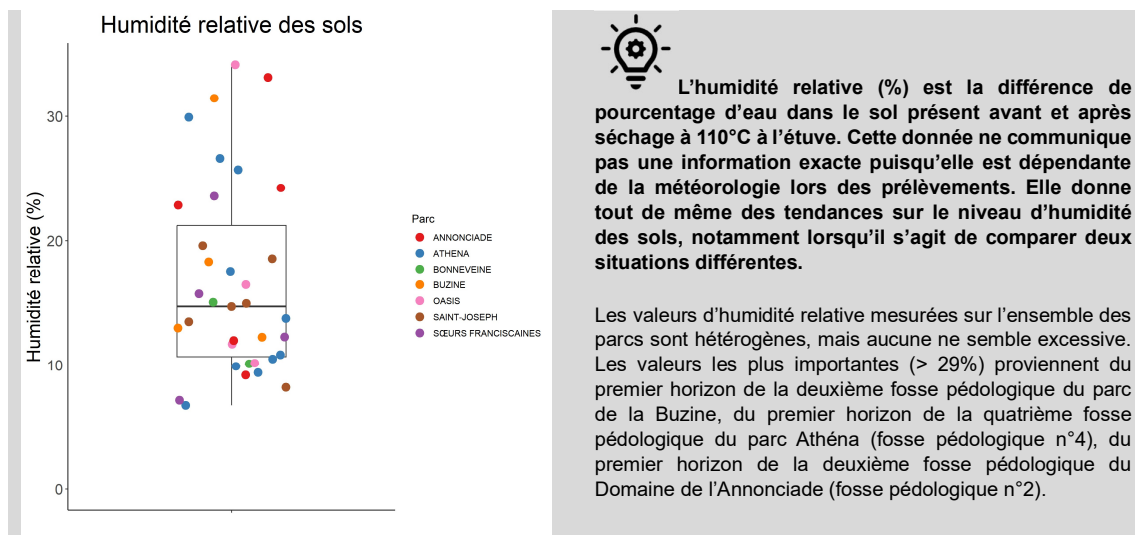


La porosité des sols (%) contient les phases liquides et gazeuses du sol, sauf les phases minérales. La porosité est constituée des macropores et des micropores. Plus la porosité est faible, plus les sols sont tassés, et à l'inverse plus la porosité est importante, plus les sols sont aérés et à texture équilibrée. La porosité des sols se situe entre 30% et 40% en moyenne.

Les valeurs de porosité mesurées sur l'ensemble des parcs urbains sont hétérogènes et relativement basses, faisant état d'une compacité importante dans l'ensemble des sols.

Seuls trois horizons² ont des valeurs de porosité supérieures à 40%.

² Le premier horizon de la fosse pédologique sous la pinède du parc de la Colline Saint Joseph (fosse pédologique n°3), le deuxième horizon de la fosse pédologique au sein de la pelouse du parc urbain de l'Oasis (fosse pédologique n°2), les deux horizons de la première fosse pédologique du parc des Sœurs Franciscaines (fosse pédologique n°1) et le deuxième horizon de la deuxième fosse du parc des Sœurs Franciscaines (fosse pédologique n°2).



Les sols étudiés présentent globalement une texture équilibrée à dominante limon/argile/sableuse (LAS). L'indice de battance est faible indiquant un risque très limité de formation de croûte de battance. La densité apparente présente des valeurs généralement correctes (quelques valeurs élevées sont malgré tout observées). En revanche, la porosité est relativement faible, soulignant un tassement généralisé des sols des parcs urbains. L'humidité relative est, sans surprise, très variable.

b. Évaluation de la qualité chimique des sols

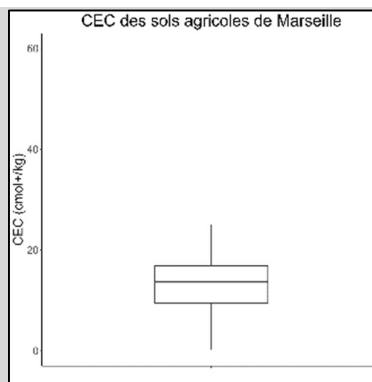
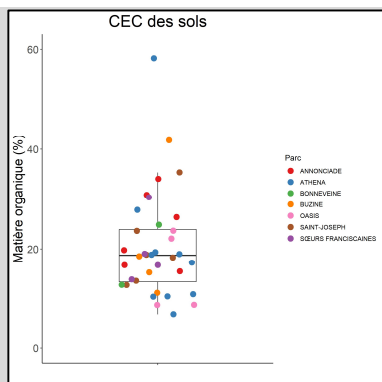
La qualité chimique des sols s'évalue au travers de différents paramètres :

- > La Capacité d'Échange Cationique (CEC) ;
- > Le carbone organique ou la teneur en matière organique (MO) ;
- > Le ratio C/N (Carbone sur azote) ;
- > La teneur en phosphore assimilable (Méthode Olsen) ;
- > Le pH des sols.

Les résultats obtenus pour ces différents paramètres sont présentés ci-dessous. Pour chaque paramètre, des éléments de compréhension sont donnés.



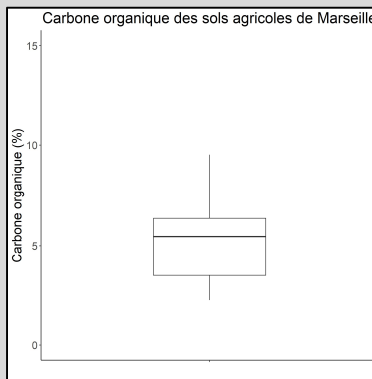
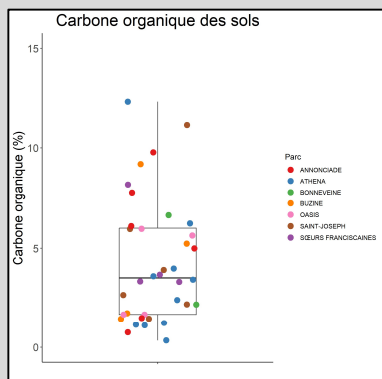
Les valeurs chimiques du premier horizon de l'ensemble des fosses pédologiques ont été comparées aux valeurs correspondantes de la BDAT, base de données qui capitalise les résultats d'analyse de surface des sols cultivés du canton marseillais (Base de Données d'Analyses des Terres, INRAE).



La CEC renseigne sur le potentiel de rétention du sol vis-à-vis des cations, nutriments indispensables à la croissance des plantes (potassium, magnésium, calcium, sodium). Plus ce potentiel est élevé et plus le sol est capable de retenir les cations et plus la fertilité potentielle d'un sol est importante. Dans les sols naturels, il peut présenter des valeurs très élevées.

L'étendue de la CEC (cmol+/kg), avec une médiane inférieure à 20, est légèrement au-dessus de celle présentée par la BDAT dans le canton marseillais.

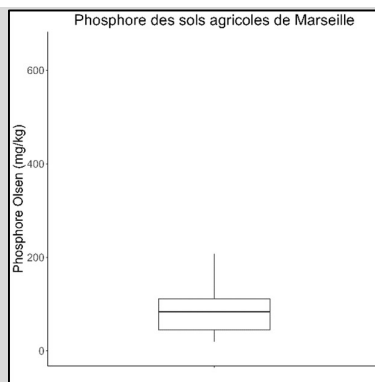
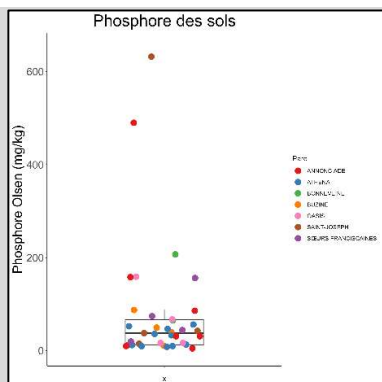
Elle fait état d'une CEC correcte (12 – 25 cmol+/kg), élevée (25 – 40 cmol+/kg), avec deux horizons présentant une CEC très élevée (> 40 cmol+/kg). Le deuxième horizon de la première fosse pédologique (fosse pédologique n°1) du parc urbain de la Buzine, le premier horizon de la quatrième fosse pédologique du parc urbain Athéna (fosse pédologique n°1), le premier horizon de la deuxième fosse pédologique (fosse pédologique n°2) du Domaine de l'Annonciade.



Le carbone organique provient de la décomposition de la matière organique, et est un élément essentiel au cycle de la vie. Il est un indicateur important de la fertilité des sols. Dans les sols agronomiques, il est considéré comme satisfaisant à partir de 1,1 %. Dans les sols naturels, il peut présenter des valeurs beaucoup plus élevées.

L'étendue du carbone organique (%), avec une médiane supérieure à 4, est légèrement au-dessus de celle présentée par la BDAT du canton marseillais. Ces teneurs sont élevées au regard des valeurs usuelles de carbone organique, et **font état d'une fertilité importante des sols urbains et agronomiques du canton.**

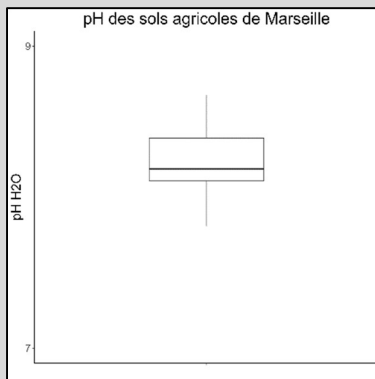
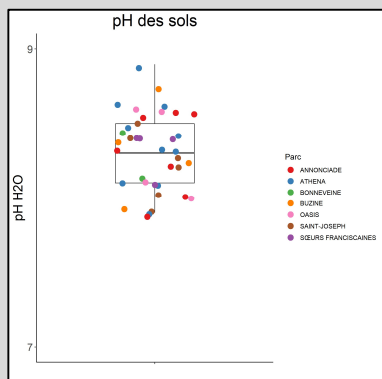
Elles sont particulièrement très importantes (> 9%). Concernant le deuxième horizon de la première fosse pédologique (fosse pédologique n°1) du parc urbain de la Buzine, le premier horizon de la quatrième fosse pédologique du parc urbain Athéna (fosse pédologique n°1), le premier horizon de la deuxième fosse pédologique (fosse pédologique n°2) du Domaine de l'Annonciade, et enfin le premier horizon de la troisième fosse pédologique du Domaine de l'Annonciade (fosse pédologique n°3).



Le phosphore (mg/kg) est considéré comme l'un des trois éléments essentiels à la croissance des végétaux. Son optimal agronomique est de 100 mg/kg. Il reste cependant difficilement assimilable par les plantes, et les sols de France sont couramment en dessous du seuil optimal.

L'étendue du phosphore, avec une médiane d'environ 40 mg/kg, reste en dessous de celle présentée par la BDAT dans le canton marseillais, et en dessous du seuil optimal de croissance pour les cultures (100 mg/kg). En revanche, certaines valeurs sont très largement supérieures à ce seuil notamment :

- > le premier horizon de la troisième fosse pédologique du parc de la Colline Saint-Joseph (fosse pédologique n°3),
- > le premier horizon de l'unique fosse pédologique du parc Central de Bonneveine,
- > le premier horizon de la deuxième fosse pédologique du parc urbain de l'Oasis (fosse pédologique n°2),
- > le deuxième horizon de la deuxième fosse pédologique du Domaine de l'Annonciade (fosse pédologique n°2),
- > le premier horizon de la troisième fosse pédologique du Domaine de l'Annonciade (fosse pédologique n°3),
- > le premier horizon de la deuxième fosse pédologique du parc des Sœurs Franciscaines (fosse pédologique n°2).



Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

L'étendue du pH, avec des valeurs relatives aux fosses allant de 7,9 à 8,9, avec une médiane de 7,9 pour les sols des parcs urbains et les sols agricoles du canton de Marseille, est tout à fait convenable pour un sol agricole. Ces valeurs, qualifiées de moyennement alcalines, s'expliquent par le socle géologique calcaire, naturellement alcalin, sur lequel repose l'ensemble des parcs urbains.



Un équilibre entre la présence de carbone d'une part et d'azote d'autre part est essentiel pour la vie de la faune et de la flore d'un sol. Le premier fournit l'énergie et le deuxième rentre dans la composition des protéines.

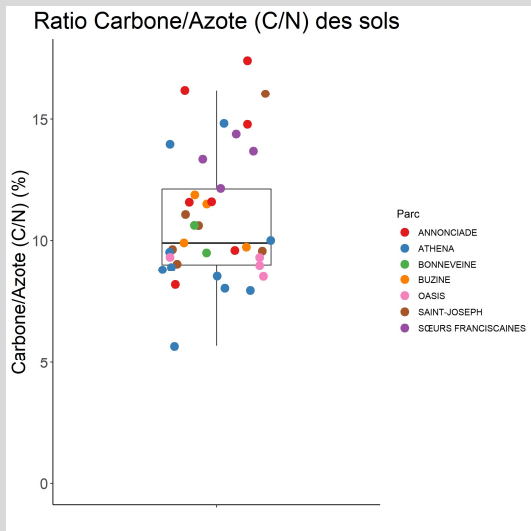
L'équilibre est optimal lorsque le ratio est aux alentours de 10 dans le sol.

L'étendue de ce ratio est convenable, se situant majoritairement entre les valeurs de 8 et 12 (le rapport C/N n'est pas disponible dans la BDAT, aucune comparaison n'a pu être effectuée).

Le deuxième horizon de la cinquième fosse pédologique du parc Athéna présente une forte proportion d'azote en comparaison avec le carbone ($C/N < 8$). Ceci est généralement le signe d'une teneur en carbone très faible.

À l'inverse, les horizons suivants présentent des ratios C/N élevés (> 14), impliquant une dégradation de la matière organique ralentie.

- > le deuxième horizon de la troisième fosse pédologique du parc de la Colline Saint-Joseph (fosse pédologique n°3),
- > les deux horizons de la quatrième fosse pédologique du parc Athéna (fosse pédologique n°4),
- > les deux horizons de la deuxième fosse pédologiques du Domaine de l'Annonciade (fosse pédologique n°2),
- > le deuxième horizon de la troisième fosse pédologique (fosse pédologique n°3) du Domaine de l'Annonciade



Les sols étudiés présentent un pH basique lié à la présence d'un substrat calcaire alcalin. Les sols sont globalement assez riches en carbone organique, avec un rapport C/N généralement correct, compris entre 8 et 12. Seuls quelques sols se caractérisent par un C/N plus élevé, et seulement un en dessous de ce ratio. La teneur en phosphore est très variable, signe d'une grande diversité d'apport en amendement organique. La teneur est généralement faible dans l'ensemble des parcs urbains, ce qui peut impacter des problématiques de croissance végétale ; et à l'inverse certains sols présentent des valeurs très élevées, voire extrêmes, ce qui peut provoquer des carences en oligo-éléments pour le matériel végétal. La CEC a par ailleurs une valeur convenable (supérieure à 12 cmol+/kg), et fait état d'un bon potentiel de fertilité des sols.

Au sein de l'ensemble des sols observés, trois corrélations fortes font état des dynamiques de fertilité des sols étudiés ($R^2 > 0.78$) (Figure 3. a, b, c). La CEC est en effet très fortement corrélée à la teneur en matière organique, la teneur en carbonate (CaO) et enfin à l'azote.

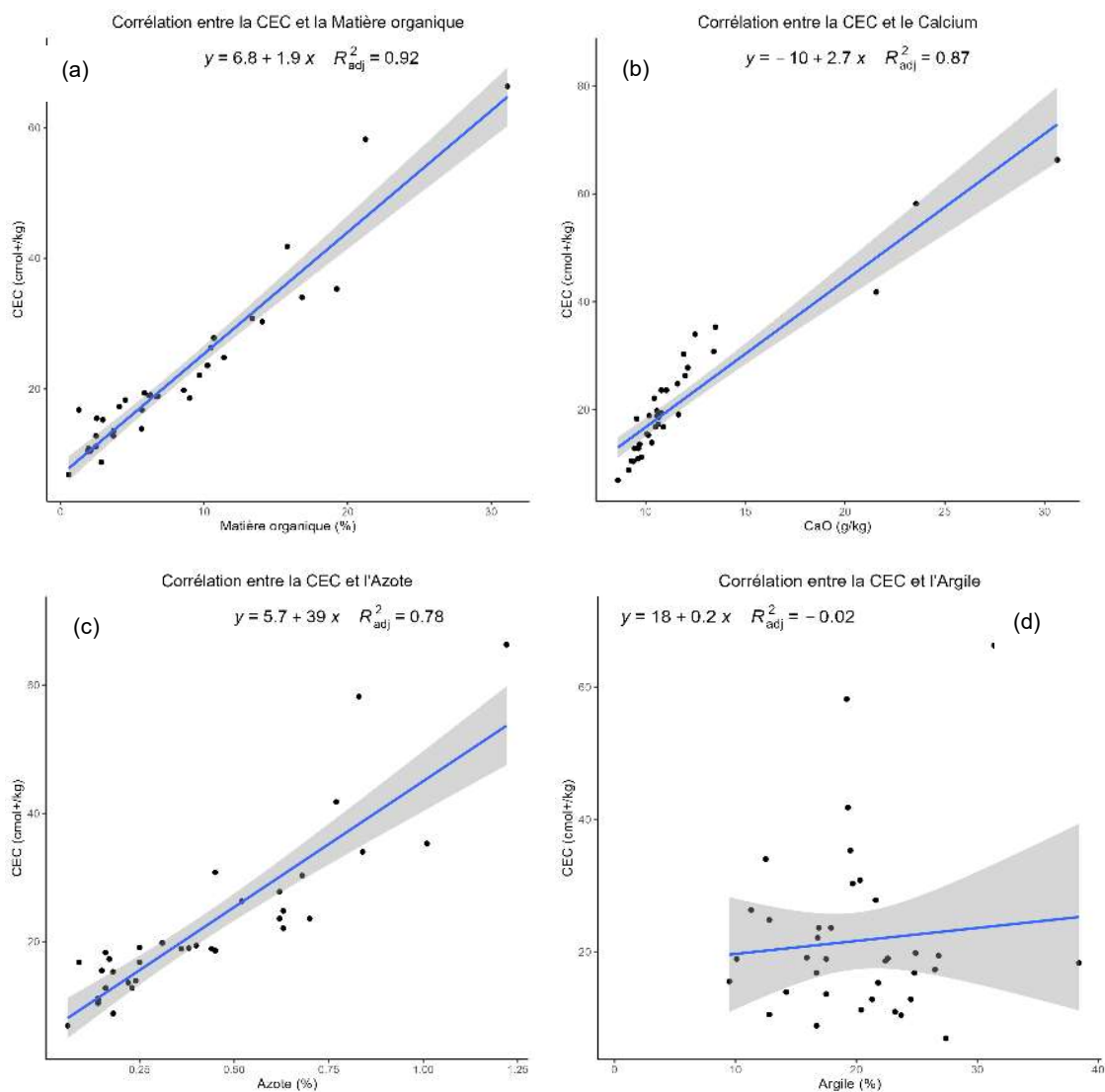


Figure 3. Corrélation observée entre la capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur en matière organique (a), la teneur en CAO (b), l'azote (%) (c) et la teneur en argile (d).

À l'inverse, la corrélation entre la CEC et l'argile est inexistante ($R^2 = 0.02$), ce qui est pourtant une tendance généralement observée (Figure 3d).

Ces résultats indiquent que le potentiel de fertilité des sols des parcs Marseillais dépend en premier lieu de la teneur en matière organique et non pas de la texture des sols qui est en général peu lourde, avec beaucoup d'éléments grossiers. Ce potentiel est généralement saturé en ions calciques (Ca^{2+}) en raison du matériel géologique calcaire sur lequel repose l'ensemble des parcs urbains (Figure 3c).

Le maintien et/ou l'augmentation de la fertilité des sols dépendent donc en premier lieu d'un travail sur la préservation et/ou l'aggradation de la teneur en matière organique, au travers du carbone organique, dans les sols.

c. Évaluation de la qualité biologique des sols

L'activité microbienne



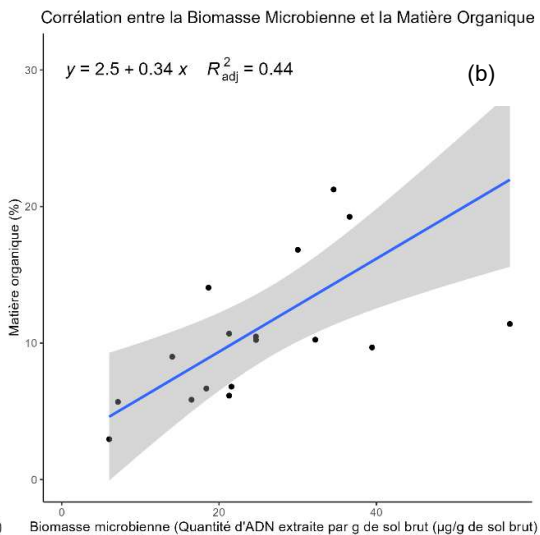
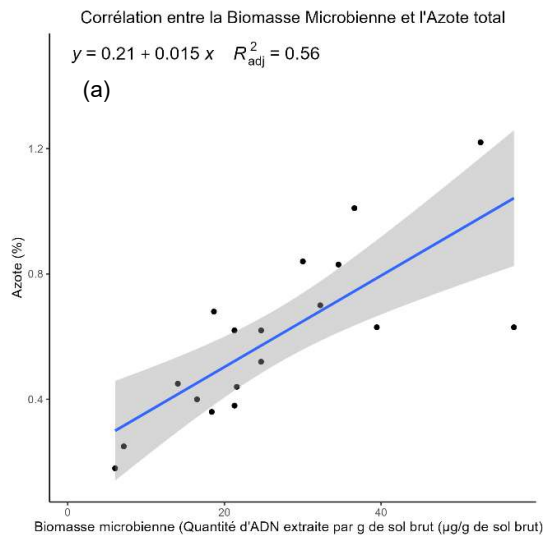
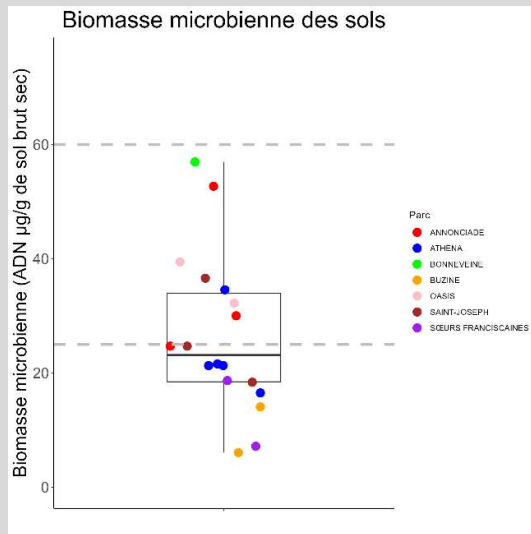
La biomasse microbienne (mg/kg) renseigne quant à la présence de microorganismes dans le premier horizon du sol. Ils dégradent la matière organique en nutriment assimilable par les plantes, sous forme d'ions chargés (NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} ...). Ainsi ils sont un bon indicateur de fertilité agronomique.

L'étendue de la biomasse microbienne est large. Les deux traits gris pointillés représentent deux seuils :

- > **25 $\mu\text{g/g}$** de sol brut, moyenne retrouvée en viticulture, considérée comme une **culture pauvre en biodiversité** ;
- > **60 $\mu\text{g/g}$** de sol brut, moyenne retrouvée sur le **territoire métropolitain** tous sols confondus.

Plus de la moitié des sols se retrouvent en dessous de la moyenne viticole (11), et seulement 7 au-dessus. Aucun parc ne se retrouve au-dessus de la moyenne nationale.

Ainsi **la biomasse microbienne est généralement faible dans l'ensemble des parcs urbains**. Le premier horizon de la deuxième fosse pédologique du Domaine de l'Annonciade, ainsi que celui de l'unique fosse pédologique du parc Central de Bonneveine présentent des biomasses qui se rapprochent de la norme nationale.



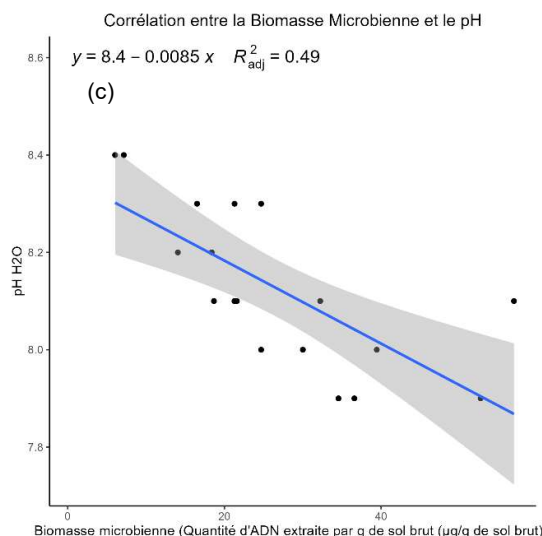


Figure 4 : Corrélation observée entre la biomasse microbienne et l'azote total (a), la matière organique (b), et le pH (c).

La biomasse microbienne semble être particulièrement favorisée par la présence d'azote ($R^2 = 0.56$), puis par le pH ($R^2 = 0.49$), et la matière organique ($R^2 = 0.44$). Aucune corrélation n'existe avec le rapport C/N ($R^2 = 0.04$) et l'humidité relative ($R^2 = 0.01$). Globalement, aucune corrélation forte n'a été observée en lien avec la biomasse microbienne ($R^2 > 0.7$). Ces résultats sont à considérer avec parcimonie ; la biomasse microbienne est très dépendante de la saisonnalité, du climat et de la météorologie, qui influent beaucoup sur l'humidité et la température, tous deux reconnurent comme déterminants dans la croissance des microorganismes.

La faune du sol

L'étude de la faune du sol s'est focalisée à la fois sur la macrofaune, supérieure à 2 mm, et sur la mésofaune, d'une taille comprise entre 0,2 et 2 mm. A elles seules, ces deux catégories faunistiques constituent le principal moteur de la fragmentation de la matière organique des sols, qu'elle soit d'origine végétale ou animale. L'activité de l'ensemble de ces organismes constitue ainsi le précurseur des processus de décomposition et de recyclage de cette matière organique, et un élément structurant de grande importance pour les sols.

Pour l'essentiel, la macrofaune rassemble les vers de terre et les arthropodes de grande taille : myriapodes (ou mille-pattes), crustacés (les isopodes), araignées et insectes coléoptères et diptères, sous forme adulte ou larvaire. L'abondance relative de ces différents groupes varie considérablement d'un type de sols à un autre, d'un climat à un autre ou d'une saison à une autre. Les principaux organismes constituant la mésofaune sont les collembolles, les acariens, et dans une moindre mesure les diploures et les pseudoscorpions. Tout comme pour la macrofaune, la composition des communautés mésofauniques d'un sol peuvent varier considérablement en fonction du type de milieu, du climat et de la période de l'année.

Les vers de terre, fraction majeure des organismes du sol participant à la décomposition et au recyclage de la matière organique, jouent un rôle également prépondérant dans de nombreux processus de structuration du sol :

- > Brassage des nutriments permettant une remontée en surface d'éléments profonds, les rendant ainsi accessibles au réseau racinaire ;
- > Circulation de l'eau et pénétration des racines par la création d'un réseau dense de galeries horizontales et verticales ;
- > Formation d'agrégats, structures de tailles variées conditionnant à la fois la séquestration d'éléments nutritifs proches de la surface et la porosité du sol, elle-même à la base de la circulation de l'air.

Parmi les vers de terre, on distingue les espèces endogées, vivant en profondeur dans les sols, les espèces épigées, localisées à proximité de la surface, et les espèces anéciques, vivant en profondeur mais venant se nourrir en surface. **Ces dernières jouent un rôle considérable dans l'enfouissement des feuilles mortes de la litière et dans la migration verticale des nutriments du sol.**

Les myriapodes, ou millepattes, se subdivisent en deux grands groupes écologiquement bien distincts : les diplopodes et les chilopodes. **Les premiers sont principalement des fragmenteurs de la matière organique, aussi bien dans les sols que dans les bois morts humides.** Les chilopodes, ou scolopendres, quant à eux, sont exclusivement prédateurs. **Ils jouent un rôle important dans la régulation des populations.** Bien que relativement fréquents en zone méditerranéenne, aucun myriapode chilopode n'a été retrouvé dans l'ensemble de la présente campagne d'échantillonnage. Plusieurs spécimens ont cependant été rencontrés hors protocole au sein du parc de la Buzine, notamment entre les fosses 1 et 2.

Les araignées constituent les prédateurs dominants de la macrofaune. **Leur rôle est de première importance dans la régulation des populations aussi bien macrofauniques que mésofauniques des sols.** Leur diversité de taille permet à ces organismes de couvrir un large spectre de tailles de proies.

Les isopodes (ou cloportes) sont les seuls crustacés au cycle de vie entièrement terrestre. **Très fréquents dans les sols et les bois morts, ce sont avant tout des fragmenteurs de la litière.** Avec les myriapodes diplopodes, ils peuvent découper un tiers à un quart des litières annuelles.

Probablement du fait d'un échantillonnage automnal tardif, seule une araignée adulte a été rencontrée au niveau de la première fosse du parc des Sœurs Franciscaines et un isopode adulte au sein de l'échantillon du parc de Bonneveine.

Concernant les insectes, trois ordres, sous forme adulte ou larvaire, constituent l'essentiel des communautés présentes dans les sols : les coléoptères (carabes, staphylinins etc.), sous forme adulte ou larvaire, les diptères (mouches), essentiellement sous forme larvaire et les hyménoptères (principalement les fourmis).

Ces dernières, présentes dans des milieux extrêmement variés, jouent un rôle considérable dans l'équilibre des écosystèmes. Phytophages, granivores, carnivores, ou le plus souvent omnivores, elles constituent un des plus importants groupes de la faune du sol. **Leur abondance fait que leur rôle dans la régulation des populations de proies autant que leur activité de fouisseuses et de creuseuses de galeries sont un élément majeur dans la structuration des sols.** Là encore, probablement du fait d'un échantillonnage automnal tardif, très peu de fourmis ont été retrouvées dans ce travail.

Les coléoptères, de leur côté, occupent un large panel de niches écologiques du fait de régimes alimentaires très variés. **Dans les sols, ils jouent un grand rôle en tant que décomposeurs.** Par ailleurs, les espèces prédatrices, nombreuses sous forme larvaire, et les mycophages participent, comme les fourmis, à l'équilibre général des écosystèmes.

Les diptères enfin, présents dans les sols sous forme larvaire, participent activement à la fragmentation de la litière. Leur rôle prépondérant réside cependant dans la décomposition des cadavres animaux et le recyclage des excréments de vertébrés.

En parallèle des activités de fragmentation de la matière organique, de régulation des populations et de structuration des sols exercées par la macrofaune aux échelles centimétrique et millimétrique, la mésofaune, pour sa part, joue ces mêmes rôles mais à des échelles plus petites, de millimétrique à inframillimétrique. Elle constitue le deuxième maillon de la chaîne de fragmentation et de décomposition des éléments organiques d'un sol.

Ainsi, les collembolés, sont omniprésents dans les sols. Ils contribuent à la microfragmentation et au brassage de la matière organique, ainsi qu'à la régulation des bactéries du sol. Ils influent également sur la dynamique des populations fongiques qui jouent un rôle crucial dans la décomposition de la matière organique. D'un point de vue taxonomique et sur l'ensemble des 7 parcs visités, les collembolés arthropleones entomobryomorphes (Entomobryidae et Isotomidae) et poduromorphes (Onychiuridae), ont été largement dominants. **Entomobryidae et Isotomidae sont essentiellement des décomposeurs ou des mycophages se nourrissant dans la litière ou à faible profondeur dans le sol, tandis que les Onychiuridae se nourrissent préférentiellement de la matière organique morte au niveau des systèmes racinaires.** Par ailleurs, aucun collembole Symphypleone ou Neelipleone n'a été rencontré.

Les acariens, pour leur part, occupent un grand nombre d'habitats et assurent des fonctions très variées, de phytosaprophages à prédateurs. **Dans les sols, les acariens oribates jouent un rôle important et très similaires aux collembolés.**

Les pseudoscorpions, moins connus et moins fréquents que les deux groupes précédents, sont des prédateurs de très petite taille. **Ils assurent un rôle de régulateur des populations,** notamment de collembolés dans les sols.

Les diploures, également moins fréquents et souvent oubliés des études sur l'activité biologique des sols, jouent néanmoins un rôle de décomposeurs de la matière organique dans de nombreux types de sols. On les trouve souvent associés à des communautés de collembolés.

Résultats généraux

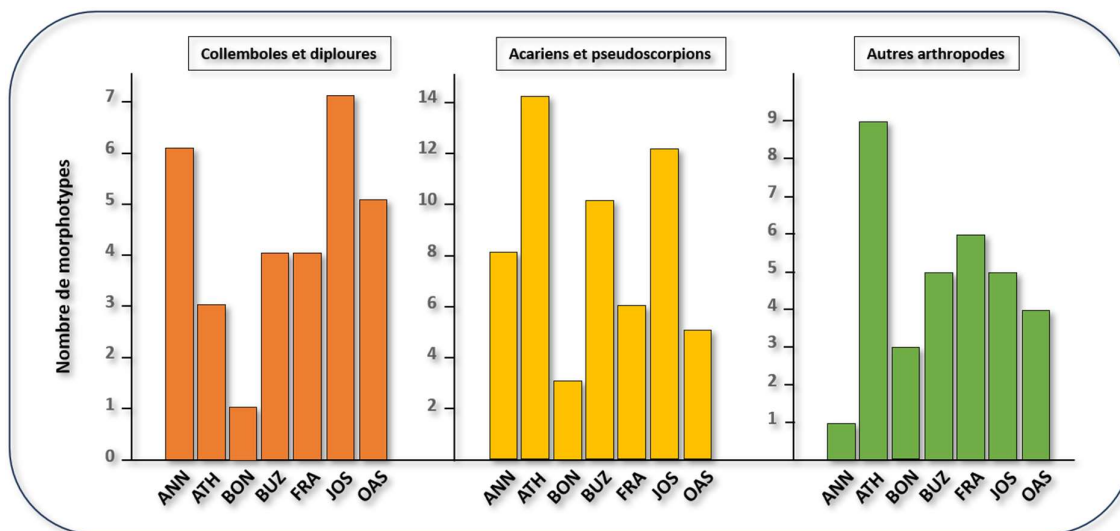


Figure 5 : Diversité morphotypique comparée entre tous les sites échantillonnés (ANN : Parc de l'Annonciade, ATH : Parc Athéna, BON : Parc de Bonneveine, BUZ : Parc de la Buzine, FRA : Parc des Sœurs Franciscaines, JOS : Parc de la Colline Saint-Joseph, OAS : Parc de l'Oasis)

Les profils de diversité apparaissent comme très hétérogènes et varient considérablement d'un site à l'autre. Ainsi, les parcs de l'Annonciade, de la Colline Saint-Joseph et de l'Oasis présentent une diversité morphotypique de collemboles particulièrement élevée. De leur côté, ce sont les parcs Athéna, de la Buzine et de la Colline Saint-Joseph qui ont fait apparaître une diversité d'acariens du sol et de pseudoscorpions supérieure à la moyenne, tandis que le parc de l'Annonciade s'est également distingué par une plus forte diversité d'arthropodes de grande taille (supérieure à 2mm), appartenant à la macrofaune.

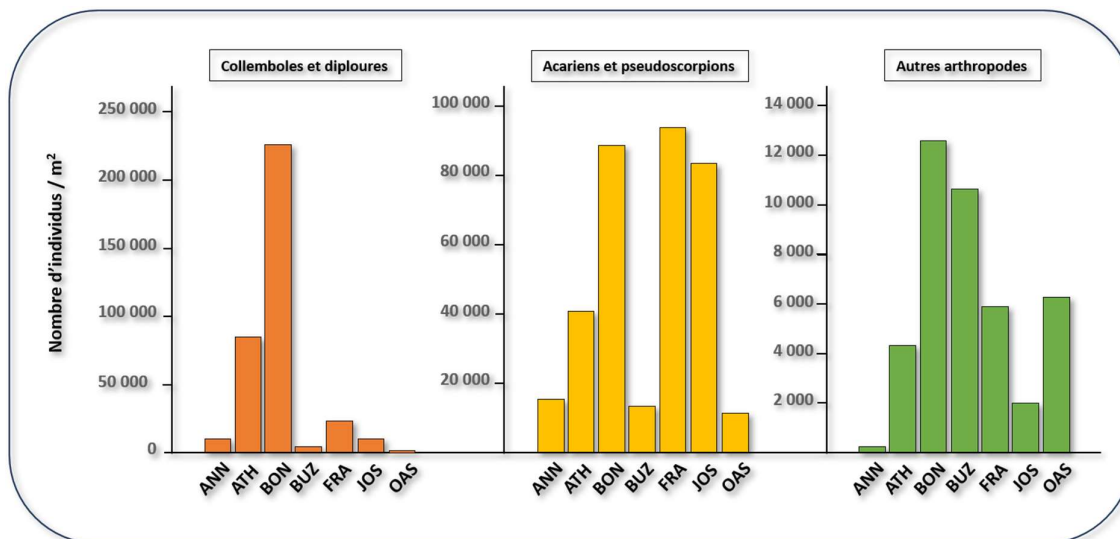


Figure 6 : Densité comparée de la macrofaune et de la mésofaune entre tous les sites échantillonnés (ANN : Parc de l'Annonciade, ATH : Parc Athéna, BON : Parc de Bonneveine, BUZ : Parc de la Buzine, FRA : Parc des Sœurs Franciscaines, JOS : Parc de la Colline Saint-Joseph, OAS : Parc de l'Oasis)

Les profils d'abondance, quant à eux, diffèrent significativement des profils de diversité morphotypique. Ainsi, les plus fortes abondances de collemboles ont été rencontrées au sein du parc de Bonneveine tandis que celles

d'acariens et de pseudoscorpions ont été trouvées au sein des parcs de la Colline Saint-Joseph, des Sœurs Franciscaines et à nouveau du parc de Bonneveine. Enfin, ce dernier ainsi que le parc de la Buzine ont montré les plus fortes abondances d'arthropodes de la macrofaune.

Sur l'ensemble des parcs étudiés, très peu de vers de terre ont été récoltés, aboutissant à de faibles valeurs, tant de diversité que d'abondance :

- > Parc de la Colline Saint-Joseph : fosse n° 1 (1 espèce) ;
- > Parc Athéna : fosse 5 (4 espèces) ;
- > Parc de l'Oasis : fosse 1 (4 espèces) et fosse n° 2 (1 espèce) ;
- > Parc des Sœurs Franciscaines : fosse n° 1 (1 espèce).

La fosse réalisée en bordure du parc de Bonneveine, la plus riche en termes de mésofaune et d'arthropodes de grande taille n'a fourni elle-même qu'une unique espèce. Par ailleurs, la grande majorité des taxa récoltés n'a pu être identifiée à l'espèce du fait du stade de développement de la plupart des spécimens, juvéniles ou immatures (l'identification formelle des vers de terre nécessite l'examen des organes génitaux, développés uniquement au stade adulte).

Seules la fosse 5 du parc Athéna et la fosse 1 du parc de l'Oasis ont révélé chacune une communauté de 4 espèces. Ce résultat est essentiellement dû, pour le parc Athéna, à une forte humidité du sol.

La fosse 1 du parc de l'Oasis, en revanche, a permis une découverte d'importance considérable : la présence d'une espèce de la famille Megascolecidae. Celle-ci, largement répandue en Afrique et surtout en Asie n'a aucun représentant naturel en Europe. Si des espèces de cette famille ont déjà été repérées sous serre depuis les années 1970, notamment dans le sud-est de la France, la mention de cette famille hors milieu confiné reste exceptionnelle, encore aujourd'hui. Seule une population d'une espèce du genre *Metaphire*, identifiée par le bureau d'étude DriloBIOS dans la vallée de l'Hérault, semble s'être installée depuis 2016. La présence d'une telle population de vers de terre, introduction d'origine anthropique, au sein du parc de l'Oasis constitue probablement un marqueur des changements climatiques en cours et pourrait être un indicateur d'importance pour en surveiller l'évolution.

Recommandations

Au-delà d'un climat méditerranéen plus chaud et sec, et donc moins favorable aux vers de terre comparé à des régions situées plus au nord de la France, les faibles résultats en termes d'abondance et de diversité de ces organismes, à l'exception de la fosse 5 du parc Athéna et de la fosse 1 du parc de l'Oasis, sont essentiellement liés à la période automnale tardive de cette campagne d'échantillonnage.

En effet, la majorité des espèces de vers de terre passent l'hiver soit sous forme de cocons, avec une disparition des adultes, soit sous forme juvénile ou immature qui empêche une identification à l'espèce, et donc une analyse fonctionnelle éclairée. Un échantillonnage en période de reproduction, au printemps ou en automne est donc fortement recommandé afin d'acquérir une vision générale plus réaliste des populations et des communautés de vers de terre dans le cadre de cette étude.

Il en est de même pour la mésofaune et l'ensemble de la macrofaune. Leurs abondances et leurs diversités respectives, aussi bien taxonomique que fonctionnelle, ne se révèlent réellement qu'au printemps et à l'automne, c'est-à-dire en période de reproduction et à l'écart des périodes de froid ou de sécheresse.

Par ailleurs, et compte tenu de la grande variabilité spatiale des communautés de mésofaune et de macrofaune, un minimum de trois répliques dans un rayon de 5 mètres est fortement recommandé pour chaque site d'échantillonnage, en lieu et place d'un monolithe de sol unique tel que réalisé ici. Une prise en compte de cette variabilité spatiale augmenterait significativement la fiabilité et la robustesse statistique des résultats obtenus.

Partie 3

Synthèse des résultats par parcs



Le parc de la Colline Saint-Joseph

a. Présentation et gestion du site

Le parc de la Colline Saint-Joseph existe depuis le XIX^e siècle en tant que lieu de passage pour les voyageurs en diligence. Situé dans le 9^e arrondissement de Marseille et d'une superficie de 7 hectares, ce parc fut racheté par la ville en 1977 et devint ouvert au public en 1985. Il subit deux incendies maîtrisés en 1980 et 2000.

La Colline Saint Joseph fut entretenue par des coupes à blanc depuis 100 ans. La végétation qui en résulte est caractéristique d'une végétation méditerranéenne ; des petits chênes verts (*Quercus ilex*), des pelouses sèches à Brome rameux (*Bromopsis ramosa*) sous la présence d'une pinède de Pins d'Alep (*Pinus halepensis*) sont présents sur l'ensemble du site.

Le parc urbain est divisé en trois zones :

- > Une zone de pelouse fortement fréquentée nécessitant un entretien soutenu ;
- > Une zone intermédiaire avec une végétation plus libre sous couvert arborée
- > Une zone de pinède naturalisée à l'arrière du site qui s'inscrit dans un objectif historique plus large de gestion à long terme du boisement de la colline.

Récemment, du broyat recouvre une grande partie du site afin de prévenir l'érosion, conserver l'humidité, et compenser l'interdiction d'arroser.

Un désherbage sélectif est pratiqué pour favoriser les plantes indigènes au détriment des nitrophiles.



Figure 7. Parc de la colline Saint-Joseph (source : internet).

b. Contexte historique

Ce parc présente une couverture végétale stable au fil des années ; une cohérence paysagère semble avoir été conservée (Figure 8). Le couvert ligneux semble s'être densifié sur la partie ouest du parc. L'ensemble du parc est marqué par la présence de nombreux chemins d'accès depuis plusieurs décennies (liés très probablement à la présence de la Chapelle au sommet de la colline).

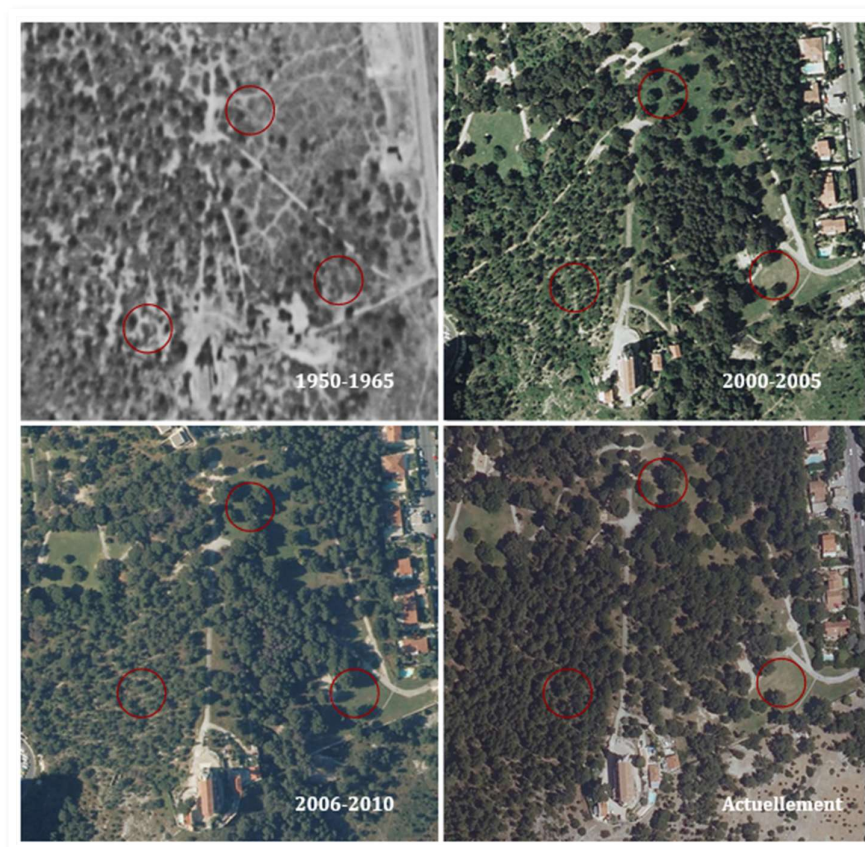


Figure 8. Évolution du parc de la Colline Saint-Joseph de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.

c. Contexte géologique

Le parc de la Colline Saint-Joseph repose sur un dépôt du Barrémien à faciès urgonien. Cet étage présente une puissante masse (250 à 450 m) de calcaires biodétritiques compacts à patine très blanche et dont la cassure varie du blanc très pur au beige parfois rosé. Cette géologie est à l'origine des paysages les plus typiques de Marseille.

d. Contexte pédologique

Le contexte urbain ne permet pas d'avoir accès à l'information sur les caractéristiques pédologiques du parc de la Colline Saint Joseph (absence de référentiel régional pédologique en secteur urbain).

e. Topographie

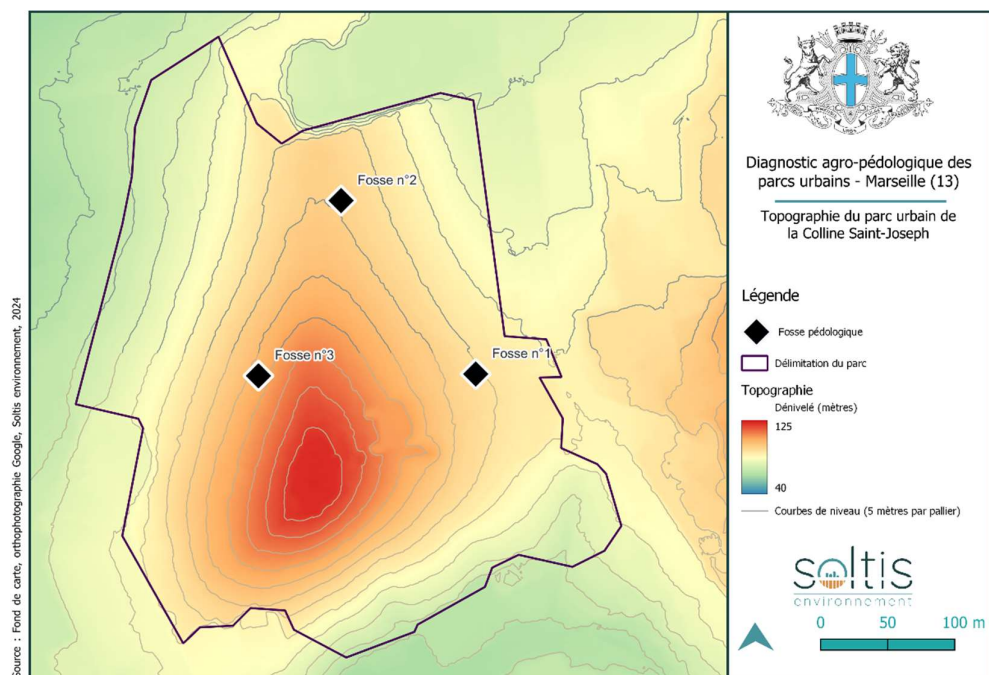


Figure 9. Contexte topographique du parc de la Colline Saint-Joseph (MNT) et localisation des fosses pédologiques.

Les trois fosses pédologiques se situent dans trois contextes topographiques différents : la première fosse pédologique à l'est du parc est localisée dans une faible pente, la deuxième fosse au Nord se situe dans une zone de replat, et la troisième fosse à l'Ouest est localisée dans une pente plus abrupte.

f. Objectifs spécifiques au parc

En plus de renforcer les engagements liés à la labellisation « **EcoJardin** », l'objectif propre à ce parc est la compréhension des dynamiques écologiques en fonction des caractérisations agroécologiques, au sein de trois couverts végétaux différents suivants :

- > une pelouse ;
- > des plantations récentes de résineuses ;
- > une pinède ancienne.

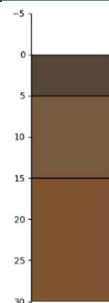
g. Description pédologique et environnement du site



Figure 10. Localisation et fosses pédologiques du parc de la Colline Saint-Joseph. Les numéros associés aux fosses présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une pelouse, la deuxième fosse pédologique dans une récente plantation de résineux et la troisième fosse pédologique au sein d'une pinède ancienne.

Fosse pédologique n°1

Habitat : Pelouse.



Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
Grumeleux	Lsa	> 5	5	Meuble
Polyédrique subangulaire	Sal	1 - 5	40	Modérée
Polyédrique subangulaire	La	< 0,2	70	Modérée, matériau dense

Fosse pédologique n°2

Habitat : Plantation récente de résineux en milieu relativement ouvert.



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
-5 0	Massive	Lsa	0,2 - 1	20	Modérée
5 10 15	Massive	LAs	1 - 5	70	Très forte
20 25 30	Polyédrique subangulaire	Lsa	0,2 - 1	80	Très forte

Fosse pédologique n°3

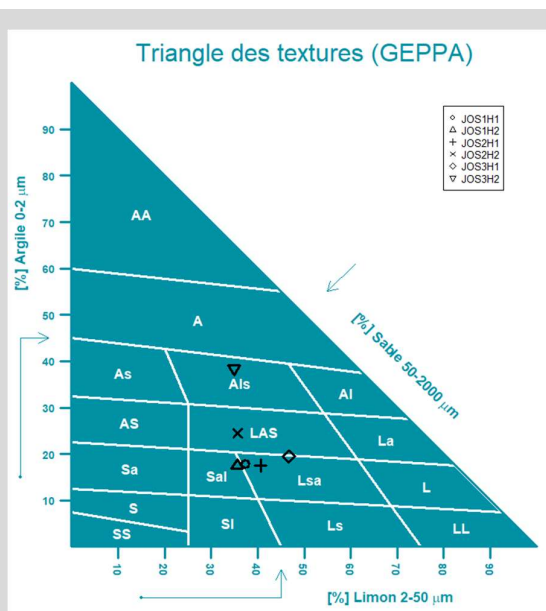
Habitat : Pinède ancienne.



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
-5 0 5 10 15	Grumeleux	Lsa	> 5	70 à 80	Faible
20 25 30 35 40	Polyédrique subangulaire	Als	1 - 5	60	Faible

Figure 11. Profil pédologique simplifié des trois fosses pédologiques réalisées dans le parc de la Colline Saint-Joseph.

h. Qualité physique



Le triangle des textures présente la répartition de la taille des particules du sol, appelée granulométrie. On distingue principalement trois classes granulométriques : les argiles ($< 2 \mu\text{m}$), les limons ($2-50 \mu\text{m}$) et les sables ($50-2000 \mu\text{m}$).

La proportion de chaque type de particule détermine le type de texture du sol.

Les textures les plus équilibrées correspondent aux textures limon/argile/sable (LAS selon la classification GEPPA).

La texture est à dominante limoneuse pour le premier horizon des trois fosses pédologiques (Lsa).

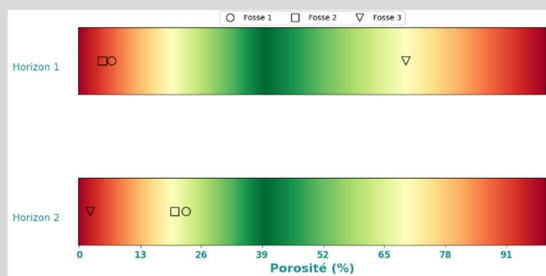
Le second horizon de la première fosse pédologique est à dominante sableuse (Sal), le premier horizon de la deuxième fosse pédologique a une texture dite équilibrée (LAS), et celui de la troisième fosse pédologique est à dominante argileuse (Als).



La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol. D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieur à $1,5 \text{ g cm}^{-3}$.

La fosse n°3 présente une densité apparente des deux horizons beaucoup plus faibles que dans le cas des fosses n°1 et n°2. Ceci s'explique par la présence d'un sol forestier naturel peu, voire pas remanié.

La densité apparente du second horizon de la fosse n°2 est sensiblement élevée, témoignant, d'un niveau de compaction à surveiller.

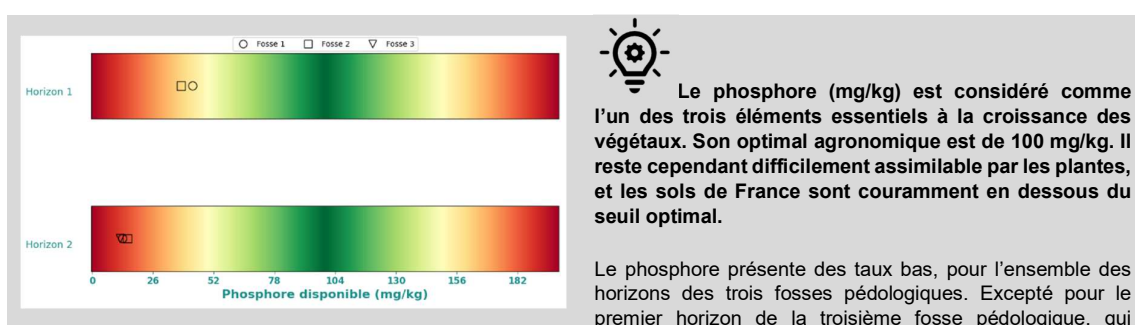
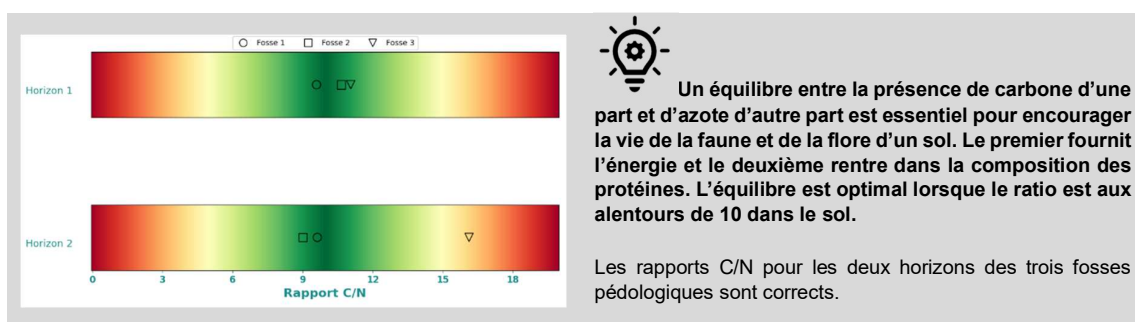
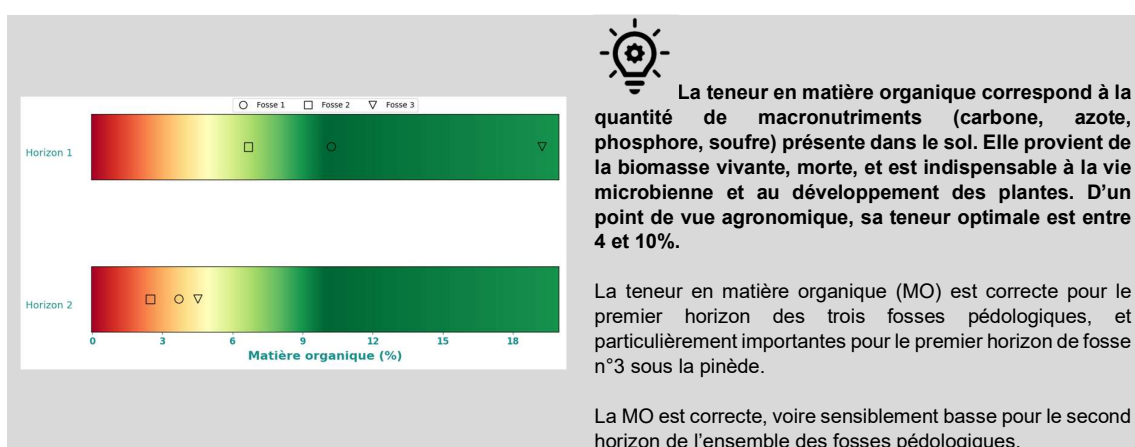
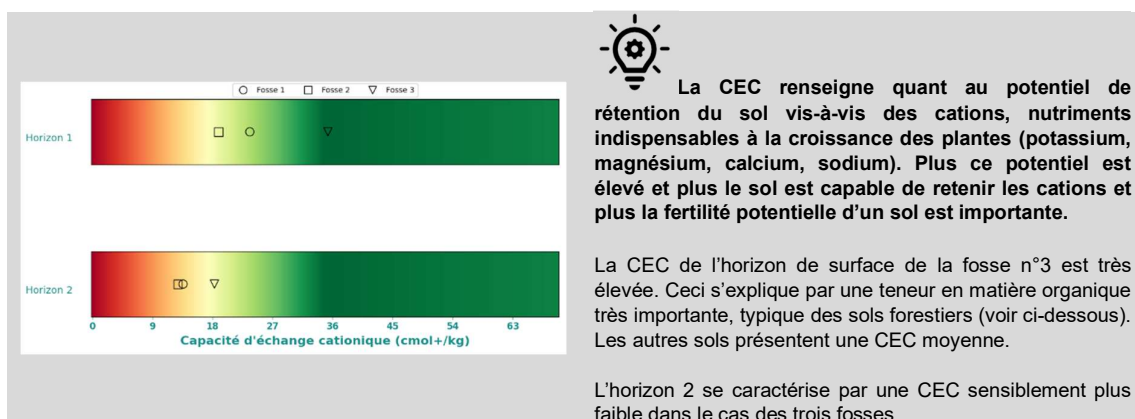


La porosité des sols (%) contient les phases liquides et gazeuses du sol, sauf les phases minérales. La porosité est constituée des macropores et des micropores. Plus la porosité est faible, plus les sols sont tassés, et à l'inverse plus la porosité est importante, plus les sols sont aérés et à texture équilibrée. La porosité des sols se situe entre 30% et 40% en moyenne.

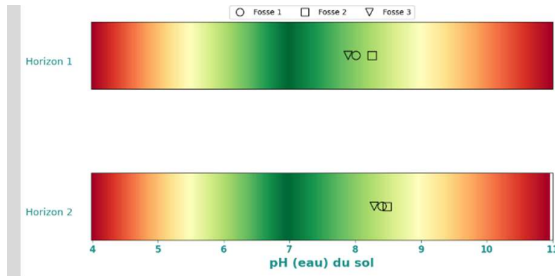
Le premier horizon des deux premières fosses pédologiques présente une faible porosité, et une porosité très importante pour le premier horizon de la troisième fosse pédologique.

À l'inverse, la porosité est très faible pour le second horizon de la troisième fosse pédologique, et sensiblement basse pour le second horizon des deux premières fosses pédologiques.

i. Qualité chimique



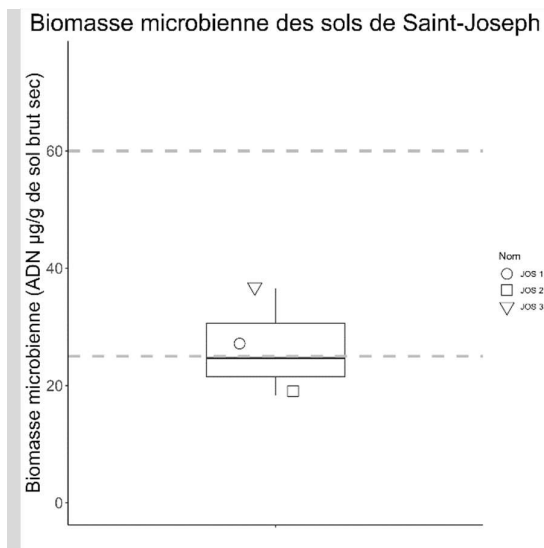
présente **une teneur extrême, à 632 mg/kg**, et n'a donc pas été représenté sur ce graphique.



Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

Les valeurs de pH sont correctes pour les trois sols étudiés en raison du matériau parental calcaire.

j. Qualité biologique



La biomasse microbienne (mg/kg) renseigne quant à la présence de microorganismes dans le sol. Ils dégradent la matière organique en nutriment assimilable par les plantes, sous forme d'ions chargés (NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} ...). Ainsi ils sont un bon indicateur de fertilité agronomique.

Les deux traits gris pointillés représentent deux seuils :

- > **25 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée en **viticulture**, considérée comme une **culture pauvre en biodiversité** ;
- > **60 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée sur le **territoire métropolitain** tous sols confondus.

L'ensemble des valeurs de biomasses microbiennes sont peu élevées, et en dessous de la moyenne métropolitaine. La deuxième fosse pédologique présente même une valeur très basse, en dessous de la moyenne retrouvée en milieu viticole.

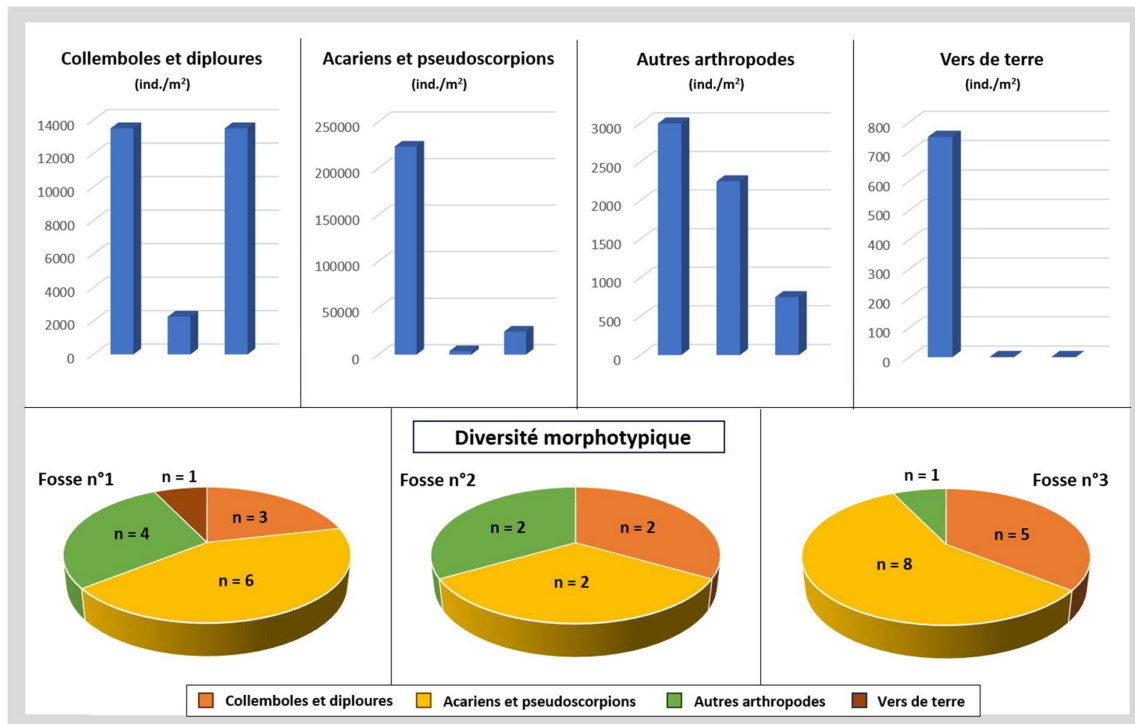


Figure 12 : Densité et diversité morphotypique des trois fosses pédologiques du parc de la Colline Saint-Joseph.

Les profils d'abondance comme les communautés morphotypiques apparaissent nettement différentes entre les trois fosses réalisées au sein de ce parc.

Ici, la plantation récente de résineux (fosse 2) apparaît la plus pauvre au niveau de la densité de la mésofaune, tant pour les collemboles que pour les acariens. Chez ces deux groupes, la différence est particulièrement nette avec la pelouse (fosse 1). Le sol échantillonné de la pinède ancienne (fosse 3) a, quant à lui, une densité en collemboles équivalente à la pelouse avec une valeur estimée à environ 13 000 individus par mètre carré. Cependant, alors que les populations d'acariens s'effondrent dans cette pinède, elles atteignent une densité estimée à environ 220 000 individus par mètre carré dans la pelouse.

Un point notable est que cette différence en termes de densité ne se reflète pas au niveau de la diversité morphotypique. Ainsi, 6 morphotypes d'acariens et 2 de pseudoscorpions ont été identifiés dans la pinède ancienne alors que 6 d'acariens et aucun de pseudoscorpions n'ont été trouvés dans la pelouse. Par ailleurs, comme pour les densités, la plantation récente de résineux en milieu ouvert reste la moins riche en termes de diversité biologique.

Du côté de la macrofaune, l'abondance des arthropodes est plus faible au niveau de la pinède ancienne tandis que les vers de terre n'apparaissent que sous le tapis herbeux de la pelouse.

Ces résultats trouvent leur explication dans la faible porosité, la faible CEC et surtout la faible teneur en matière organique du sol de la plantation récente de résineux. L'absence de litière et plus généralement, de matière organique fragmentable entraîne un effondrement des populations et des communautés d'organismes de la mésofaune, en termes de densité comme en termes de diversité. De même, si la couverture ligneuse permet une certaine humidité et donc la présence d'arthropodes de plus de 2mm, la densité du sol et sa faible teneur en matière organique n'y ont pas montré la présence de vers de terre.

A l'inverse, la présence de matière organique dans le sol de la pelouse, et en particulier celle d'un mat racinaire herbeux bien développé en surface entraîne la présence de fortes populations d'organismes fragmenteurs, essentiellement collemboles et acariens, ainsi que d'arthropodes de plus grande taille, notamment prédateurs, et de vers de terre. Il est à noter que ce mat racinaire constitue le seul échantillon de l'ensemble de travail à avoir révélé la présence d'une espèce de diptère, auxiliaire de plus grande taille des collemboles.

Le sol de la pinède ancienne, quant à lui, présente une CEC et surtout une teneur en matière organique supérieure aux deux autres fosses, ce qui entraîne la présence importante de collemboles fragmenteurs. En revanche, un

rapport C/N déficitaire en azote semble un paramètre important pour expliquer la faible abondance de la macrofaune.

k. Synthèse et préconisations

Sur la base des résultats précédemment présentés, les informations clefs à retenir sont les suivantes :

- > **Les sols observés au droit de la prairie et de la plantation sont des sols remaniés non naturels à l'inverse des sols de la pinède.**
- > **Le sol de la prairie** est bien structuré avec un mas racinaire bien développé sur les premiers centimètres. Bien que de faible épaisseur, l'horizon de croissance (horizon 1) se caractérise par une teneur en matière organique élevée, un C/N équilibré et une compacité faible. **On observe une bonne adéquation entre le sol et la végétation mise en place.**
- > La zone de plantation récente présente une problématique de structure, observée sur site, et confirmée par une densité apparente du deuxième horizon importante ($1,27 \text{ g cm}^{-3}$). La porosité y est aussi très faible, soulignant une problématique de tassement importante. La fertilité chimique, au travers de la capacité d'échange cationique et du taux de matière organique, est faible comparativement aux deux autres secteurs. Cette zone présente donc de fortes contraintes à la croissance des végétaux tant physique en raison de la compacité des sols que chimique avec une fertilité limitée.

L'apport important de BRF (Bois Raméal Fragmenté) en surface peut permettre de maintenir une humidité à la surface du sol, mais une décompaction sur les 30 premiers centimètres associés à un amendement organique (compost + BRF par exemple) favoriserait le développement futur de la végétation (si tel est l'objectif). À noter qu'en général, il est déconseillé de décompacter trop en profondeur au risque de déstructurer les horizons et affecter la biodiversité des sols. Dans le cas de ce site, nous préconisons malgré tout un travail assez profond en raison de la compaction observée.
- > Le sol de la pinède ancienne présente un profil agropédologique typique, caractérisé par un premier horizon bien aéré (porosité > 60%), constitué d'une fertilité chimique importante (CEC et MO élevées) liée à la présence d'une litière végétale partiellement décomposée. Le ratio C/N est légèrement élevé dû à la présence d'un carbone peu biodégradable. Malgré la litière acidifiante, le pH reste alcalin sur les deux horizons, traduisant le rôle important du matériau parental alcalin. La présence d'une teneur en phosphore assimilable extrêmement importante (650 mg/kg) est remarquable. Elle s'explique très probablement par le blocage du phosphore (phosphates calciques insolubles) en raison du pH très basique. Sous cette forme le phosphore est très peu mobile et se limite donc à l'horizon de surface où se dégrade la litière. La fertilité chimique baisse drastiquement avec la profondeur, traduisant peu d'échanges de matières entre le premier horizon et le deuxième. Aucune action n'est préconisée sur ce sol naturel.

Les deux premiers sols peuvent être caractérisés en tant qu'**Anthroposol artificiel**, et le sol de l'ancienne pinède en tant que **Rendosol haplique** (Référentiel pédologique de France, 2008).

En conséquence, il est préconisé pour les sols dans l'espace de plantation récente :

- > **Un décompactage de cette zone à l'aide d'un décompacteur ;**

Un amendement de matière organique associé à du BRF d'accroître la fertilité chimique, tout en conservant l'humidité souhaitée.

Le parc de la Buzine

a. Présentation et gestion du site

Le parc de la Buzine, situé dans le 11^e arrondissement de Marseille, connu pour son Château de la Buzine dont Marcel Pagnol était l'ancien propriétaire, existe depuis la fin du XV^e siècle. Il comportait de nombreux bassins et fontaines actuellement comblés. La Ville de Marseille a racheté ce parc urbain en 1955, d'une superficie de 4 hectares. Il a été classé en monument historique en 1996.

La gestion différenciée y est pratiquée, avec des zones à visée horticole (prairie fleurie, pelouses) situées au sud du parc, et des zones plus naturelles au nord, comme l'existence d'un boisement de feuillus en régénération spontanée.

Les déchets végétaux sont récupérés pour produire du broyat utilisé pour pailler les massifs. Les feuilles ne sont pas ramassées ou poussées dans les massifs afin de favoriser l'épaississement d'une litière et ainsi protéger les sols de la sécheresse. Il y a très peu de travail du sol et une organisation des chemins pédestres a été réfléchi afin de ne pas perturber le paysage écologique. Des zones refuges sont laissées lors des tontes entraînant l'apparition de micro-habitats (source : Label EcoJardin, <https://www.label-ecojardin.fr/fr/sites-labellises/parc-de-la-buzine>).



Figure 13. Parc de la Buzine (source : internet).

b. Contexte historique



Figure 14. Évolution du parc de la Buzine de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.

La partie nord du parc ne semble pas avoir connu de gestion paysagère différente de celle observée actuellement.

En revanche, aucune information n'est disponible quant à un possible remaniement des sols.

À l'inverse, dans le sud du parc, il semble y avoir une problématique de dégradation de la couverture végétale depuis les années 2000 en raison possiblement d'une fréquentation accrue au droit de la deuxième fosse pédologique réalisée.

c. Contexte géologique

Le parc de la Buzine repose sur un dépôt de l'Oligocène inférieur (Stampien). Plus précisément, il repose sur des formations détritiques très variées et sur une formation argilogréseuse (rouge et grise) et conglomératique du Stampien. Le matériel détritique a une double origine : les galets de calcaires jurassiques et crétacés proviennent du démantèlement des massifs de bordures. Les galets verts, bruns ou rouges de grès et quartzites permien accompagnés d'éléments métamorphiques peuvent provenir d'un massif ancien situé au sud de Marseille.

d. Contexte pédologique

La localisation excentrée à l'est de la ville de Marseille permet d'obtenir des informations sur la carte pédologique de France (RRP). La description de l'unité cartographique du sol selon le Référentiel régional pédologique au 1/250 000 (**UCS 85**) indique que quatre types de sol, avec des pourcentages d'occupation différents, couvrent la surface géographique de ce parc urbain :

- > **70% de CALCOSOL colluvial** : Sol calcaire évolué avec deux horizons différenciés, colluvial à texture équilibrée, à pierrosité moyenne de graviers calcaires ;
- > **20% de COLLUVIOSOL calcaire graveleux** : Sol colluvial calcaire, à texture équilibrée, à charge de graviers calcaires, issu de colluvions ou de calcaires ;
- > **5% de CALCOSOL colluvial** : Sol calcaire évolué avec deux horizons différenciés, colluvial, à texture équilibrée, à faible pierrosité sur terrasses anthropiques cultivées, sur versants et glacis colluviaux ;
- > **5% de CALCOSOL colluvial issu de grès calcaire** : Sol calcaire avec deux horizons différenciés, colluvial, de texture sableuse, à pierrosité moyenne, issu de grès calcaire, sol en terrasses sur versants et glacis colluviaux.

La dominante **CALCOSOL** indique des sols moyennement épais (plus de 35 cm d'épaisseur) développés sur des matériaux calcaires, et souvent très perméables. Ils sont donc riches en carbonates de calcium sur toute leur épaisseur, impliquant des pH importants.

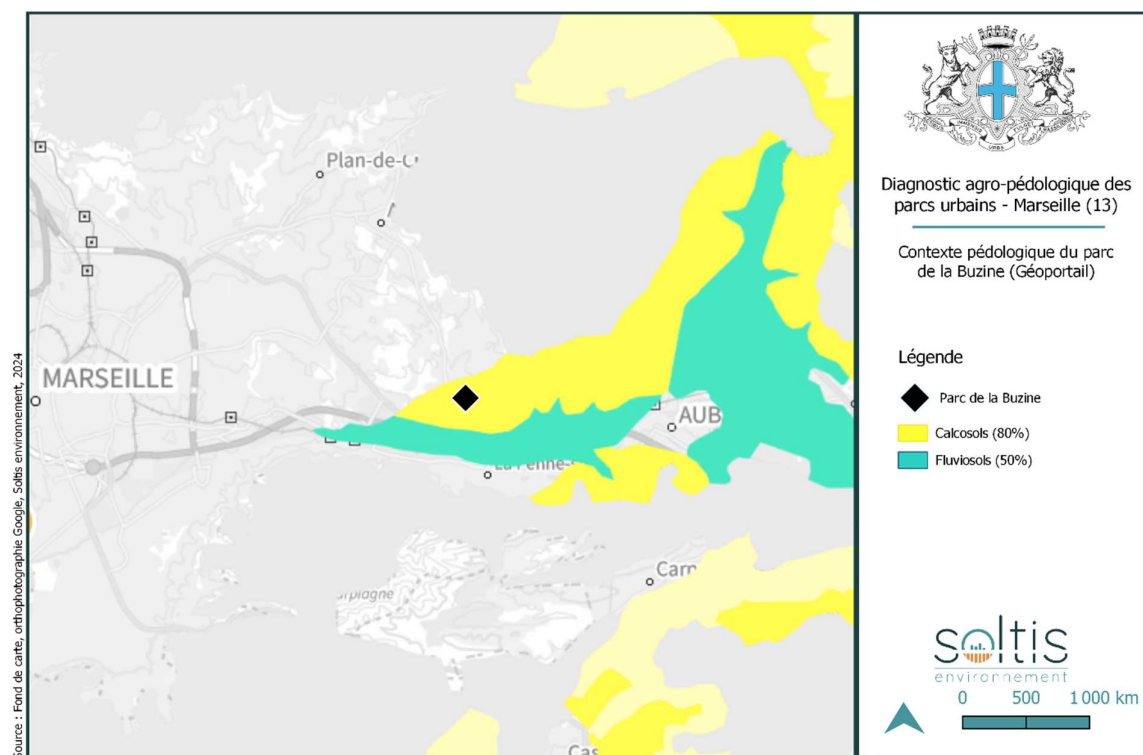


Figure 15. Contexte pédologique du parc urbain de la Buzine (Carte pédologique, RRP 1 / 250 000, Géoportail).

e. Topographie

Le parc de la Buzine se caractérise par la présence d'un modelé mésotopographique orienté nord-Ouest - Sud-Est. La fosse n°1 est localisée en haut d'une butte dont la végétation n'a *a priori* pas été touchée depuis 1950. La fosse n°2 est localisée en base de versant à proximité d'une mare artificielle en voie d'atterrissement.

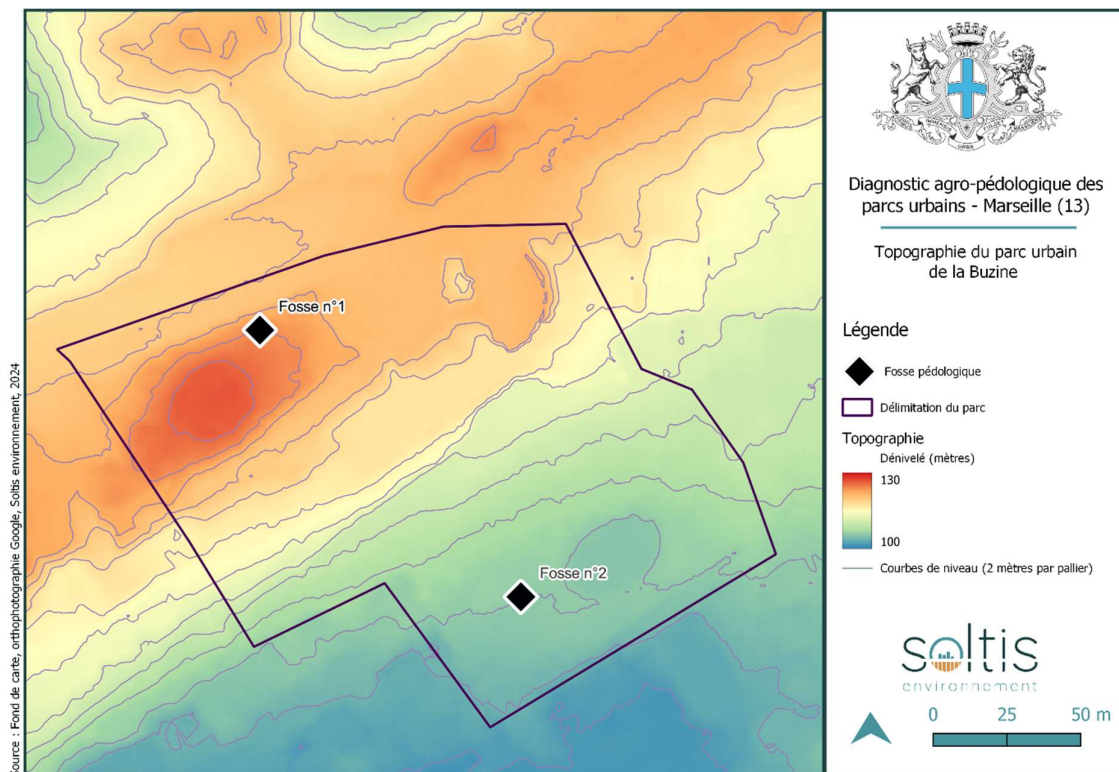


Figure 16. Contexte topographique du parc de la Buzine (MNT) et localisation des fosses pédologiques.

f. Objectif

Le travail réalisé sur ce parc vise à disposer d'éléments objectifs pour évaluer l'incidence des pratiques sur la qualité des sols dans le cadre de la labellisation « **EcoJardin** ». Il est par ailleurs demandé d'évaluer la raison d'une dégradation du couvert végétal au niveau de la fosse n°2.

g. Description pédologique et environnement du site

La Figure 17 présente la localisation et les deux profils de sol réalisés au sein du parc.



Figure 17. Localisation et fosses pédologiques du parc de la Buzine. La première fosse (n°1) se situe dans l'espace boisé en régénération, et la deuxième fosse pédologique (n°2) sur une pelouse dégradée à côté de la mare.

Fosse pédologique n°1

Habitat : Pelouse non dégradée, dans une zone en régénération spontanée.



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
0	Grumeleux	LAS	> 5	< 5	Faible
5	Polyédrique subangulaire	Sal	1 - 5	5 à 10	Modérée
10					
15	Grumeleux	Organique	> 5	5 à 10	Faible
20					

Fosse pédologique n°2

Habitat: Pelouse dégradée à côté d'une mare remblayée.

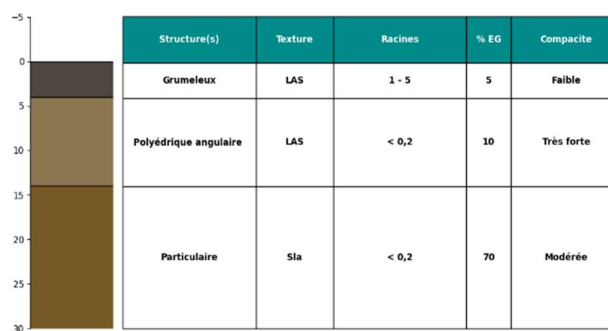
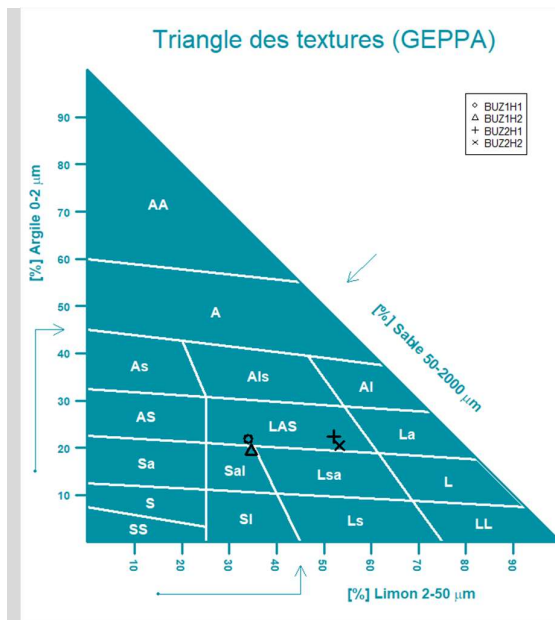


Figure 18 : Profil pédologique simplifié des deux fosses pédologiques réalisées dans le parc de la Buzine.

h. Qualité physique



Le triangle des textures présente la répartition de la taille des particules du sol, appelée granulométrie. On distingue principalement trois classes granulométriques : les argiles ($< 2 \mu\text{m}$), les limons ($2-50 \mu\text{m}$) et les sables ($50-2000 \mu\text{m}$).

La proportion de chaque type de particule détermine le type de texture du sol.

Les textures les plus équilibrées correspondent aux textures limon/argile/sable (LAS selon la classification GEPPA).

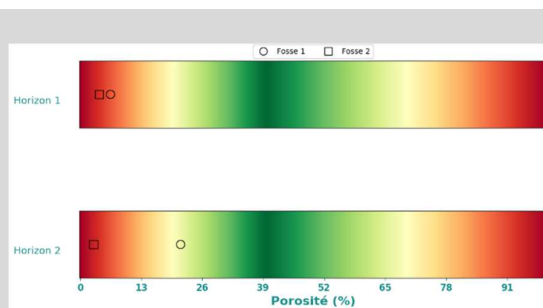
La texture des deux fosses pédologiques est équilibrée (limon/argile/sableux) avec une tendance plus sableuse au droit de la fosse n°1.



La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol. D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieure à $1,5 \text{ g cm}^{-3}$.

Les densités apparentes des deux horizons des deux fosses pédologiques sont convenables, excepté pour le deuxième horizon de la deuxième fosse pédologique.

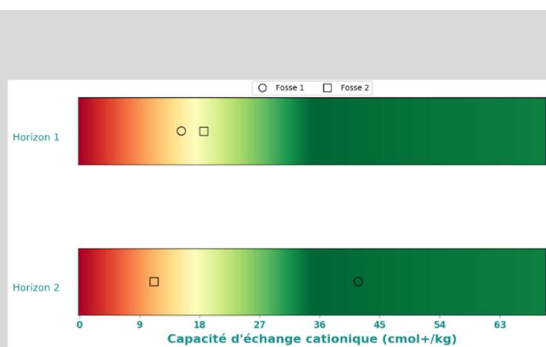
Ce résultat valide l'observation de terrain d'un horizon 2 très fortement compacté limitant ainsi la croissance racinaire et l'infiltration de l'eau. Le chemin de passage visible depuis les années 1950 semble être à l'origine de ce tassement important.



La porosité des sols (%) contient les phases liquides et gazeuses du sol, sauf les phases minérales. La porosité est constituée des macropores et des micropores. Plus la porosité est faible, plus les sols sont tassés, et à l'inverse plus la porosité est importante, plus les sols sont aérés et à texture équilibrée. La porosité des sols se situe entre 30% et 40% en moyenne.

Les sols présentent une faible porosité, et particulièrement très faible pour le second horizon de la deuxième fosse pédologique.

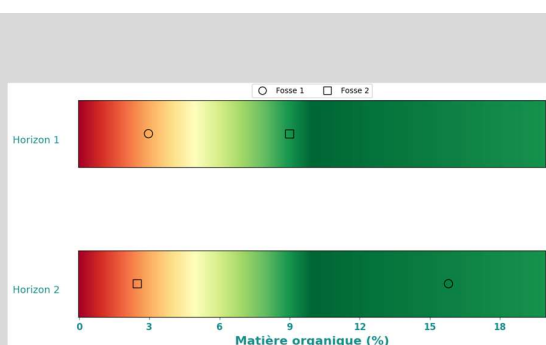
i. Qualité chimique



La CEC renseigne quant au potentiel de rétention du sol vis-à-vis des cations, nutriments indispensables à la croissance des plantes (potassium, magnésium, calcium, sodium). Plus ce potentiel est élevé et plus le sol est capable de retenir les cations et plus la fertilité potentielle d'un sol est importante.

Le premier horizon des deux fosses présente une CEC faible à modérée. Cette CEC devient particulièrement faible pour l'horizon 2 de la fosse n°2.

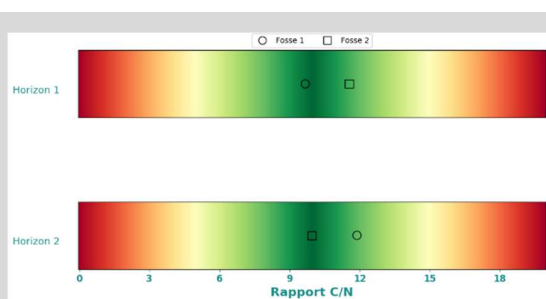
À l'inverse, la mesure de CEC sur l'horizon 2/3 de la fosse 1 montre une CEC très élevée confirmant l'existence d'un horizon humifère enfoui.



La teneur en matière organique (MO) correspond à la quantité de macronutriments (carbone, azote, phosphore, soufre) présente dans le sol. Elle provient de la biomasse vivante, morte, et est indispensable à la vie microbienne et au développement des plantes. D'un point de vue agronomique, sa teneur optimale moyenne commence se situe entre 4 et 10%.

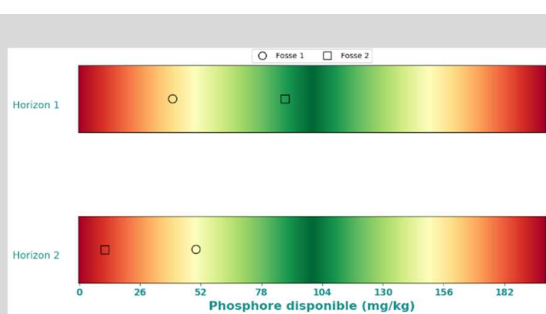
La teneur en matière organique (MO) est basse pour le premier horizon de la première fosse pédologique, à l'inverse de l'horizon humifère enfoui (comme attendu).

L'horizon 1 de la fosse 2 présente à l'inverse une teneur élevée de MO qui diminue très rapidement au niveau de l'horizon 2.



Un équilibre entre la présence de carbone d'une part et d'azote d'autre part est essentiel pour encourager la vie de la faune et de la flore d'un sol. Le premier fournit l'énergie et le deuxième rentre dans la composition des protéines. L'équilibre est optimal lorsque le ratio est aux alentours de 10 dans le sol.

Les rapports C/N pour les deux horizons des deux fosses pédologiques sont corrects.

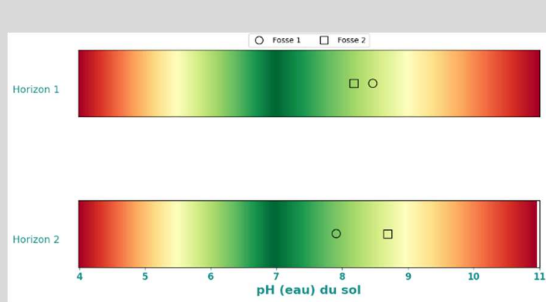


Le phosphore (mg/kg) est considéré comme l'un des trois éléments essentiels à la croissance des végétaux. Son optimal agronomique est de 100 mg/kg. Il reste cependant difficilement assimilable par les plantes, et les sols de France sont couramment en dessous du seuil optimal.

La teneur en phosphore est relativement faible pour les sols de la fosse 1. En revanche, on observe une teneur sensiblement plus importante au niveau de l'horizon 2 (en lien avec un taux de matières organiques plus élevé).

Au droit de la fosse n°2, la teneur en phosphore est élevée en surface. Ceci peut s'expliquer par une teneur élevée en matière organique mais peut également témoigner d'un possible amendement minéral pour relancer la croissance de la végétation. Elle s'effondre drastiquement au niveau de l'horizon 2, soulignant une déconnexion entre l'horizon 1 et 2 du fait de la compaction de l'horizon 2.

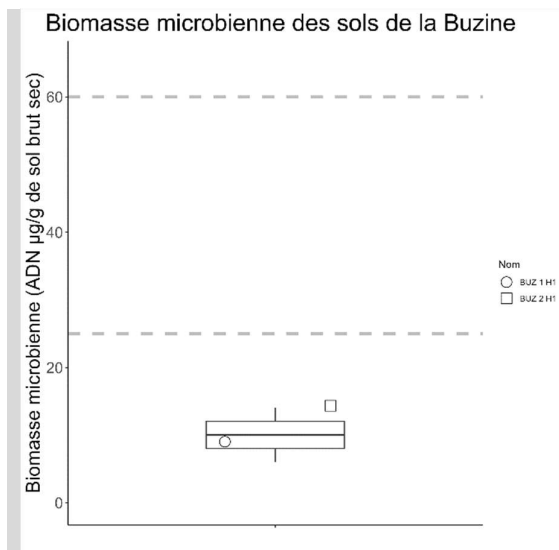
A noter qu'en sol calcaire, le phosphore est généralement immobilisé, complexé avec le calcium. Ceci peut également expliquer la réduction drastique de la teneur en phosphore plus en profondeur (pas de transfert vertical).



Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

Les valeurs de pH sont correctes pour l'ensemble des horizons. Le pH de l'horizon 2 de la fosse n°1 est sensiblement moins basique en raison d'une possible acidification liée à la matière organique.

j. Qualité biologique



La biomasse microbienne (mg/kg) renseigne quant à la présence de microorganismes dans le sol. Ils dégradent la matière organique en nutriment assimilable par les plantes, sous forme d'ions chargés (NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} ...). Ainsi ils sont un bon indicateur de fertilité agronomique.

Les deux traits gris pointillés représentent deux seuils :

- > **25 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée en **viticulture**, considérée comme une **culture pauvre en biodiversité** ;
- > **60 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée sur le **territoire métropolitain** tous sols confondus.

Les deux valeurs de biomasse microbienne sont très faibles, en dessous du seuil métropolitain, et de la moyenne retrouvée en viticulture. La deuxième fosse pédologique présente une valeur légèrement plus élevée que la première fosse pédologique, qui présente une valeur très basse (6,04 µg ADN / g de sol bruts).

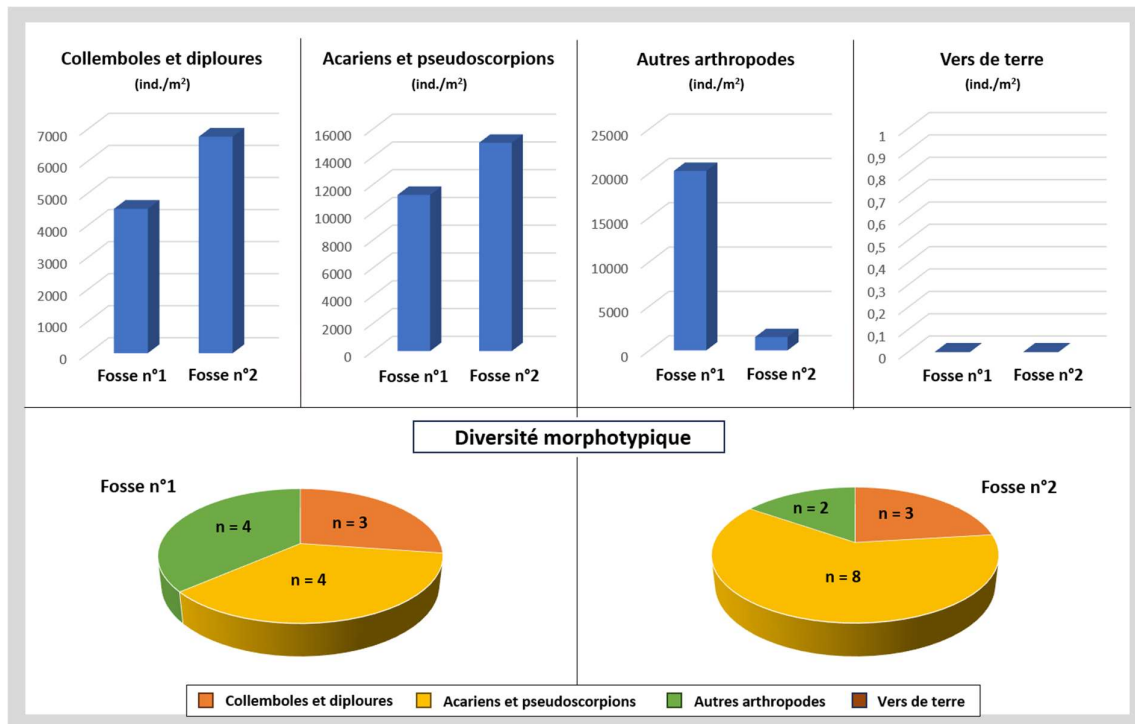


Figure 19 : Densité et diversité morphotypique des deux fosses pédologiques du parc de la Buzine.

A l'échelle d'un unique monolithe de sol échantillonné par fosse, peu de différences notables ne ressortent entre pelouse non dégradée et pelouse dégradée au niveau de la mésofaune. Les densités de collemboles oscillent globalement entre des valeurs estimées à 4000 à 6500 individus par mètre carré tandis que celles des acariens et pseudoscorpions atteignent des valeurs de 10 500 à 14 000 individus par mètre carré, avec cependant des valeurs toujours légèrement supérieures au sein de la pelouse dégradée. De même, la diversité morphotypique des acariens apparaît supérieure au sein de la pelouse dégradée avec 8 morphotypes identifiés contre 4 pour la pelouse non dégradée.

Ces résultats sont toutefois très différents au niveau des arthropodes de plus grande taille appartenant à la macrofaune. Ainsi, leur densité apparaît très supérieure dans le sol de la pelouse non dégradée.

Pour leur part, aucun vers de terre n'a été récolté, quel que soit le type de pelouse.

Cette légère différence en termes d'abondance de mésofaune semble s'expliquer par la plus forte teneur en matière organique en surface au sein de la pelouse dégradée, favorisant ainsi les communautés de fragmenteurs et de détritvires, notamment les acariens.

En revanche, la forte abondance des arthropodes de plus grande taille, et donc à déplacement vertical plus important, dans le sol de la pelouse non dégradée trouve probablement son explication à plusieurs niveaux : d'une part, dans les différences de densité apparente et de porosité en profondeur (horizon 2) entre les deux pelouses, celle dégradée étant nettement plus compacte, et d'autre part dans les valeurs de CEC et de teneur en matière organique, plus importante au sein de la pelouse non dégradée.

L'absence de vers de terre dans ce parc est probablement due au caractère quasi hivernal de la période d'échantillonnage, qui s'est déroulé à la fin du mois de novembre. Compte tenu de la nature et de la structure du sol, notamment la bonne teneur en matière organique en profondeur dans la pelouse non dégradée, il serait surprenant de ne pas y trouver de vers de terre au printemps et à l'automne, en période de reproduction.

k. Préconisations

Sur la base des résultats précédemment présentés, les informations clefs à retenir sont les suivantes :

- > **les sols observés sont tous deux remaniés.**
- > Le sol observé au sein du boisement de feuillus (pelouse non dégradée) présente une fonctionnalité intéressante malgré la présence d'un horizon humifère en profondeur, témoin d'un remaniement passé. Le sol est court, mais la teneur en MO relativement élevée permet le maintien d'une bonne fertilité et la rétention d'eau à l'interface entre le sol et le matériau parental. La densité racinaire importante dans cet horizon profond en est le témoin. **Aucune action spécifique n'est préconisée sur ces sols.**
- > **À l'inverse, le sol observé en bas de versant (pelouse dégradée) est particulièrement dégradé en raison d'un tassement excessif de l'horizon 2.** Pour pallier cette dégradation structurelle, un apport en terre végétale a probablement été réalisé pour permettre la végétalisation. Néanmoins, l'horizon 2 n'ayant pas été décompacté au préalable, l'apport de terre végétale en surface n'a pu avoir un effet bénéfique que de manière très transitoire en raison d'une absence totale de fonctionnalité / dynamique verticale. La végétation y est désormais très sporadique.

Ces deux sols peuvent être caractérisés en tant qu'**Anthroposol artificiel** (Référentiel pédologique de France, 2008).

En conséquence, sur ce secteur, il est préconisé de :

- > **Décaper et conserver l'horizon 1 sous forme d'andain (hauteur maximale de 1 m)**
- > **Décompacter au ripper / herse à 15/20 cm les horizons 2 et 3 sous-jacents ;**
- > **Épierrer dans la mesure du possible afin d'accroître la réserve utile pour la végétation (possibilité d'utiliser les pierres pour créer des hibernaculums pour les reptiles). Le travail devra être réalisé en conditions sèches pour éviter toute dégradation supplémentaire de la structure des sols ;**
- > **Apporter de la matière organique (compost de déchets verts) pour réactiver l'activité microbienne et compenser la très faible fertilité de cet horizon. Un ratio de 10% devrait être suffisant ;**
- > **Enfin, l'horizon 1 sera régalé en surface, égalisé, griffé avec tête rotative puis réensemencé immédiatement pour éviter la prolifération d'espèces exotiques envahissantes ;**

Étant donné la fertilité de cet horizon 1, nous ne préconisons pas d'apport supplémentaire en surface au risque sinon de favoriser des espèces fortement nitrophiles.

Si le phosphore s'avère limitant car non biodisponible, il est possible de planter des espèces qui par leur développement racinaire vont sensiblement acidifier le milieu (par ex. phacélie, fèverole etc.) ou d'envisager l'inoculation par des bactéries du genre *bacillus* ou des mycorhizes pour accroître la disponibilité du phosphore.

Le parc Central de Bonneveine

a. Présentation et gestion du site

Le parc Central de Bonneveine est le premier parc urbain créé à Marseille en 1970. Il est situé dans le 8e arrondissement et est d'une superficie de 3 hectares. Il a été imaginé comme une vaste place plantée.

La gestion différenciée y est pratiquée, avec une séparation entre des zones entretenues de façon horticole et d'autres, gérées avec une plus grande considération écologique, de l'environnement. Il y a une diminution de l'arrosage sur le site, de nombreuses plantes spontanées ne sont pas contrôlées et remplacent peu à peu les végétaux horticoles du site. Des actions, encadrées par le programme européen LIFE, permettent de renforcer les plantes locales et mellifères en place.



Figure 4. Parc Central de Bonneveine (source : internet).

b. Contexte historique



Figure 20. Évolution du parc de Bonneveine de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.

Les photographies passées font état d'un historique agricole visible dans les années 1950, avant la création du parc urbain en 1970. Depuis lors, la configuration paysagère, avec un couvert arboré important, semble avoir été conservée.

c. Contexte géologique

Le parc Central de Bonneveine repose sur des terrains sédimentaires (alluvions récentes) datant du milieu du würmien. Ces alluvions de fond de vallée comprennent essentiellement des graviers fluviaux recouverts par des sédiments fins, dont la formation provient de la remontée du niveau de la mer lors de la transgression flandrienne.

d. Contexte pédologique

Le contexte urbain ne permet pas d'avoir accès à l'information sur les caractéristiques pédologiques du parc Central de Bonneveine.

e. Topographie

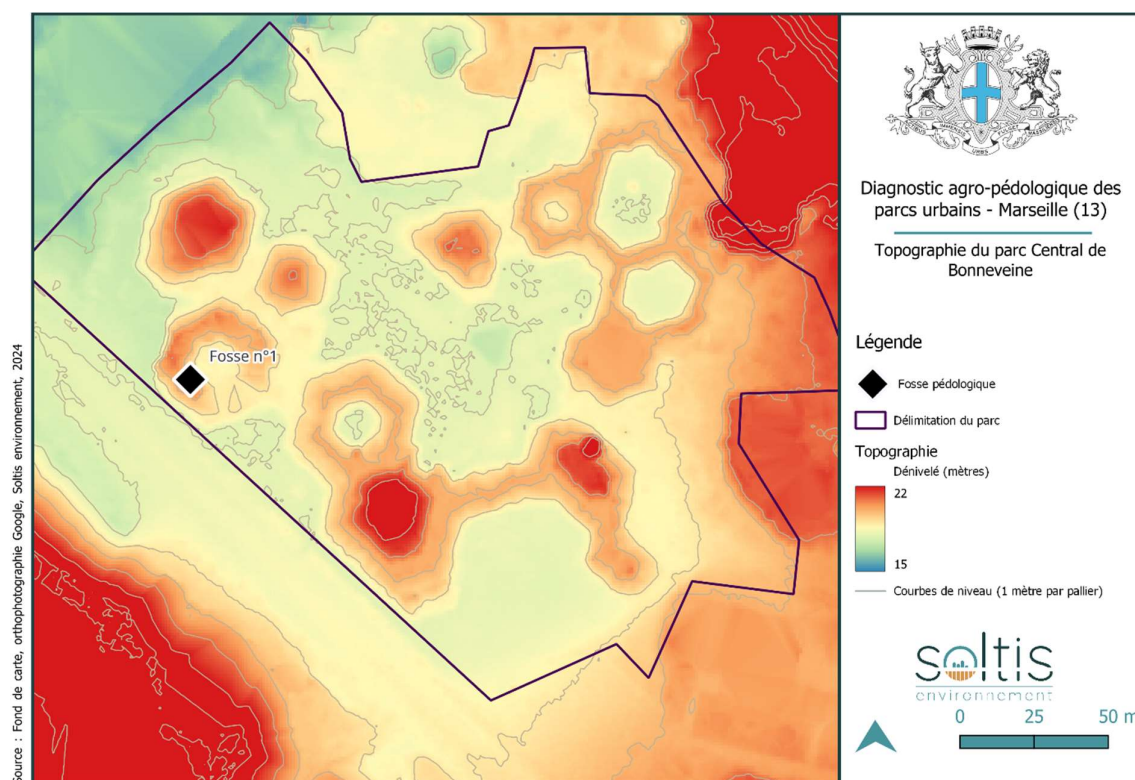


Figure 21. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc Central de Bonneveine (MNT).

L'unique fosse pédologique réalisée dans le parc Central de Bonneveine se situe sur un bosquet, en pente moyenne, à environ 2 mètres de plus en altitude (20.17 m) que le chemin piétonnier à proximité (18.54 m).

f. Objectif

En plus de renforcer les engagements liés à la labellisation « **EcoJardin** », l'objectif propre à ce parc est la compréhension des caractéristiques agroécologiques du bosquet, qui aura une vocation future dans les années à venir.

g. Description pédologique et environnement du site

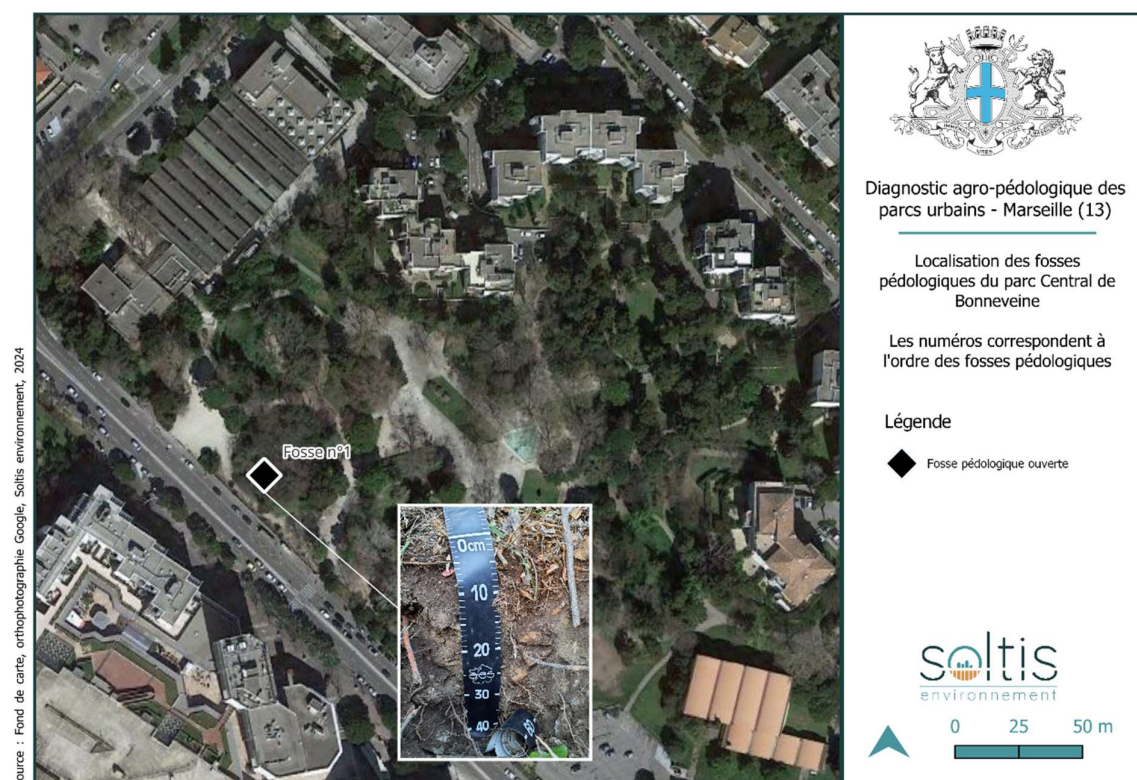


Figure 22. Localisation et fosses pédologiques du parc Central de Bonneveine. Le numéro 1 en blanc présente la numérotation de la fosse pédologique. La première fosse pédologique se situe dans un bosquet herbacé.

Fosse pédologique n°1

Habitat : Végétation spontanée sur un bosquet.

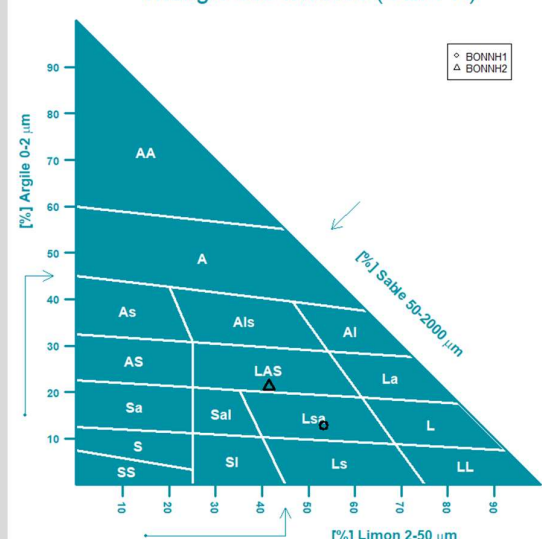


Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
Particulaire	Lsa	1 - 5	5	Faible
Grumeleux	LAS	1 - 5	40	Inexistante

Figure 23 : Profil pédologique simplifié de la fosse pédologique réalisée dans le parc Central de Bonneveine.

h. Qualité physique

Triangle des textures (GEPPA)

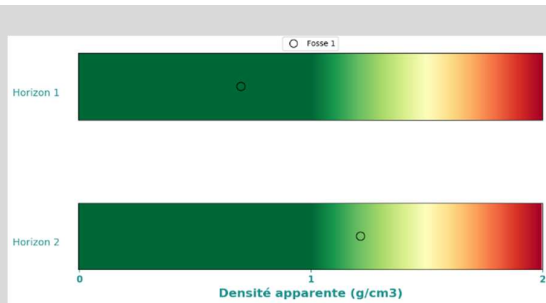


Le triangle des textures présente la répartition de la taille des particules du sol, appelée granulométrie. On distingue principalement trois classes granulométriques : les argiles (< 2 µm), les limons (2-50 µm) et les sables (50-2000 µm).

La proportion de chaque type de particule détermine le type de texture du sol.

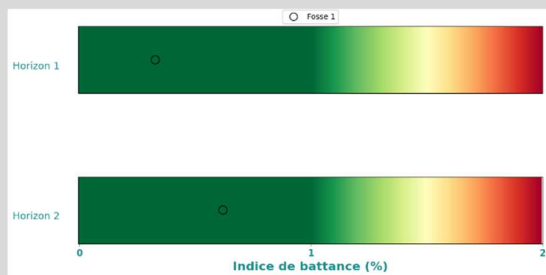
Les textures les plus équilibrées correspondent aux textures limon/argile/sable (LAS selon la classification GEPPA).

La texture du premier horizon de la fosse pédologique est à dominante limoneuse (Lsa), et la texture du second horizon est équilibrée (LAS).



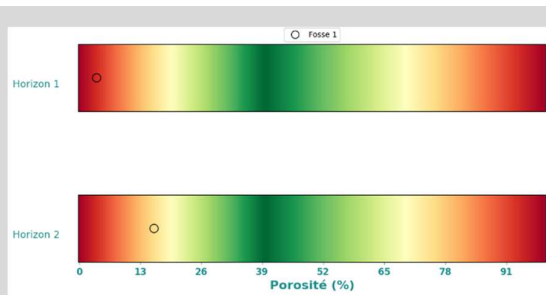
La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol. D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de 1,2 g cm⁻³, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieur à 1,5 g cm⁻³.

La densité apparente des deux horizons de la fosse pédologique présente des valeurs convenables.



L'indice de battance évalue le risque de battance de sols, liée à la stabilité de leur structure. Le limon est la particule minérale particulièrement destructurant. D'un point de vue agronomique, le sol est considéré comme non-battant inférieur à 1,6, et très battant lorsque supérieur à 1,8.

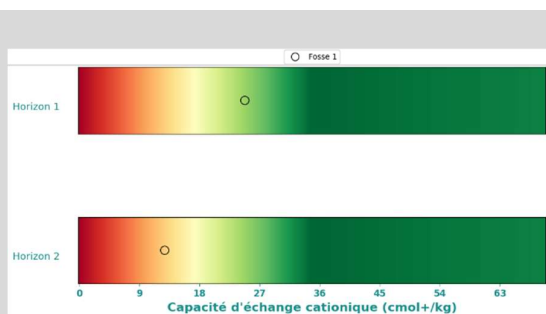
Les indices de battance sont faibles pour l'ensemble des horizons. Ces sols ne présentent aucun risque de battance.



La porosité des sols (%) contient les phases liquides et gazeuses du sol, sauf les phases minérales. La porosité est constituée des macropores et des micropores. Plus la porosité est faible, plus les sols sont tassés, et à l'inverse plus la porosité est importante, plus les sols sont aérés et à texture équilibrée. La porosité des sols se situe entre 30% et 40% en moyenne.

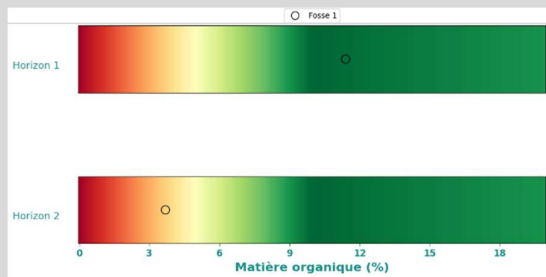
La porosité est très faible pour le premier horizon et relativement faible pour le second horizon.

i. Qualité chimique



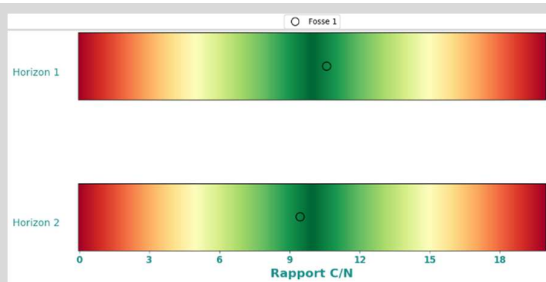
La CEC renseigne quant au potentiel de rétention du sol vis-à-vis des cations, nutriments indispensables à la croissance des plantes (potassium, magnésium, calcium, sodium). Plus ce potentiel est élevé et plus le sol est capable de retenir les cations et plus la fertilité potentielle d'un sol est importante.

Le premier horizon de la fosse présente une CEC convenable, mais faible pour le second horizon.



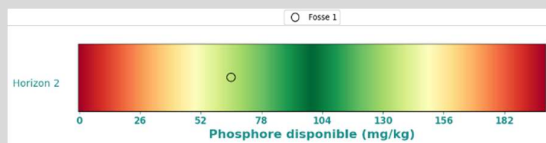
La teneur en matière organique correspond à la quantité de macronutriments (carbone, azote, phosphore, soufre) présente dans le sol. Elle provient de la biomasse vivante, morte, et est indispensable à la vie microbienne et au développement des plantes. D'un point de vue agronomique, la teneur de la matière organique

La teneur en matière organique (MO) est importante pour le premier horizon, et est relativement faible pour le second horizon.



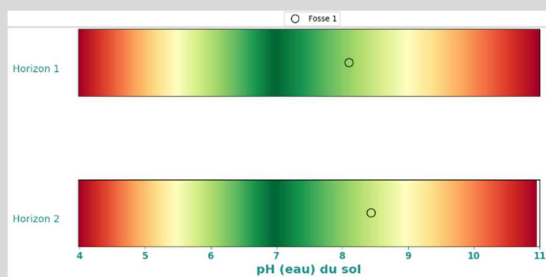
Un équilibre entre la présence de carbone d'une part et d'azote d'autre part est essentiel pour encourager la vie de la faune et de la flore d'un sol. Le premier fournit l'énergie et le deuxième rentre dans la composition des protéines. L'équilibre est optimal lorsque le ratio est aux alentours de 10 dans le sol.

Les rapports C/N sont corrects pour les deux horizons.



Le phosphore (mg/kg) est considéré comme l'un des trois éléments essentiels à la croissance des végétaux. Son optimal agronomique est de 100 mg/kg. Il reste cependant difficilement assimilable par les plantes, et les sols de France sont couramment en dessous du seuil optimal.

Le taux de phosphore est très important pour le premier horizon, d'une valeur de **207 mg/kg** et donc non représenté sur le diagramme. Il est faible pour le second horizon sans que cela ne soit problématique étant donné la teneur en surface.



Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

Les valeurs de pH sont correctes pour l'ensemble des horizons.

j. Qualité biologique

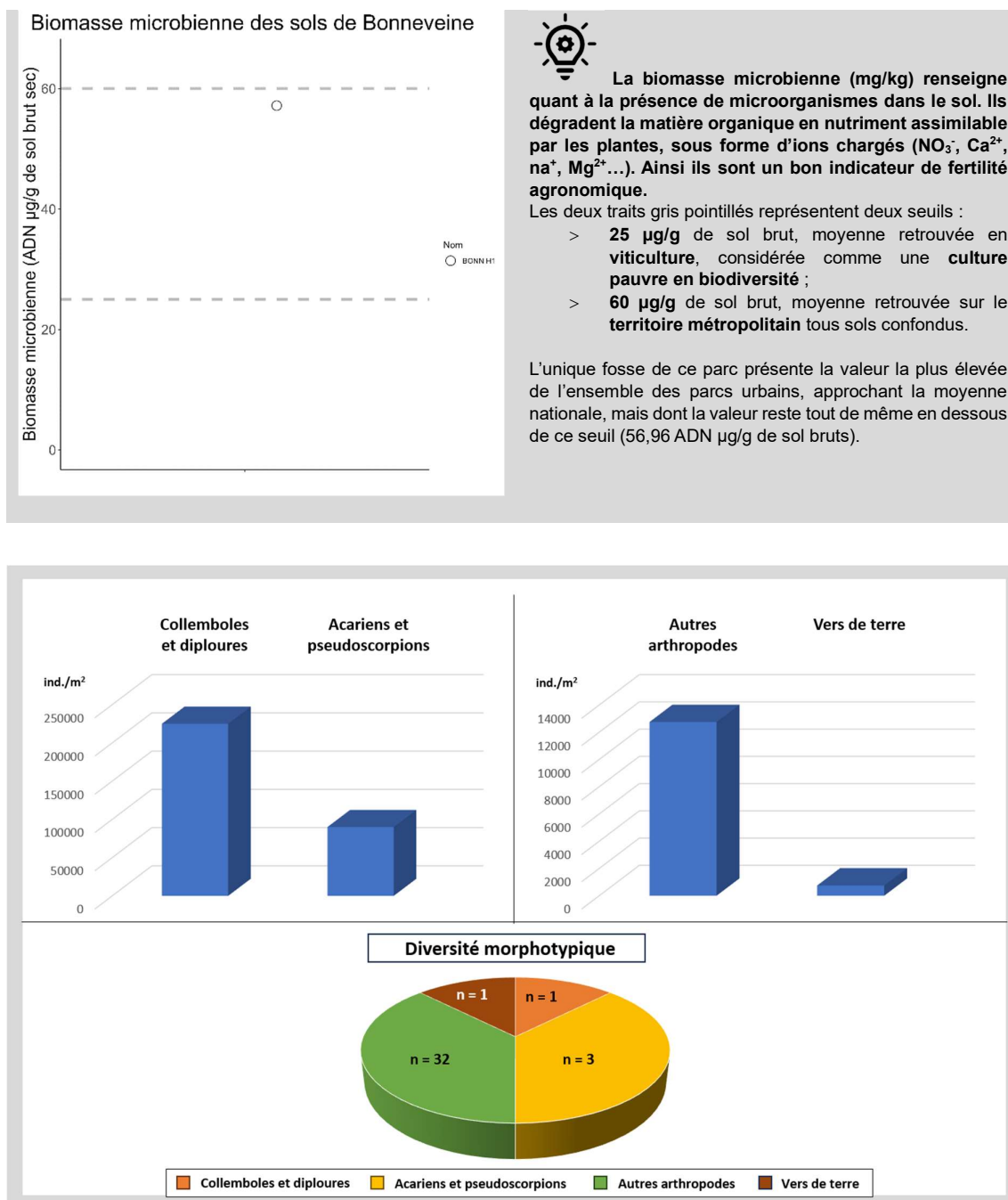


Figure 24 : Densité et diversité morphotypique de la fosse pédologique du parc Central de Bonneveine.

Comme on l'a vu plus haut, l'échantillonnage faunistique effectué sous un bosquet à végétation spontanée en bordure du parc de Bonneveine correspond paradoxalement aux macrofaune (hors vers de terre) et mésofaune les plus abondantes de l'ensemble des parcs visités, mais aussi les plus pauvres en termes de diversité morphotypique. Ici, la densité des collemboles atteint 230 000 individus par mètre carré et celle des acariens, 90 000 individus par mètre carré. Les arthropodes de grandes taille (supérieurs à 2mm), quant à eux, sont représentés par quasiment tous les groupes principaux : isopodes (cloportes), myriapodes (mille-pattes) et larves d'insectes

coléoptères. Seules des larves d'insectes diptères non pas été récoltées, très probablement en raison de l'échantillonnage limité effectué.

Ces résultats s'expliquent aisément par l'abondance de litière à la surface du sol. Celle-ci constitue un substrat pour un grand nombre de fragmenteurs et de détritivores de la mésofaune, ainsi que pour des collembolés mycophages. Les arthropodes de la macrofaune, quant à eux, se répartissent entre cloportes et myriapodes, initiateurs de la chaîne de fragmentation et de décomposition de la matière organique, alimentant ainsi l'activité de la mésofaune, et prédateurs régulateurs des populations, tels que les larves de coléoptères.

La faible présence de vers de terre, dont seuls des individus juvéniles d'une unique espèce endogée ont été récoltés, est vraisemblablement due à la période d'échantillonnage, trop hivernale. Un échantillonnage en période de reproduction (printemps ou automne) fournirait des résultats significativement différents, permettant peut-être de considérer ces micro-habitats (buttes surélevées de bord de parc à sols peu piétinés) comme des points de maintien et de diffusion de la faune de vers de terre à l'ensemble du parc.

k. Préconisations

Sur la base des résultats précédemment présentés, les informations à retenir sont les suivantes :

- > **Le sol observé a été remanié afin d'y créer une butte.** Les horizons présentent une faible différenciation, témoignant d'une pédogenèse peu développée, en raison d'un remaniement anthropique.
- > Les horizons pédologiques présentent tous **une présence calcaire** (test HCI), avec une faible proportion d'éléments grossiers (pierre) sur le premier horizon, et bien plus importante sur le second horizon.
- > Ce sol se caractérise par une **fonctionnalité intéressante**, en raison tout d'abord d'**une bonne qualité physique**, d'une texture équilibrée à dominante limoneuse remaniée par une activité biologique dense sur l'ensemble du profil de sol comme en témoigne la **structure grumeleuse** observée.
- > **Ce sol a une bonne fertilité chimique**, notamment sur le premier horizon comme en témoignent les teneurs en matière organique et la capacité d'échange cationique importante. Cette fertilité s'abaisse fortement en profondeur faisant état pour l'instant de faibles échanges verticaux au sein du profil de sol.
- > La présence importante **d'éléments grossiers** dans le second horizon freine l'installation du réseau racinaire. On observe en effet un déploiement des racines horizontales et peu profondes au sein du profil limitant, de fait, de l'incorporation de matière organique en profondeur.
- > **Toutefois, ces éléments n'empêchent pas une couverture végétale dense et bien installée. Ainsi, aucune action spécifique n'est préconisée sur ce sol. En cas de remaniement, il peut être préconisé d'abaisser la teneur en éléments grossiers par épierrage manuel. L'horizon de surface étant de qualité et riche en biodiversité, nous préconisons une gestion différenciée des horizons en cas de travaux (séparation des horizons sous forme d'andain et réinstallation respectant la lithologie observée).**

Ce sol est caractérisé en tant qu'**Anthroposol artificiel** (Référentiel pédologique de France, 2008).

Le parc Athéna

a. Présentation et gestion du site

Mis en place par la ville de Marseille en 2007, le parc Athéna d'une surface de 10 hectares situé dans le 13^e arrondissement a été créé sur les terres d'une ancienne exploitation agricole. Des aménagements hydrauliques ont été réalisés dans les années 1995 avec un bassin excréteur de crues et des terrassements importants sur une surface de 4 hectares, situés dans le nord-est du parc. Un ancien théâtre de plein air y a été construit en 1900. Le parc s'intègre dans une « **trame verte** » (i.e. milieux naturels et semi-naturels terrestres). Les espaces du parc Athéna ont ainsi deux vocations, un espace « semi-naturel » et un espace « récréatif ».

Le parc est géré de manière à éviter la compaction des sols (paillage, fauchage tardif). De nombreuses actions de gestion du patrimoine vert (renouvellement des plantations, fauchage tardif, prairies non fauchées) y sont pratiquées, les résidus d'élagage sont utilisés en paillage au sol, les pieds des jeunes plantations sont musclés. Ces pratiques visent à limiter le stress hydrique. Une attention particulière est aussi observée concernant la maîtrise des plantes invasives.

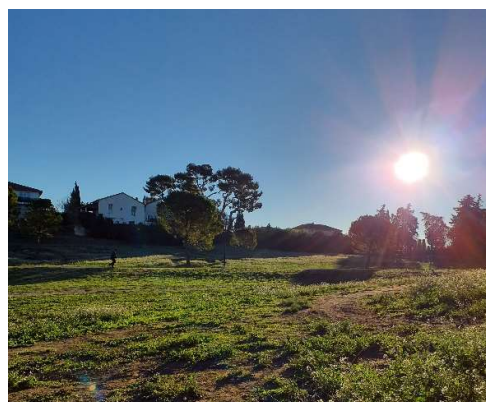
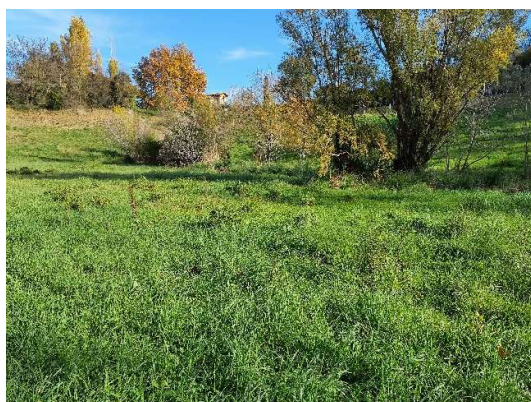


Figure 9. Parc Athéna (source : Soltis Environnement).

b. Contexte historique

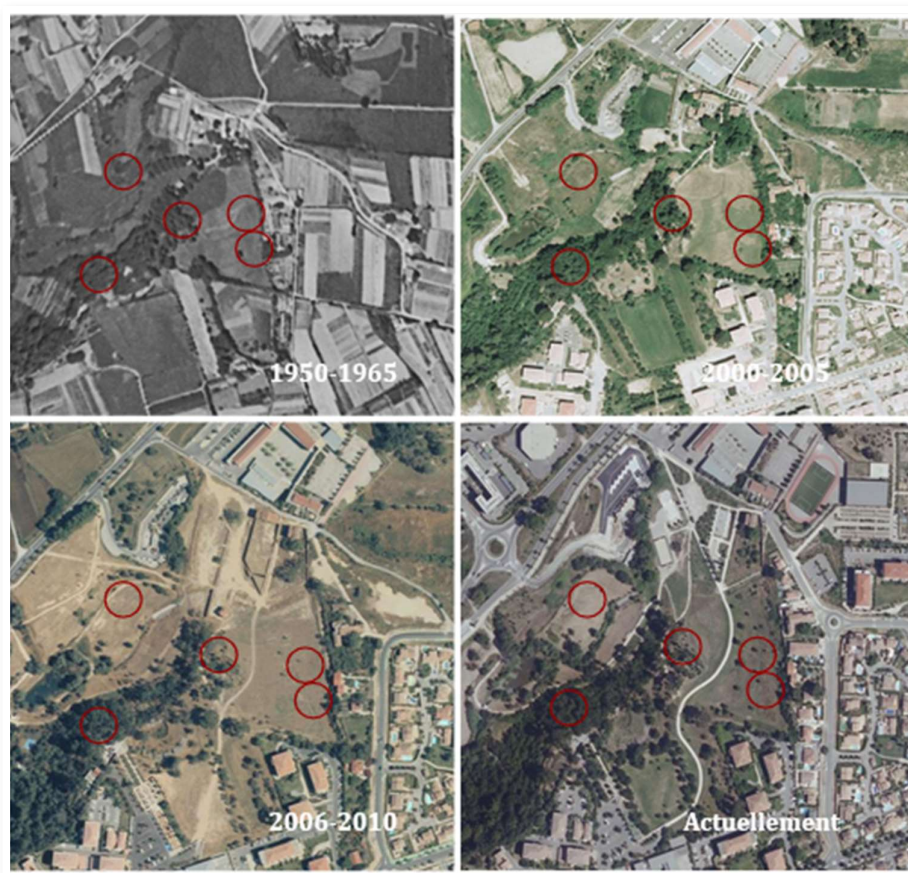


Figure 25. Évolution du parc Athéna de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.

Il est observé une cohérence dans la gestion du parc urbain, entre son passif agricole et son usage urbain actuel. La configuration paysagère semble être très proche.

Ainsi, les deux fosses pédologiques situées à l'est du parc et celle située dans la partie nord, actuellement en zone de prairie, étaient à l'époque des parcelles agricoles. Les deux fosses pédologiques localisées sous les couverts arborés, situées respectivement dans le sud-est et le centre du parc, étaient à l'époque sous couvert arboré.

c. Contexte géologique

Le parc Athéna repose sur deux contextes géologiques. Quatre des cinq fosses pédologiques réalisées reposent sur un dépôt de l'Oligocène inférieur (Stampien). Ce sont des formations détritiques très variées et sur une formation argilo-gréseuse (rouge et grise) et conglomératique du Stampien. Le matériel détritique a une double origine : les galets de calcaires jurassiques et crétacés proviennent du démantèlement des massifs de bordures ; et les galets verts, bruns ou rouges de grès et quartzites permien accompagnés d'éléments métamorphiques pourraient provenir d'un massif ancien situé au sud de Marseille. La partie ouest du parc, où la cinquième fosse pédologique a été réalisée, repose sur des terrains sédimentaires (alluvions récentes) datant du milieu du Würmien. Ces alluvions de fond de vallée comprennent essentiellement des graviers fluviaux recouverts par des sédiments fins, dont la formation provient de la remontée du niveau de la mer lors de la transgression flandrienne.

d. Contexte pédologique

Le contexte urbain ne permet pas d'avoir accès à l'information sur les caractéristiques pédologiques du parc Athéna.

e. Topographie

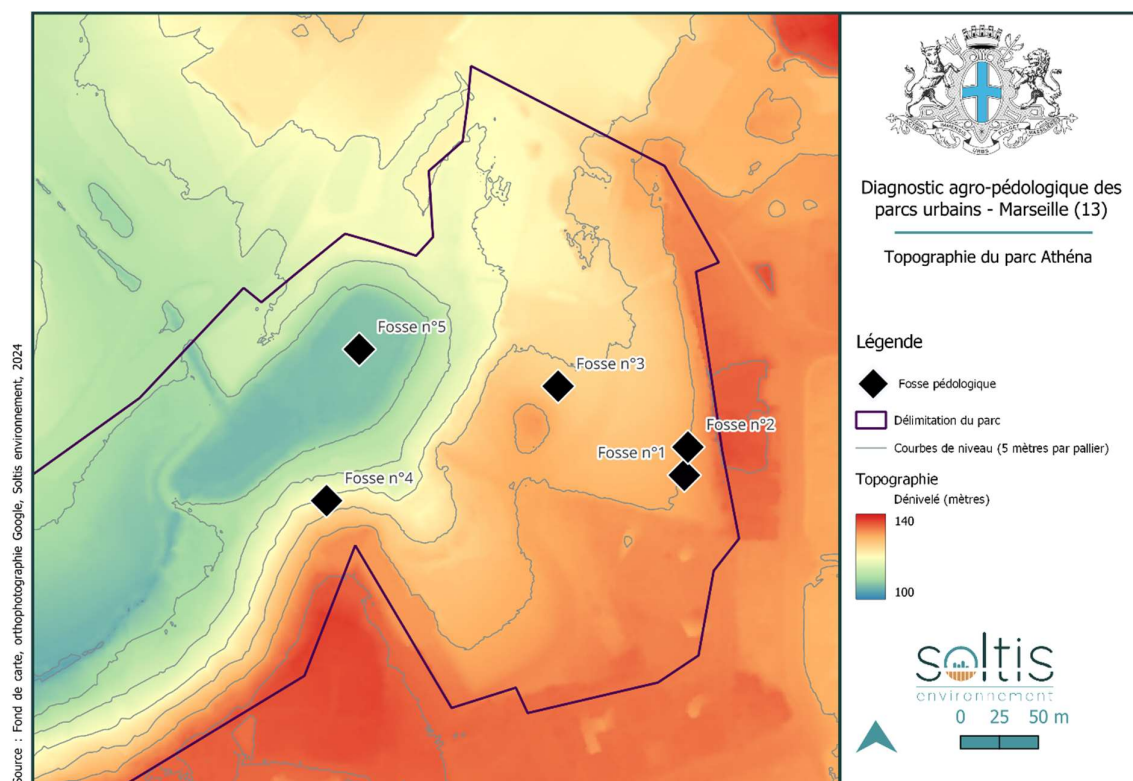


Figure 26. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc Athéna (MNT).

f. Objectif

En plus de renforcer les engagements liés à la labellisation « **EcoJardin** », l'objectif propre à ce parc est la compréhension des différences observées au sein de cinq couverts végétaux différents :

- > Une piste de vélo créée lors d'une manifestation sportive récente et une pelouse à proximité non impactée, qui fait état de référence ;
- > Une pelouse à proximité de la pinède ;
- > Une pinède pionnière (boisement) ;
- > Un ancien bassin d'expansion des crues.

g. Description pédologique et environnement du site



Figure 27. Localisation et fosses pédologiques du parc Athéna. Les numéros 1, 2, 3, 4 et 5 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une pelouse, la deuxième sur un ancien chemin de vélo à proximité de la première fosse, la troisième dans une pelouse à proximité d'une pinède, la quatrième dans une pinède pionnière, et la cinquième fosse pédologique au sein d'un bassin d'expansion des crues.

Fosse pédologique n°1

Habitat : Pelouse non impactée.



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
-5 0 5 10 15 20	Grumeleux	LAS	0,2 - 1	5	Meuble
20 25 30	Massive	LAS	< 0,2	40	Très forte

Fosse pédologique n°2

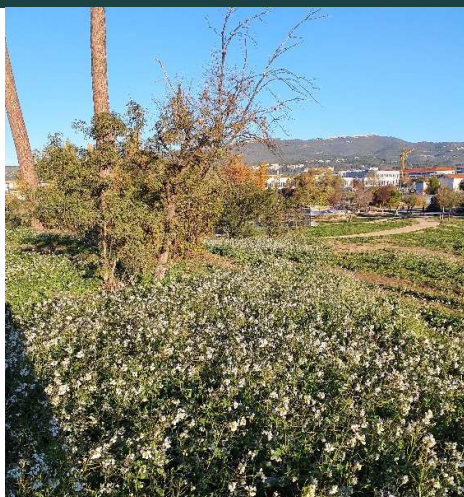
Habitat : ancien chemin de vélo.



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
0					
2					
4					
6	Grumeleux	Lsa	0,2 - 1	5	Forte
8					
10					
12					

Fosse pédologique n°3

Habitat : Pelouse à proximité de la pinède.

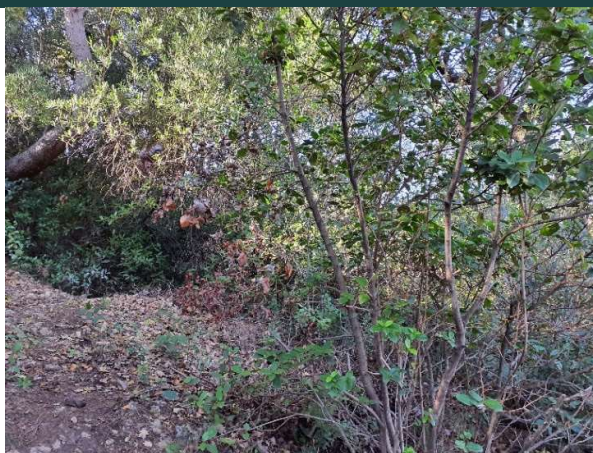


-5
0
5
10
15
20
25

Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
Grumeleux	LAS	0,2 - 1	5	Non compact
Polyédrique subangulaire	Lsa	0,2 - 1	10	Très forte

Fosse pédologique n°4

Habitat : Pinède pionnière.



-5		Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
0						
5		Grumeleux	Lsa	> 5	< 5	Meuble
10						
15						
20						
25		Polyédrique angulaire	LAS	0,2 - 1	20	Modérée
30						
35						
40						

Fosse pédologique n°5

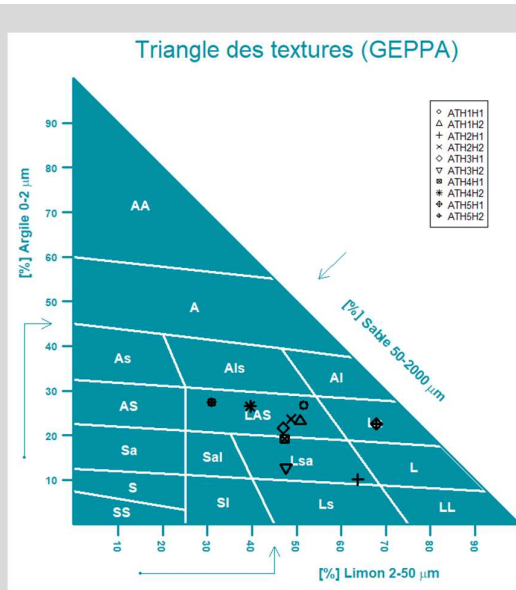
Habitat : bassin d'expansion des crues.



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
0 - 15	Grumeleux	La	0,2 - 1	< 5	Faible
15 - 30	Polyédrique subangulaire	LAS	< 0,2	10	Modérée
30 - 40	Feuilletée	A	< 0,2	< 5	Forte

Figure 28 : Profil pédologique simplifié des cinq fosses pédologiques réalisées dans le parc Athéna.

h. Qualité physique

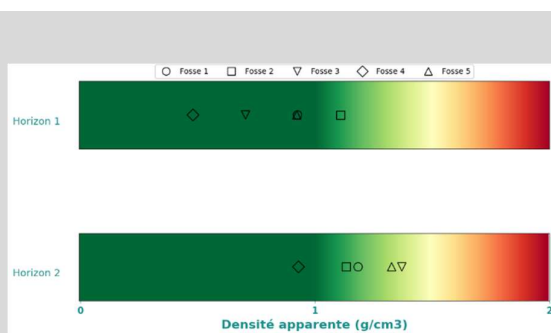


Le triangle des textures présente la répartition de la taille des particules du sol, appelée granulométrie. On distingue principalement trois classes granulométriques : les argiles ($< 2 \mu\text{m}$), les limons ($2-50 \mu\text{m}$) et les sables ($50-2000 \mu\text{m}$).

La proportion de chaque type de particule détermine le type de texture du sol.

Les textures les plus équilibrées correspondent aux textures limon/argile/sable (LAS selon la classification GEPPA).

Ce parc urbain présente des sols caractérisés par une texture principalement équilibrée (LAS). Ceci concerne spécifiquement les deux horizons de la première fosse pédologique, le second horizon de la deuxième fosse, le premier horizon de la troisième fosse ainsi que le second horizon de la quatrième et de la cinquième fosses. Le premier horizon de la deuxième fosse pédologique, et le deuxième horizon de la troisième fosse pédologique présentent une texture à dominante limoneuse (Lsa), ainsi que le premier horizon de la cinquième fosse pédologique (La).



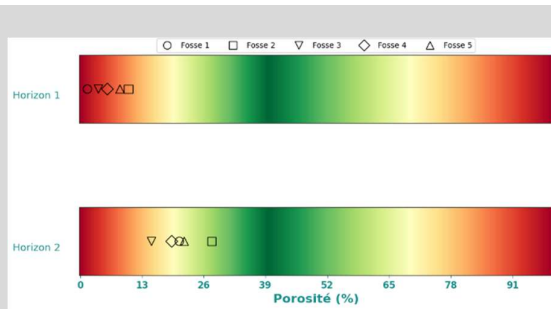
La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol. D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieur à $1,5 \text{ g cm}^{-3}$.

Les densités apparentes des deux horizons des cinq fosses pédologiques sont convenables, même si sensiblement importantes pour le second horizon des fosses pédologiques 3 et 5.



L'indice de battance évalue le risque de battance de sols, liée à la stabilité de leur structure. Le limon est la particule minérale particulièrement destructurant. D'un point de vue agronomique, le sol est considéré comme non-battant inférieur à 1,6, et très battant lorsque supérieur à 1,8.

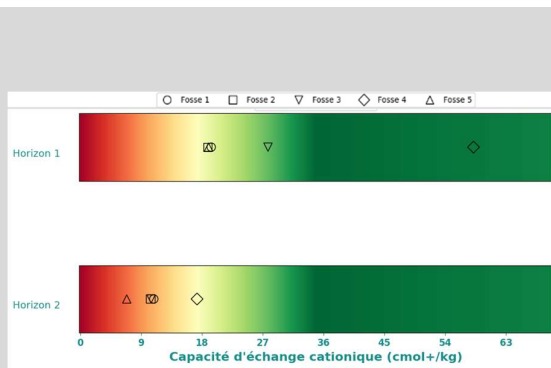
Les indices de battance sont corrects pour les deux horizons des cinq fosses pédologiques. Ces sols ne présentent aucun risque de battance.



La porosité des sols (%) contient les phases liquides et gazeuses du sol, sauf les phases minérales. La porosité est constituée des macropores et des micropores. Plus la porosité est faible, plus les sols sont tassés, et à l'inverse plus la porosité est importante, plus les sols sont aérés et à texture équilibrée. La porosité des sols se situe entre 30% et 40% en moyenne.

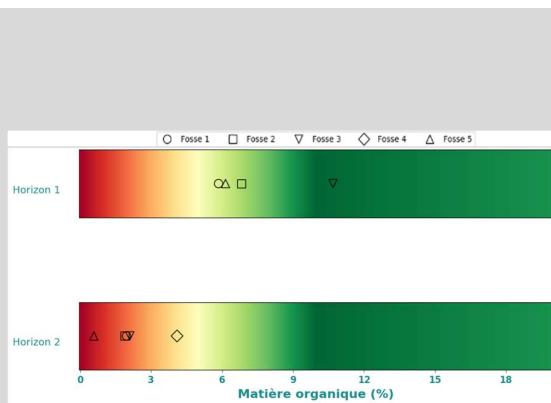
La porosité des sols est faible pour le premier horizon des cinq fosses pédologiques. Elle est plus importante dans le second horizon de ces cinq fosses.

i. Qualité chimique



La CEC renseigne quant au potentiel de rétention du sol vis-à-vis des cations, nutriments indispensables à la croissance des plantes (potassium, magnésium, calcium, sodium). Plus ce potentiel est élevé et plus le sol est capable de retenir les cations et plus la fertilité potentielle d'un sol est importante.

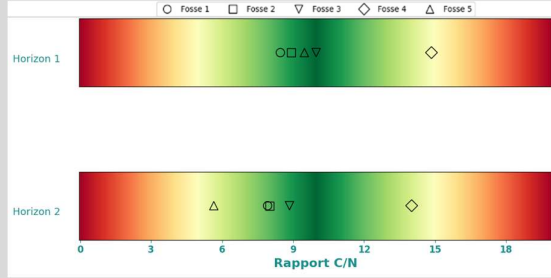
La CEC du premier horizon des 5 fosses pédologiques est convenable, et particulièrement importante pour la cinquième fosse pédologique (bassin de rétention des crues). La CEC est plus faible dans le second horizon de ces mêmes fosses.



La teneur en matière organique correspond à la quantité de macronutriments (carbone, azote, phosphore, soufre) présente dans le sol. Elle provient de la biomasse vivante, morte, et est indispensable à la vie microbienne et au développement des plantes. D'un point de vue agronomique, sa teneur optimale est entre 4 et 10%.

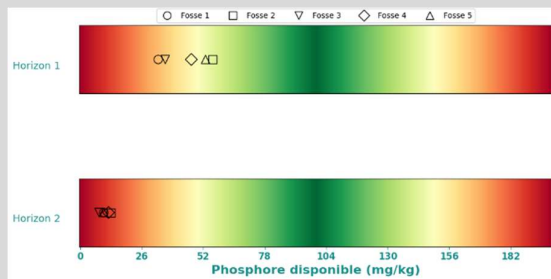
La teneur en matière organique (MO) est correcte pour le premier horizon de l'ensemble des fosses pédologiques, et faible pour le second horizon de ces fosses, excepté pour la quatrième fosse pédologique. Le second horizon de la cinquième fosse présente une teneur très faible (0,58 %), laissant supposer un faible mouvement vertical de la matière organique entre ces deux horizons.

Le premier horizon de la quatrième fosse pédologique (sous couvert boisé) n'est pas représenté sur l'indicateur, puisque la valeur est très importante (21,25 %).



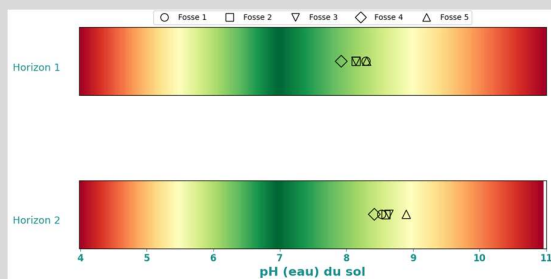
Un équilibre entre la présence de carbone d'une part et d'azote d'autre part est essentiel pour encourager la vie de la faune et de la flore d'un sol. Le premier fournit l'énergie et le deuxième rentre dans la composition des protéines. L'équilibre est optimal lorsque le ratio est aux alentours de 10 dans le sol.

Le ratio C/N est très important pour les deux horizons de la quatrième fosse pédologique (sous couvert boisé) ce qui est normal pour ce type de milieu (alors qu'une valeur plus faible serait espérée pour un usage agricole). Les autres horizons présentent un ratio C/N correct, un peu faible pour la fosse 5.



Le phosphore (mg/kg) est considéré comme l'un des trois éléments essentiels à la croissance des végétaux. Son optimal agronomique est de 100 mg/kg. Il reste cependant difficilement assimilable par les plantes, et les sols de France sont couramment en dessous du seuil optimal.

Le taux de phosphore est faible pour le premier horizon de l'ensemble des fosses pédologiques, et très faible pour le second horizon de l'ensemble des fosses pédologiques sans que cela soit considéré comme préoccupant. A noter néanmoins



Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

La valeur de pH est correcte pour l'ensemble des horizons, et sensiblement très élevé (8,9) pour le second horizon de la cinquième fosse pédologique, valeur la plus importante de l'ensemble des horizons décrits.

j. Qualité biologique

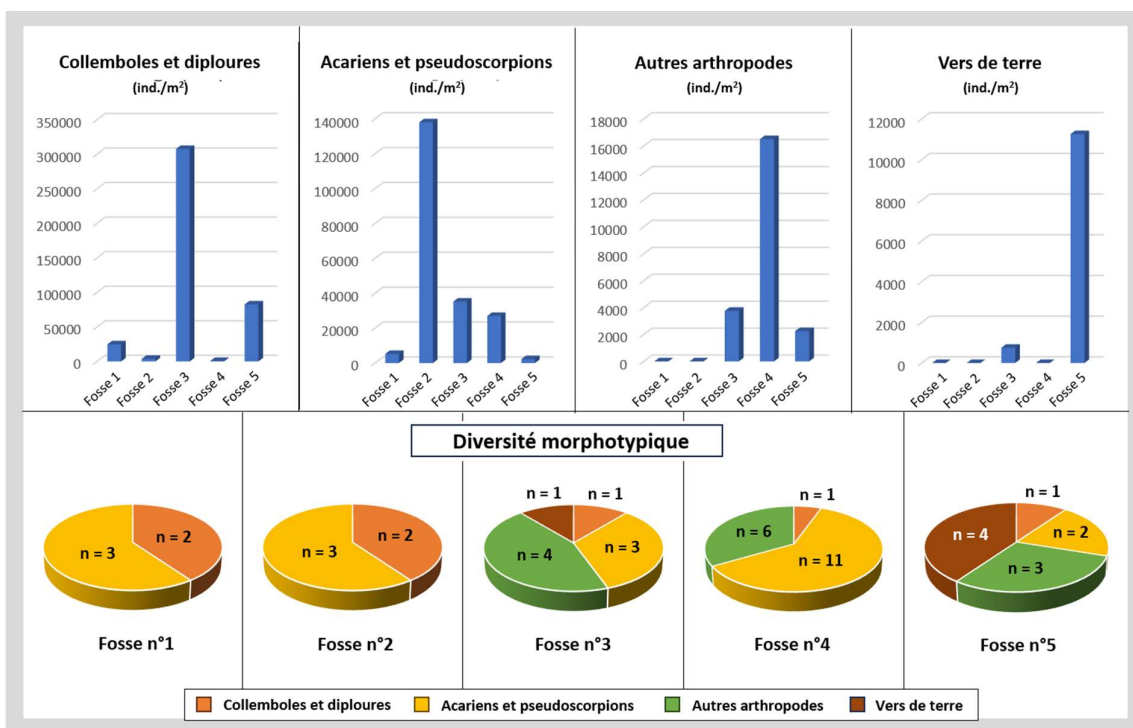
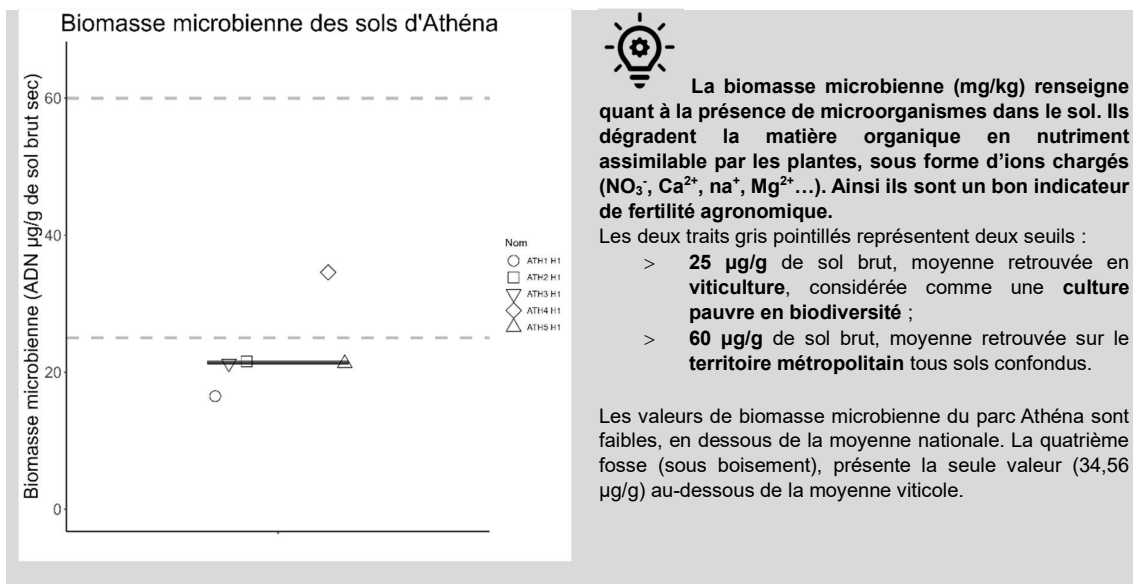


Figure 29 : Densité et diversité morphotypique des cinq fosses pédologiques du parc Athéna.

Une première constatation ressort de la série d'échantillonnages faunistique réalisé au sein de ce parc : le peu de différences entre la pelouse non impactée (fosse 1) et la pelouse impactée par un ancien chemin de vélo (fosse 2). Aucune de ces deux fosses n'a permis de récolter des spécimens de la macrofaune, aussi bien arthropode que vers de terre. Concernant la mésofaune, seules les populations d'acariens de l'ancien chemin de vélo dépassent de loin celles de la pelouse non impactée, avec respectivement 138 000 individus par mètre carré estimés contre seulement 5250 individus par mètre carré. Cependant, si une telle différence semble hautement significative en première approximation, il convient de considérablement relativiser du fait que ces chiffres ne reposent que sur un unique monolithe de sol extrait à proximité de chacune des deux fosses, d'une part, et de fortes similitudes physico-chimiques entre ces deux sols distants de seulement quelques mètres, d'autre part.

La pelouse sous influence d'une pinède (fosse 3) présente, de son côté, un profil original. Elle se caractérise à la fois par une grande abondance de collemboles et une diversité morphotypique globale relativement importante, notamment au niveau des arthropodes de la macrofaune (supérieurs à 2mm). Ici ont été récoltés des myriapodes (mille-pattes), ainsi que des larves d'insectes diptères et coléoptères. Les premiers assurent principalement un rôle de fragmenteur de la matière organique tandis que les larves de diptères en plus de ce même rôle de fragmenteur, vont agir sur la décomposition des petits cadavres animaux. Par ailleurs, une bioturbation relativement importante du sol semble assurée ici par la présence d'une espèce de vers de terre, en densité faible en cette période mais probablement plus significative au printemps et en automne, au moment de la reproduction de ces organismes.

D'une manière générale, la diversité de cette pelouse proche d'une pinède semble le résultat d'une bonne teneur en matière organique (la plus importante mesurée dans ce parc) et d'un rapport C/N quasi optimal.

La pinède pionnière (fosse 4) se distingue par une forte abondance d'arthropodes de la macrofaune, aux côtés d'une faible abondance de la mésofaune et une absence de vers de terre. La faible abondance de collemboles et d'acariens, bien que par ailleurs une espèce de pseudoscorpion ait été trouvée à cet endroit, semble due à une distribution sporadique de la litière du fait d'une forte pente à l'endroit de l'échantillon. De son côté, l'absence de vers de terre est très probablement imputable à la saison hivernale, une majorité d'adultes ayant disparu ou s'étant confiné très en profondeur pour passer la mauvaise saison. Des échantillons complémentaires au printemps ou en automne pourraient significativement affiner ce diagnostic. A l'inverse, la grande abondance d'arthropodes s'explique probablement par une très bonne CEC et une forte teneur en matière organique dans le sol. Par ailleurs, les irrégularités du sol, la pente, la présence de roches et cette distribution irrégulière de la litière aux alentours du point d'échantillonnage semblent propices à l'établissement de nombreux microhabitats. Ceux-ci pourraient expliquer la diversité des acariens et pseudoscorpions observée, malgré une abondance relativement faible.

Enfin, la zone herbeuse de l'ancien bassin d'expansion des crues (fosse 5) est, elle, caractérisée par une forte abondance et une bonne diversité de vers de terre, phénomène rare pour l'ensemble des sites visités au cours de ce travail. Ici, la compacité du sol et la faible teneur en matière organique sont largement compensées par une forte humidité du sol, paramètre souvent déterminant quant à l'établissement d'une importante communauté de ces organismes. Quatre espèces ont été collectées, dominées par *Aporrectodea rosea* et *Allolobophora chlorotica*, deux espèces endogées de taille moyenne souvent trouvées dans des milieux plus riches en matière organique mais pouvant toutefois supporter sans difficulté les conditions de cette zone herbeuse. *Allolobophora chlorotica* est, par ailleurs, une espèce classique des milieux humides. Toutes deux contribuent à la circulation des nutriments en profondeur. Une espèce épigée, *Lumbricus rubellus*, trouvée en faible densité en surface, assure la bioturbation de l'horizon supérieur, notamment au niveau des systèmes racinaires.

k. Préconisations

L'analyse globale des cinq fosses pédologiques indique les points clefs suivants :

- > Les horizons pédologiques présentent tous une **présence calcaire** (test HCl), avec une faible proportion d'éléments grossiers, excepté pour le second horizon de la première fosse pédologique. L'ensemble des horizons du parc Athéna présentent des profils avec une texture à dominante limoneuse, et à texture équilibrée, avec une bonne proportion des trois phases granulométriques (Limon / Argile / Sable).
- > **Le premier et le troisième sol présentent un profil de sol typique de prairies**, avec un horizon mélangeant matrice minérale et matière organique en provenance du couvert végétal, et réarrangé par les organismes du sol. La structure est grumeleuse et meuble reposant sur un second horizon minéral plus compact. Ils sont tout de même marqués par une fertilité chimique faible en profondeur, faisant état de faibles transferts verticaux probablement liés à cette compaction importante.
- > **Le sol impacté par le passage répété de vélos présente une compacité très forte seulement sur les premiers centimètres**, puis devient grumeleux. Cette observation fait état d'une vie biologique **passée et/ou présente** importante. Le tassement n'a pas encore eu d'impact notable sur la fertilité chimique, puisque celle-ci présente, globalement, les mêmes valeurs que dans la pelouse non impactée. Il est cependant observé un rapport **C/N très bas** pour le second horizon, faisant état d'un manque de carbone pour la dégradation de la matière organique par les microorganismes. Ceci souligne des améliorations à prévoir lors de l'installation de ce type de prairies (voir ci-dessous).
- > Le sol sous boisement **présente une pédogenèse caractéristique d'un couvert végétal de résineux**. Le premier horizon est très **humifère**, très meuble, de structure grumeleuse, avec une fertilité chimique importante (capacité d'échange cationique et matière organique) à laquelle se mélange une très faible matrice minérale. Le rapport C/N de ce premier horizon est légèrement élevé. Ceci s'explique par une teneur en carbone élevée entraînant une immobilisation de l'azote par les organismes du sol. Ce premier

horizon repose sur un horizon bien plus minéral, plus compact, avec une **présence moyenne d'éléments grossiers calciques**. Ces deux horizons présentent les pH les moins élevés du parc Athéna, en raison d'une litière acidifiante que produisent les essences résineuses (décarbonatation progressive en surface).

- > Le sol observé au sein du bassin d'expansion des crues est caractérisé par **un troisième horizon très argileux relativement imperméable** permettant ainsi la rétention d'eau en surface. Cette eau est par la suite drainée par le biais des deux fossés localisés de part et d'autre du bassin. Le premier horizon présente **une fertilité chimique très importante** au travers de la capacité d'échange cationique et la matière organique. Cette fertilité est bien plus faible au niveau du second horizon, faisant état d'un manque d'échange horizontal entre les ces deux horizons.

Ainsi l'ensemble des sols peuvent être caractérisés en tant qu'**Anthroposol artificiel**, excepté le sol de la pinède pionnière, qui peut être caractérisé en tant que **Calcosol haplique** (Référentiel pédologique de France, 2008).

En conséquence, sur ce secteur, aucune préconisation n'est proposée, puisque les sols ne montrent pas de problématiques externes à leur fonctionnement normal, excepté pour le sol tassé de l'ancien chemin de vélo, où il est conseillé de :

- > Décaper et conserver l'horizon 1 sous forme d'andain (hauteur maximale de 1 m) ;
- > Décompacter au ripper / herse sur les 15/20 cm compactés, le travail devra être réalisé en conditions sèches pour éviter toute dégradation supplémentaire de la structure du sol ;
- > Apporter de la matière organique (compost de déchets verts) pour réactiver l'activité microbienne et compenser le faible ratio C/N, un ratio de matière organique de 10% devrait être suffisant ;
- > Enfin l'horizon 1 sera régalé en surface, égalisé, griffé avec tête rotative puis réensemencé immédiatement pour éviter la prolifération d'espèces exotiques envahissantes.

De manière générale, lors de la mise en place de prairies au sein des parcs, il est recommandé de décompacter l'horizon de sous-face préalablement à l'installation d'un horizon de surface pour permettre la réactivation rapide d'une pédogénèse naturelle. En l'état, les transferts sont limités que ce soit en termes de nutriments ou d'eau.

Le parc Oasis

a. Présentation et gestion du site

Le parc de l'Oasis, situé dans le 15^e arrondissement, est constitué d'un regroupement de plusieurs terrains (Camp militaire de la Delorme, la Rouvière et la Rigaudière) acquis par la ville de Marseille. Il a été créé en 1983. Il s'étend sur une superficie de 2,3 hectares, et est décomposé en trois parties distinctes afin de créer trois ambiances spécifiques. Un de ses objectifs est d'inciter le citoyen à la promenade.

Le site présente une gestion différenciée, avec une diminution des espaces minéralisés pour créer un massif de végétaux méditerranéens indigènes. Certaines zones sont laissées à l'enherbement spontané. L'arrosage a été réduit et les agents sont formés pour maîtriser l'émergence des plantes exotiques envahissantes.



Figure 30 : Parc Oasis (source : internet).

b. Contexte historique



Figure 31. Évolution du parc de l'Oasis de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.

La configuration du parc a sensiblement changé depuis les années 1950. La partie sud du parc a dû subir un certain nombre de travaux de terrassement pour sa création en 1983, avec notamment la création des deux aires récréatives dans le sud du parc, ce qui a pu impacter les pelouses en place.

c. Contexte géologique

Ce site repose sur un dépôt de l'Oligocène inférieur (Stampien). Plus précisément, le parc de l'Oasis repose sur des formations détritiques très variées et sur une formation argilo-gréseuse (rouge et grise) et conglomératique du Stampien. Le matériel déritique a une double origine : les galets de calcaires jurassiques et crétacés proviennent du démantèlement des massifs de bordures ; et les galets verts, bruns ou rouges de grès et quartzites permien accompagnés d'éléments métamorphiques peuvent provenir d'un massif ancien situé au sud de Marseille.

d. Contexte pédologique

Le contexte urbain ne permet pas d'avoir accès à l'information sur les caractéristiques pédologiques du parc de l'Oasis.

e. Topographie

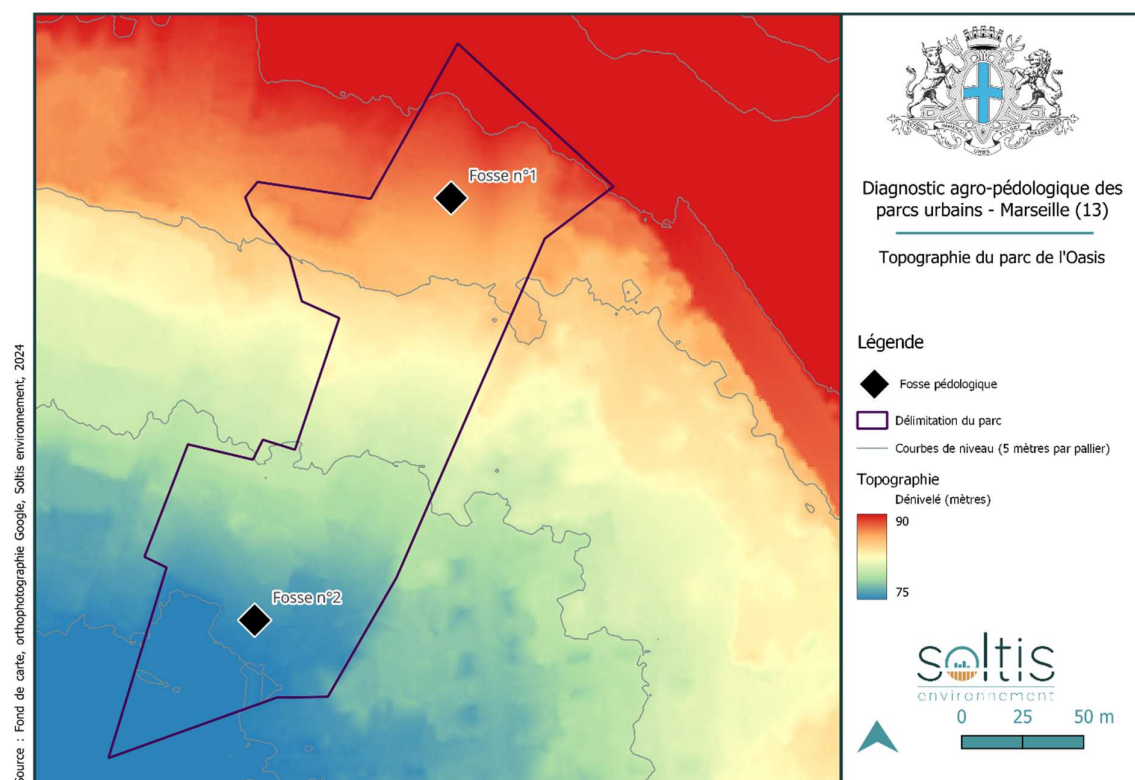


Figure 32. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc de l'Oasis (MNT).

f. Objectif

En plus de renforcer les engagements liés à la labellisation « **EcoJardin** », l'objectif propre à ce parc est d'identifier les facteurs de dégradation de la pelouse dégradée au sud comparativement à la pelouse entretenue au nord. Description pédologique et environnement du site

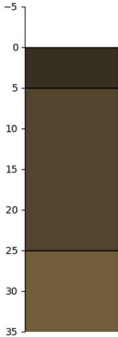
Source : Fond de carte, orthophotographie Google, Soltis environnement, 2024



Figure 33. Localisation et fosses pédologiques du parc de l'Oasis. Les numéros 1 et 2 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une zone de pelouse entretenue et la deuxième fosse pédologique dans une zone de pelouse dégradée.

Fosse pédologique n°1

Habitat : Pelouse entretenue.



Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
Grumeleux	Sal	1 - 5	5	Meuble
Grenue	Sal	0,2 - 1	80	Modérée
Massive	LAS	< 0,2	70	Modérée

Fosse pédologique n°2

Habitat : Pelouse dégradée.



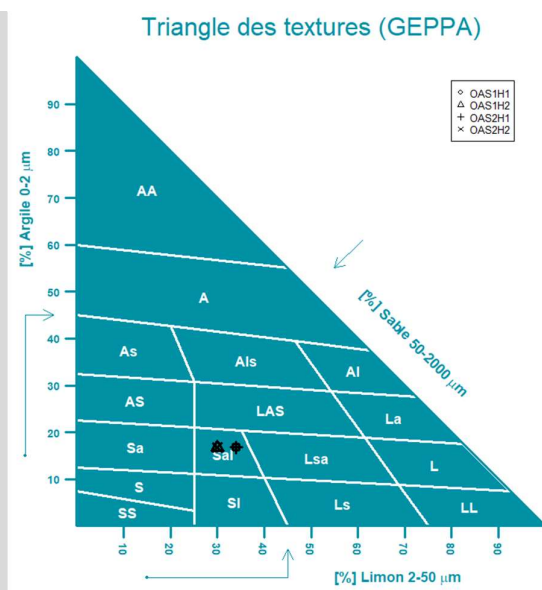
-5		Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
0		Massive	Sal	0,2 - 1	70	Forte en surface
5						
10						
15						
20		Massive	Sal	0,2 - 1	80	Forte
25						
30						
35						

Figure 34 : Profil pédologique simplifié des deux fosses pédologiques réalisées dans le parc de l'Oasis.



Deux horizons ont été identifiés pour la fosse n°2 mais le matériau est le même d'un point de vue de sa qualité physico-chimique. Un seul prélèvement a donc été effectué.

g. Qualité physique

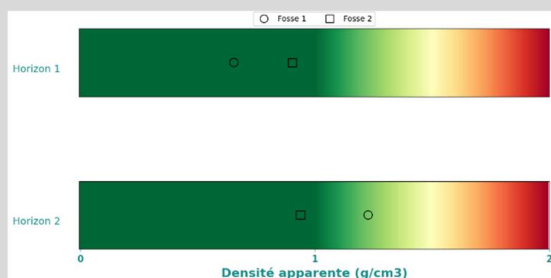


Le triangle des textures présente la répartition de la taille des particules du sol, appelée granulométrie. On distingue principalement trois classes granulométriques : les argiles ($< 2 \mu\text{m}$), les limons ($2-50 \mu\text{m}$) et les sables ($50-2000 \mu\text{m}$).

La proportion de chaque type de particule détermine le type de texture du sol.

Les textures les plus équilibrées correspondent aux textures limon/argile/sable (LAS selon la classification GEPPA).

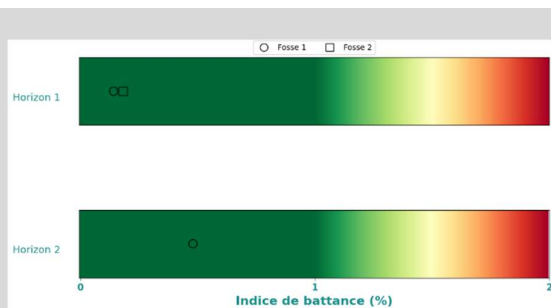
La texture est à dominante sableuse (Sal). Elle est très homogène tout au long du profil de sol de chacune des fosses pédologiques du parc de l'Oasis.



La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol. D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieure à $1,5 \text{ g cm}^{-3}$.

Les densités apparentes des deux horizons des deux fosses pédologiques sont convenables, malgré la compacité élevée observée dans la deuxième fosse pédologique lors du travail descriptif de terrain.

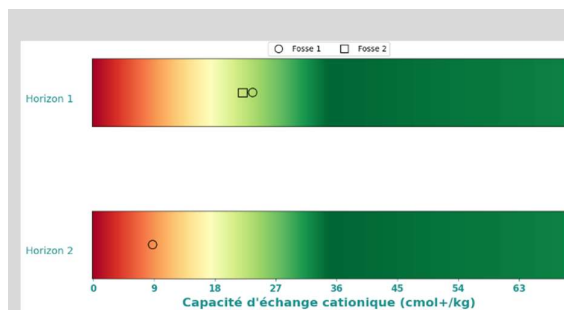
A noter que la très forte teneur en éléments grossiers dans cette seconde fosse peut entraîner un biais dans la mesure de densité apparente.



L'indice de battance évalue le risque de battance de sols, liée à la stabilité de leur structure. Le limon est la particule minérale particulièrement destructurant. D'un point de vue agronomique, le sol est considéré comme non-battant inférieur à 1,6, et très battant lorsque supérieur à 1,8.

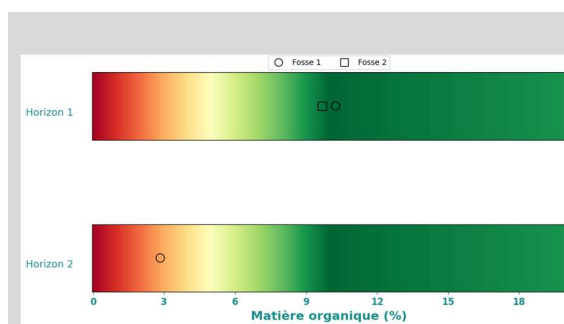
L'indice de battance présente des valeurs correctes. L'ensemble des horizons des deux fosses pédologiques ne présentent aucune problématique de battance.

h. Qualité chimique



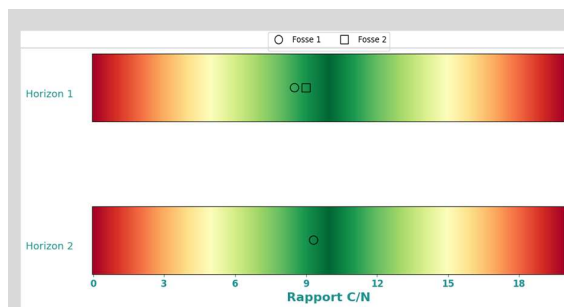
La CEC renseigne quant au potentiel de rétention du sol vis-à-vis des cations, nutriments indispensables à la croissance des plantes (potassium, magnésium, calcium, sodium). Plus ce potentiel est élevé et plus le sol est capable de retenir les cations et plus la fertilité potentielle d'un sol est importante.

La CEC présente des valeurs correctes pour le premier horizon des deux fosses pédologiques, mais une valeur très basse pour le second horizon.



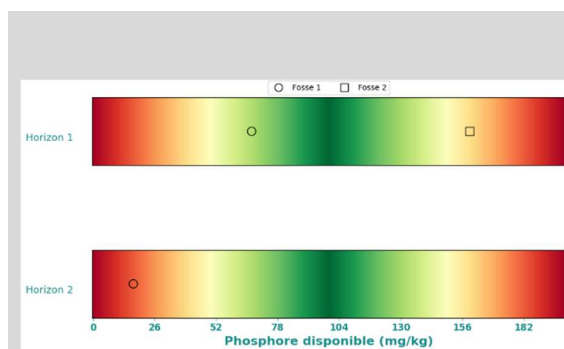
La teneur en matière organique correspond à la quantité de macronutriments (carbone, azote, phosphore, soufre) présente dans le sol. Elle provient de la biomasse vivante, morte, et est indispensable à la vie microbienne et au développement des plantes. D'un point de vue agronomique, sa teneur optimale est entre 4 et 10%.

La teneur en matière organique (MO) est importante pour le premier horizon des deux fosses pédologiques, mais très faible pour le second horizon de la fosse pédologique en prairie entretenue.



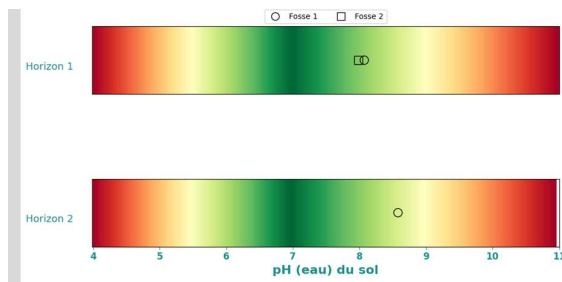
Un équilibre entre la présence de carbone d'une part et d'azote d'autre part est essentiel pour encourager la vie de la faune et de la flore d'un sol. Le premier fournit l'énergie et le deuxième rentre dans la composition des protéines. L'équilibre est optimal lorsque le ratio est aux alentours de 10 dans le sol.

Le ratio C/N est convenable pour l'ensemble des horizons.



Le phosphore (mg/kg) est considéré comme l'un des trois éléments essentiels à la croissance des végétaux. Son optimal agronomique est de 100 mg/kg. Il reste cependant difficilement assimilable par les plantes, et les sols de France sont couramment en dessous du seuil optimal.

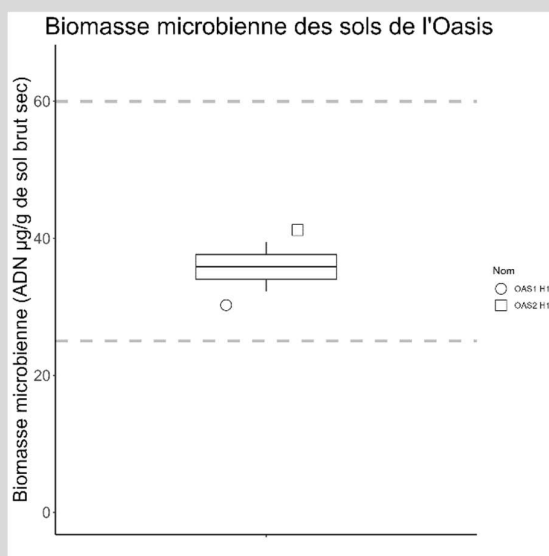
La teneur en phosphore est relativement faible pour le premier horizon de la fosse pédologique (en prairie entretenue), voire très faible pour le second horizon. Il est en revanche trop élevé pour ce même horizon au sein de la deuxième fosse pédologique (prairie dégradée). Des amendements ont probablement été réalisés pour tenter de restaurer la prairie sans obtenir le résultat escompté.



Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

La valeur de pH est correcte pour l'ensemble des horizons des deux fosses pédologiques.

i. Qualité biologique



La biomasse microbienne (mg/kg) renseigne quant à la présence de microorganismes dans le sol. Ils dégradent la matière organique en nutriment assimilable par les plantes, sous forme d'ions chargés (NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} ...). Ainsi ils sont un bon indicateur de fertilité agronomique.

Les deux traits gris pointillés représentent deux seuils :

- > **25 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée en **viticulture**, considérée comme une **culture pauvre en biodiversité** ;
- > **60 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée sur le **territoire métropolitain** tous sols confondus.

Le parc de l'Oasis présente des valeurs supérieures à la moyenne viticole, mais inférieures à la moyenne nationale. La deuxième fosse, dans la pelouse dégradée, présente une valeur légèrement supérieure (39,45 µg ADN/g sol) à celle de la pelouse entretenue (32,23 µg ADN/g sol). Ces résultats indiquent un potentiel biologique important malgré l'état très dégradé de la prairie au droit de la fosse 2.

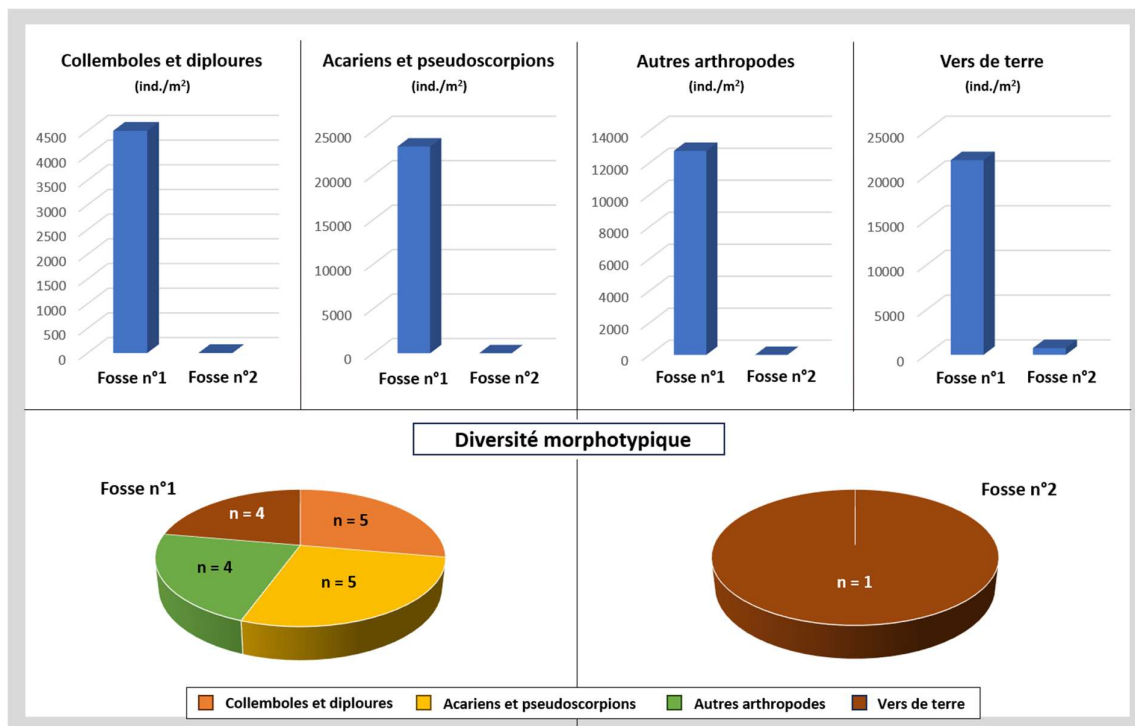


Figure 35 : Densité et diversité morphotypique des deux fosses pédologiques du parc de l'Oasis.

Les résultats associés à la pelouse entretenue (fosse 1), d'une part, et à la pelouse dégradée (fosse 2), d'autre part, apparaissent comme radicalement opposés. En effet, alors que la pelouse entretenue affiche une forte abondance et une bonne diversité morphotypique de tous les groupes macro- et mésofauniques, la pelouse dégradée n'a permis de récolter aucun spécimen de collemboles, acariens, arthropodes de plus grande taille, ni aucun autre animal à l'exception de deux vers de terre immatures de l'espèce endogée *Aporrectodea caliginosa*. La pelouse entretenue, à l'inverse, a permis la récolte de 4 espèces de vers de terre, tous endogés et largement dominés par *Allolobophora chlorotica*. Aucune espèce épigée n'a été trouvée à proximité des deux fosses établies au sein de ce parc.

Cette différence remarquable entre les deux fosses semble s'expliquer par une humidité supérieure au niveau de la fosse 1, et une plus forte compacité en surface du sol de la fosse 2.

Comme mentionné plus haut, la pelouse entretenue de ce parc a permis une découverte d'importance considérable : la présence d'une espèce de la famille Megascolecidae. Cette famille exotique originaire d'Afrique, ou plus probablement d'Asie, n'avait été repérée dans le sud-est de la France que sous serre à partir des années 1970. Une population d'une espèce du genre *Metaphire*, identifiée par le bureau d'étude DriloBIOS dans la vallée de l'Hérault et qui semble s'être installée depuis 2016, constitue la première mention de cette famille hors confinement en France. La présence d'une telle population de vers de terre au sein du parc de l'Oasis est le probable résultat à la fois d'une introduction par l'homme et des changements climatiques en cours. Il pourrait être un indicateur d'importance pour en surveiller l'évolution.

j. Préconisations

L'analyse globale des deux fosses pédologiques indique les points clefs suivants :

- > Les horizons pédologiques des deux sols présentent tous une **présence calcaire** (test HCl), avec une **forte proportion d'éléments grossiers**, sous forme de cailloux, sur l'ensemble du profil de sols (excepté horizon de surface au droit de la prairie entretenue). L'ensemble des profils présentent des horizons à dominante sableuse (las), et à texture équilibrée pour le troisième horizon de la première fosse pédologique.
- > **La pelouse entretenue présente un profil de sol typique de prairies**, avec un horizon mélangeant matrice minérale et matière organique en provenance du couvert végétal, et réarrangé par les organismes

du sol, donnant une structure grumeleuse et meuble sur le premier horizon, et une structure plus organisée caractérisée de grenue sur le second horizon. Ces deux horizons reposent sur une matrice minérale.

- > **Le sol de la pelouse dégradée** est fortement marqué par un **remaniement anthropique**, où deux horizons se démarquent difficilement avec une pédogenèse non établie. Une proportion très importante d'éléments grossiers est présente et les deux horizons sont caractérisés par une structure massive et compacte.
- > **La fertilité chimique**, au travers de la capacité d'échange cationique et de la matière organique, du premier horizon des deux fosses pédologiques, est très importante et similaire entre les deux fosses. Le potentiel biologique, mesuré au travers de la biomasse microbienne moléculaire, est également très similaire entre les deux fosses. En revanche on note **un apport en phosphore** massif sur la prairie dégradée.
- > **La qualité biologique, et notamment l'analyse de la faune du sol**, témoigne très clairement d'un sol peu fonctionnel sur la pelouse dégradée et inversement d'un sol très fonctionnel sur la pelouse entretenue.

Ces deux sols peuvent être considérés comme des **Anthroposols artificiel** (Référentiel pédologique de France, 2008).

En conséquence, sur ce secteur, les préconisations sont les suivantes :

- > **Sur la prairie dégradée :**
 - Décompacter au ripper / herse sur les 15 à 20 cm compactés (même si l'ensemble de l'horizon est compacté, la surface suffit pour l'installation du complexe racinaire de pelouse, et décompacter en profondeur pourrait dégrader les racines des arbres). Le travail devra être réalisé en conditions sèches pour éviter toute dégradation supplémentaire de la structure du sol ;
 - Epierrer au maximum pour accroître par la suite la réserve utile. Attention des déchets ont pu être observés et il est possible que le sol soit contaminé.
 - NE PAS apporter de compost ou d'amendement organique car le sol est déjà suffisant riche en matière organique, azote et phosphore.
 - Egaliser et griffer avec tête rotative puis réensemencer immédiatement pour éviter la prolifération d'espèces exotiques envahissantes.
 - Mettre en place un exclos pour éviter le piétinement le temps que la pelouse se développe et que le sol se stabilise. Arroser.
- > **Sur la prairie entretenue :**
 - Aucune préconisation n'est proposée. Le sol est de qualité, il est fonctionnel et présente une teneur en matière organique élevée.

Le Domaine de l'Annonciade

a. Présentation et gestion du site

Le Domaine de l'Annonciade, d'une superficie de 1,8 hectare situé dans le 15^e arrondissement, a été racheté par la ville de Marseille en 2020 afin d'y réaliser un parc urbain, dans la continuité de l'engagement politique de « ramener la nature dans la ville ». Cet espace sera segmenté en trois parties constituées d'un équipement public, d'un jardin public et d'un espace de jardins partagés. Ce domaine a déjà été cultivé par un collectif de jardinier de 2015 en 2019.



Figure 36 : Domaine de l'Annonciade (source : Internet).

b. Historique

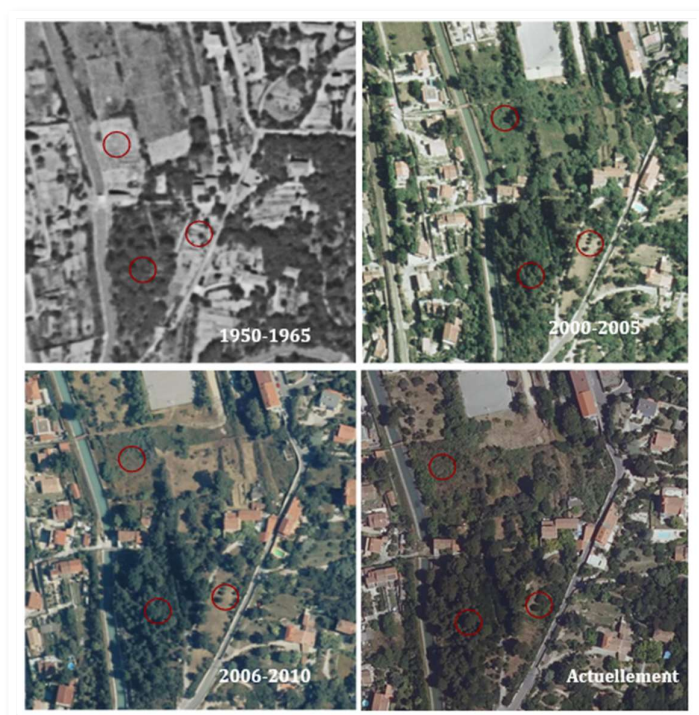


Figure 37. Évolution du Domaine de l'Annonciade de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.

La couverture du sol a sensiblement changé depuis les années 1950. Aucune différence ne peut être observée concernant la partie sud du Domaine de l'Annonciade. Le couvert arboré et la vaste prairie semblent être toujours présents. Une parcelle agricole dans le nord du Domaine semble avoir été laissée en friche au fil des années.

c. Contexte géologique

Ce parc urbain repose sur un dépôt de l'Oligocène inférieur, les Calcaires de l'Estaque. Ils affleurent le pourtour du bassin de Marseille et de l'Huveaune. Ces calcaires lacustres blancs peuvent être infiltrés par des éléments détritiques chargés par des petits lits de grès ou des microconglomérats associés à des passées d'argiles vertes. Il y est observé localement des infiltrations de marnes.

d. Contexte pédologique

Le contexte urbain ne permet pas d'avoir accès à l'information sur les caractéristiques pédologiques du Domaine de l'Annonciade.

e. Topographie

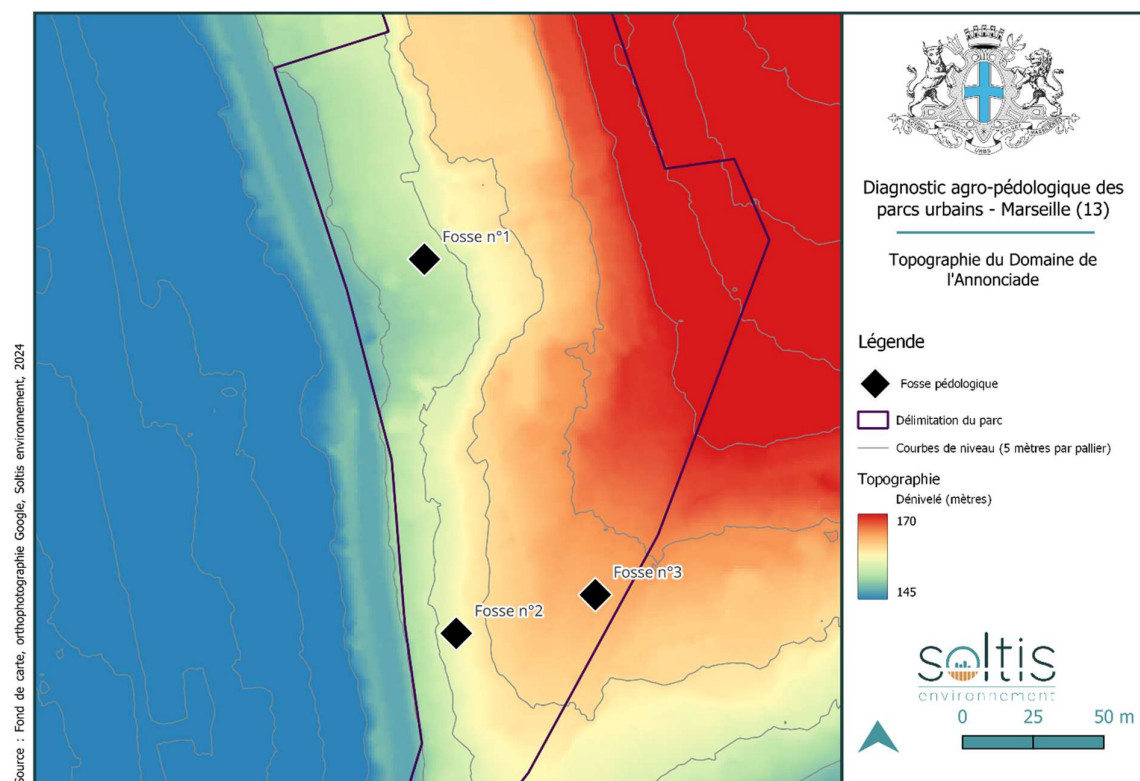


Figure 38. Contexte topographique des fosses pédologiques du Domaine de l'Annonciade (MNT).

f. Objectif

Afin de permettre la labellisation du futur parc de l'Annonciade par le label « **EcoJardin** », la ville de Marseille souhaite améliorer sa compréhension des dynamiques de couverts végétaux du parc. Le diagnostic agroécologique a été réalisé en ce sens au sein des trois espaces le composant :

- > Une zone en friche, marquée par la forte présence de la graminée *Brachypode rameuse* (*Brachypodium ramosum*) ;
- > Une zone boisée ;
- > Une zone de pelouse (ancien jardin de la bâtisse).

g. Description pédologique et environnement du site

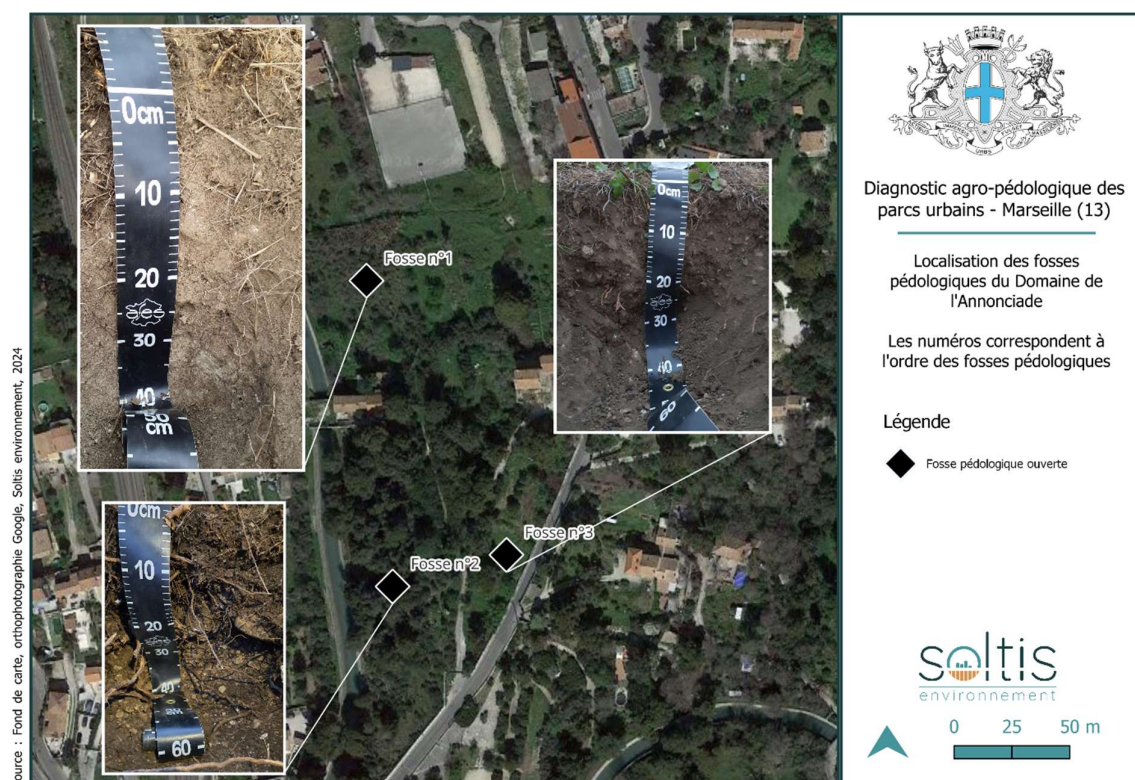


Figure 39. Localisation et fosses pédologiques du Domaine de l'Annonciade. Les numéros 1, 2 et 3 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une zone de friche en cours de fermeture, la deuxième fosse pédologique se situe dans une zone boisée et la troisième fosse pédologique se situe dans une pelouse.

Fosse pédologique n°1

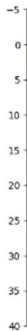
Habitat : Zone ouverte en friche.



-5 0 5 10 15 20 25 30 35 40	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
	Particulaire	Lsa	0,2 - 1	5	Meuble
	Polyédrique subangulaire	Ls	1 - 5	50	Modérée
	Massive	LAS	1 - 5	5	Modérée

Fosse pédologique n°2

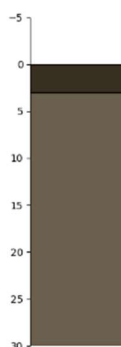
Habitat : Zone boisée.



Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
Particulaire	Als	1 - 5	50	Meuble
Particulaire structurée	LAS	0,2 - 1	90	Meuble

Fosse pédologique n°3

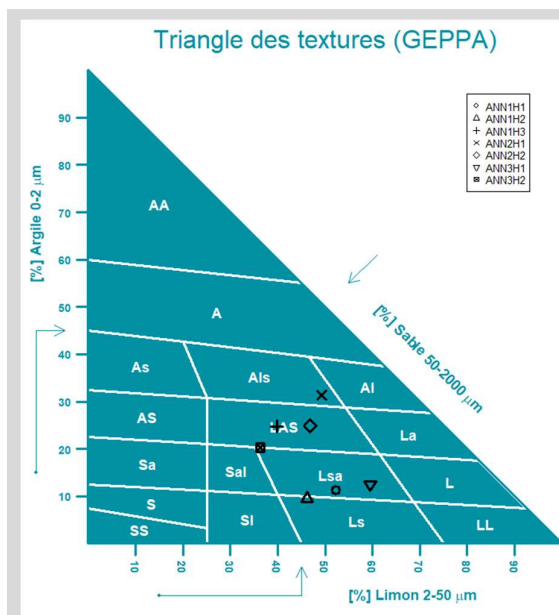
Habitat : Zone de prairie.



Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
Particulaire	Lsa	1 - 5	10	Meuble
Polyédrique subangulaire	LAS	0,2 - 1	50	Modérée

Figure 40. Profil pédologique simplifié des trois fosses pédologiques réalisées au sein du Domaine de l'Annonciade.

h. Qualité physique



Le triangle des textures présente la répartition de la taille des particules du sol, appelée granulométrie. On distingue principalement trois classes granulométriques : les argiles (< 2 µm), les limons (2-50 µm) et les sables (50-2000 µm).

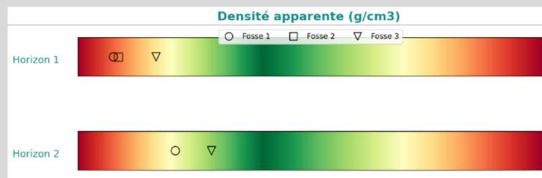
La proportion de chaque type de particule détermine le type de texture du sol.

Les textures les plus équilibrées correspondent aux textures limon/argile/sable (LAS selon la classification GEPPA).

Le sol observé au sein de la friche (fosse n°1) présente une texture à dominante limoneuse en surface et plus équilibrée en profondeur (proportion plus importante en argile).

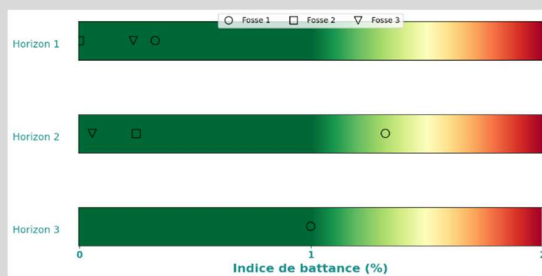
Le sol observé au sein du boisement (fosse n°2) présente une texture à dominante argileuse (Als) en surface puis plus limoneuse en profondeur.

Enfin, le sol de pelouse est à dominante limoneuse avec une augmentation sensible du sable et des argiles en profondeur.



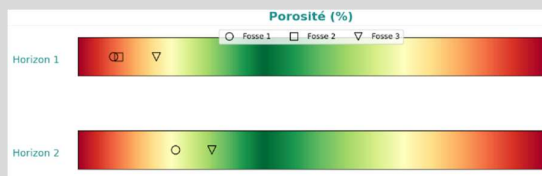
La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol. D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de 1,2 g cm-3, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieur à 1,5 g cm-3.

La densité apparente des trois horizons est correcte. Le troisième horizon de la première fosse pédologique (friche) présente une valeur sensiblement plus élevée. Aucune problématique de tassement n'est relevée sur ce site.



L'indice de battance évalue le risque de battance de sols, liée à la stabilité de leur structure. Le limon est la particule minérale particulièrement destructurant. D'un point de vue agronomique, le sol est considéré comme non-battant inférieur à 1,6, et très battant lorsque supérieur à 1,8.

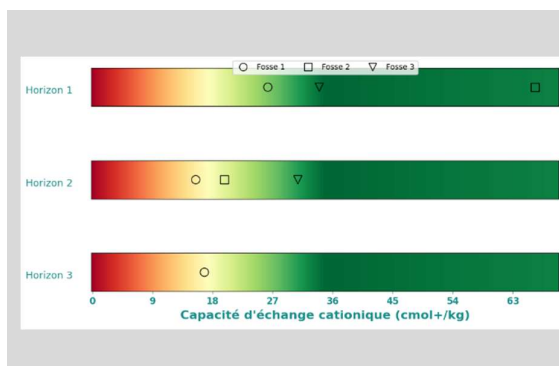
L'indice de battance relative à l'ensemble des horizons décrits est correct. Aucune problématique de battance n'est relevée sur ce site.



La porosité des sols (%) contient les phases liquides et gazeuses du sol, sauf les phases minérales. La porosité est constituée des macropores et des micropores. Plus la porosité est faible, plus les sols sont tassés, et à l'inverse plus la porosité est importante, plus les sols sont aérés et à texture équilibrée. La porosité des sols se situe entre 30% et 40% en moyenne.

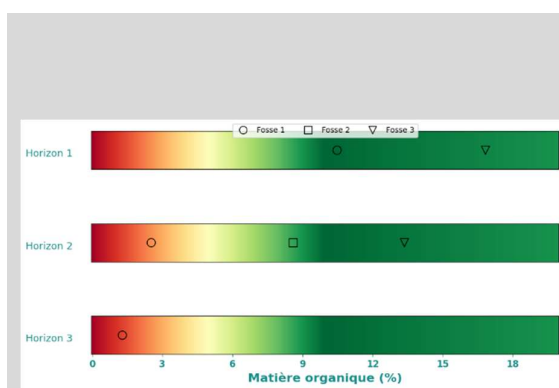
La porosité des sols est faible pour l'ensemble des horizons des fosses pédologiques, elle est sensiblement plus élevée sur le deuxième horizon des deux fosses pédologiques.

i. Qualité chimique



La CEC renseigne quant au potentiel de rétention du sol vis-à-vis des cations, nutriments indispensables à la croissance des plantes (potassium, magnésium, calcium, sodium). Plus ce potentiel est élevé et plus le sol est capable de retenir les cations et plus la fertilité potentielle d'un sol est importante.

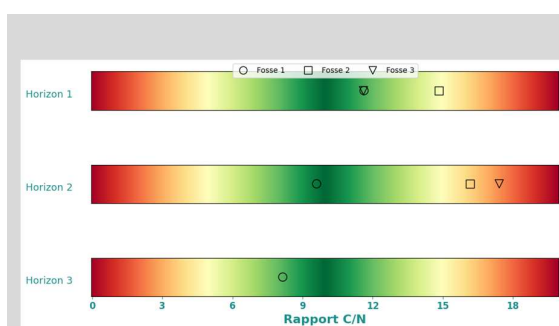
La CEC est correcte pour l'ensemble des horizons décrits. ON note néanmoins des valeurs plus faibles au droit de la fosse 1 (friche) s'expliquant par une teneur en matière organique nettement plus faible (voir ci-dessous).



La teneur en matière organique correspond à la quantité de macronutriments (carbone, azote, phosphore, soufre) présente dans le sol. Elle provient de la biomasse vivante, morte, et est indispensable à la vie microbienne et au développement des plantes. D'un point de vue agronomique, sa teneur optimale est entre 4 et 10%.

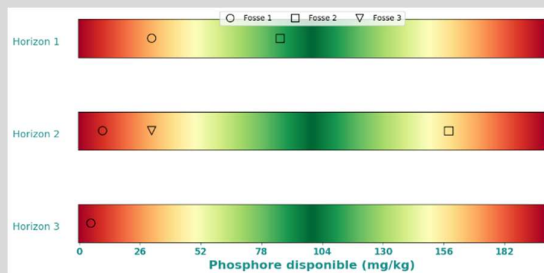
La teneur en matière organique (MO) présente des valeurs correctes pour les deux horizons de la deuxième (boisement) et troisième fosse pédologique (pelouse). En revanche, le sol de la friche (fosse 1) présente une décroissance marquée de la matière végétale dès l'horizon 2.

La teneur en matière organique de l'horizon 1 de la fosse 2 (boisement) n'est pas indiquée ici car très importante (31,13 %). Ceci est typique de ces boisements comme cela a pu être observé également sur le parc de la colline de Saint Joseph.



Un équilibre entre la présence de carbone d'une part et d'azote d'autre part est essentiel pour encourager la vie de la faune et de la flore d'un sol. Le premier fournit l'énergie et le deuxième rentre dans la composition des protéines. L'équilibre est optimal lorsque le ratio est aux alentours de 10 dans le sol.

Le ratio C/N est correct pour les sols de la fosse 1 (friche) et l'horizon de surface de la fosse 3 (pelouse). En revanche, il est très élevé sous boisement (fosse n°2) ainsi que pour l'horizon 2 de la fosse 3 (pelouse). Ceci s'explique par une teneur en matière organique très élevée.

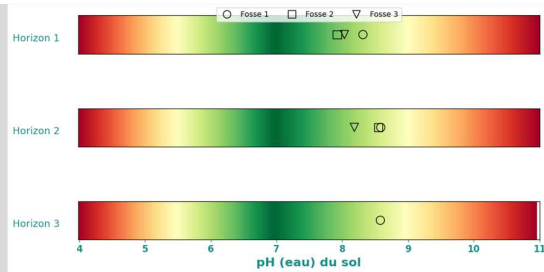


Le phosphore (mg/kg) est considéré comme l'un des trois éléments essentiels à la croissance des végétaux. Son optimal agronomique est de 100 mg/kg. Il reste cependant difficilement assimilable par les plantes, et les sols de France sont couramment en dessous du seuil optimal.

La fosse 1 présente des teneurs en phosphore très faibles sur l'ensemble des horizons.

La fosse 2 présente des valeurs non attendues c'est-à-dire une valeur moyenne en horizon de surface et bien plus élevée en sous-face. En raison d'une teneur très importante en éléments grossiers, des flux entre surface et sous-face peuvent expliquer ces résultats. On retiendra donc globalement un sol riche en phosphore comme c'est le cas sur le parc de la colline Saint Joseph.

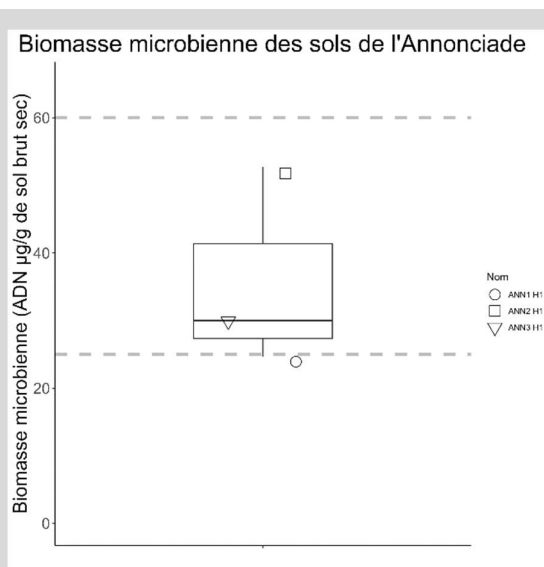
Le sol de la pelouse présente quant à lui une teneur extrême en phosphore qui n'a pu être représentée ici (490 mg/kg). Cette teneur s'abaisse brutalement dès l'horizon 2.



Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

La valeur du pH est correcte sur l'ensemble des horizons des trois fosses pédologiques.

j. Qualité biologique



La biomasse microbienne (mg/kg) renseigne quant à la présence de microorganismes dans le sol. Ils dégradent la matière organique en nutriment assimilable par les plantes, sous forme d'ions chargés (NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} ...). Ainsi ils sont un bon indicateur de fertilité agronomique.

Les deux traits gris pointillés représentent deux seuils :

- > **25 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée en **viticulture**, considérée comme une **culture pauvre en biodiversité** ;
- > **60 µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée sur le **territoire métropolitain** tous sols confondus.

Les valeurs de biomasse microbienne sont faibles. Les trois fosses se situent en dessous de la moyenne nationale, et la fosse pédologique n°1 (52,7 µg/g) se situe en dessous de la moyenne viticole.

Néanmoins comme pour le parc de la colline Saint Joseph, la biomasse microbienne moléculaire est la plus élevée dans les deux sols sous couvert boisé (sols naturels non remaniés *a priori*).

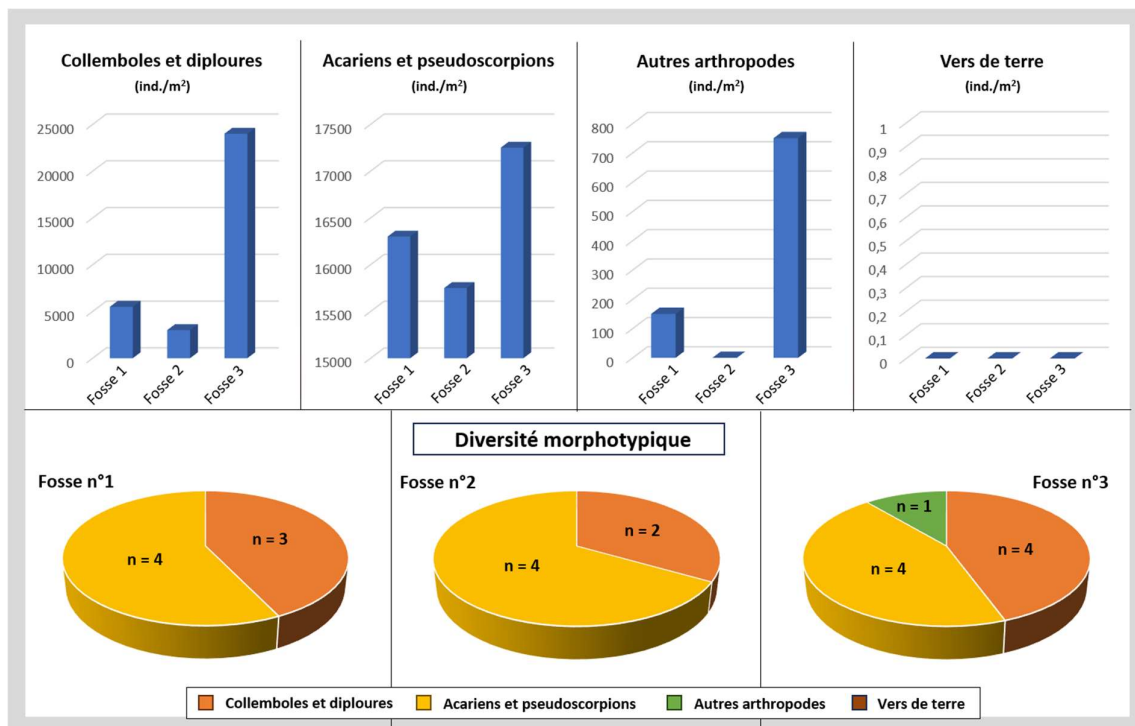


Figure 41 : Densité et diversité morphotypique des trois fosses pédologiques du domaine de l'Annonciade.

Alors que peu de différences apparaissent entre la zone ouverte en friche (fosse 1) et la zone boisée (fosse 2), tant en termes de densité que de diversité de la mésofaune et de la macrofaune, la zone de prairie (fosse 3) se démarque par une grande abondance de tous les compartiments de la faune du sol. Dans cet habitat, les collemboles atteignent 24 000 individus estimés par mètre carré tandis que les acariens et pseudoscorpions atteignent 17 200 individus estimés par mètre carré, contre respectivement 2 500 à 5 000 et 15 700 à 16 300 pour les zones en friche et boisée. A noter cependant que des pseudoscorpions, sous la forme d'un même morphotype, ont été trouvés à la fois dans la zone boisée et dans la zone de prairie.

Les vers de terre, quant à eux, sont absents de toutes les fosses réalisées dans ce parc.

Cette forte abondance de faune au niveau de la zone de prairie, qui ne se traduit d'ailleurs pas par une augmentation significative de la diversité morphotypique, trouve probablement son explication dans une bonne aération et une bonne teneur en matière organique du sol, ainsi que dans un rapport C/N proche de l'optimal au niveau de l'horizon de surface. Cependant, un effort d'échantillonnage plus conséquent apparaît comme nécessaire pour mettre en lumière l'origine des différences d'abondance de communautés observées entre cet habitat, la zone ouvertes en friche et la zone boisée.

k. Préconisations

L'analyse globale des trois fosses pédologiques indique les points clefs suivants :

- > Les horizons des trois fosses pédologiques présentent tous **une présence calcaire** (test HCl), avec une très forte proportion d'éléments grossiers, sous forme de cailloux, jusqu'à **90%** sur le second horizon du sol dans la zone boisée. Les horizons de ces trois fosses présentent une texture à dominante limoneuse, et une texture équilibrée (LAS) avec une bonne proportion des trois phases granulométriques (Limon / Argile / Sable), excepté pour le premier horizon du sol dans la zone boisée dont la texture est à dominante argileuse.
- > Le **sol de la friche** est caractérisé par un sol bien structuré, avec une pédogenèse marquée, une compaction modérée, et une abondance racinaire importante à l'image du recouvrement végétal et la litière organique observée. Un horizon blanchâtre à plus faible perméabilité est observé en profondeur (horizon 3) pouvant entraîner un ruissellement de sub-surface et une réduction de l'infiltration de l'eau en

profondeur.

- > **Le sol de la zone boisée** présente un premier horizon particulière, meuble, caractérisé par une grande proportion de matière organique mélangée avec une faible matrice minérale et à dominante argileuse. Cette structure particulière peut faire état d'une décomposition à dominante chimique et physique de la matière organique, et non biologique. Les dynamiques de fertilité entre le premier et le second horizon de ce sol font état de mouvements verticaux importants, et possiblement d'un apport de matière organique par la décomposition des racines dans le second horizon. Ceci s'explique probablement par la porosité observée dans ces deux horizons.
- > **Le sol de la pelouse** présente un profil pédologique d'un sol remanié. La pédogenèse semble peu établie, avec un premier horizon particulière, meuble, de faible épaisseur, caractérisé par une grande proportion de matière organique (fertilité très importante). Dès 10 cm, la teneur en éléments grossiers, principalement des cailloux, s'accroît brutalement et la fertilité s'abaisse témoignant de flux de matière limités entre les deux horizons.

Les sols observés au sein de la friche et du boisement sont considérés comme des **Calcosol** (Référentiel pédologique de France, 2008). Ils se différencient fortement du fait de la profondeur de sol, la teneur en éléments grossiers ou encore en termes de trophie.

Le sol de la pelouse semble avoir été remanié. En ce sens, il serait plutôt considéré comme un anthroposol. La teneur en phosphore est très importante sans que la végétation qui s'y développe ne présente une biomasse importante.

Le parc des Sœurs Franciscaines

a. Présentation et gestion du site

Le parc des Sœurs Franciscaines de Marie, situé dans le 6^e arrondissement et d'une superficie d'un hectare, amorce une transition afin d'être le nouveau poumon vert de son quartier. Il sera constitué d'un jardin partagé et d'un centre d'activité pour tout âge. Le parc est aujourd'hui scindé en trois grands espaces ; un espace de sol nu, un espace « sauvage » où poussent abondamment des acanthes (*acanthes mollies*), et un espace d'Alep (*Pinus halepensis*) où ont été plantées de nombreuses essences d'arbres afin de permettre l'entretien autonome des sols. Plus précisément, ce sont 100 arbres d'essences variées dont 24 arbres fruitiers, 9000 arbustes de type méditerranéen et 8000 arbustes vivaces et graminées qui ont été implantés sur l'ensemble de la pinède du parc des Sœurs Franciscaines. Ce couvert arboré permettra de limiter les stress hydriques des végétaux du parc.



Figure 42 : Parc des Sœurs Franciscaines (source : Internet).

b. Contexte historique



Figure 43. Évolution du parc des Sœurs Franciscaines de 1950 à aujourd'hui (Orthophotographie extraite depuis le site "Remonter le temps" de l'IGN). Les cercles rouges présentent les zones où ont été réalisées les fosses pédologiques.

Au sein du parc des Sœurs Franciscaines, un couvert végétal et arboré semblait plus présent dans le nord-est du parc urbain par le passé, et visible jusque dans les années 2006-2010. Le sud-ouest semble avoir plus récemment souffert d'une dégradation du couvert végétal, observable sur la photo « actuellement », sûrement en raison de problématiques hydriques.

c. Contexte géologique

Le parc des Sœurs Franciscaines repose sur deux formations géologiques. Dans le nord du parc, il repose une formation datant de l'Aptien inférieur (Bédoulien) ; cette strate est constituée de calcaire marneux gris bleu, de calcaires gris plus ou moins siliceux, pouvant renfermer des silex noirs, et une partie supérieure de marnes pyriteuses bleutées avec intercalation irrégulière de bancs calcaréo marneux. Un dépôt du Barrémien à faciès urgonien repose dans le sud du parc ; cet étage présente une puissante masse (250 à 450 m) de calcaires biodétritiques compacts à patine très blanche et dont la cassure varie du blanc très pur au beige parfois rosé.

d. Contexte pédologique

Le contexte urbain ne permet pas d'avoir accès à l'information sur les caractéristiques pédologiques du parc des Sœurs Franciscaines.

e. Topographie

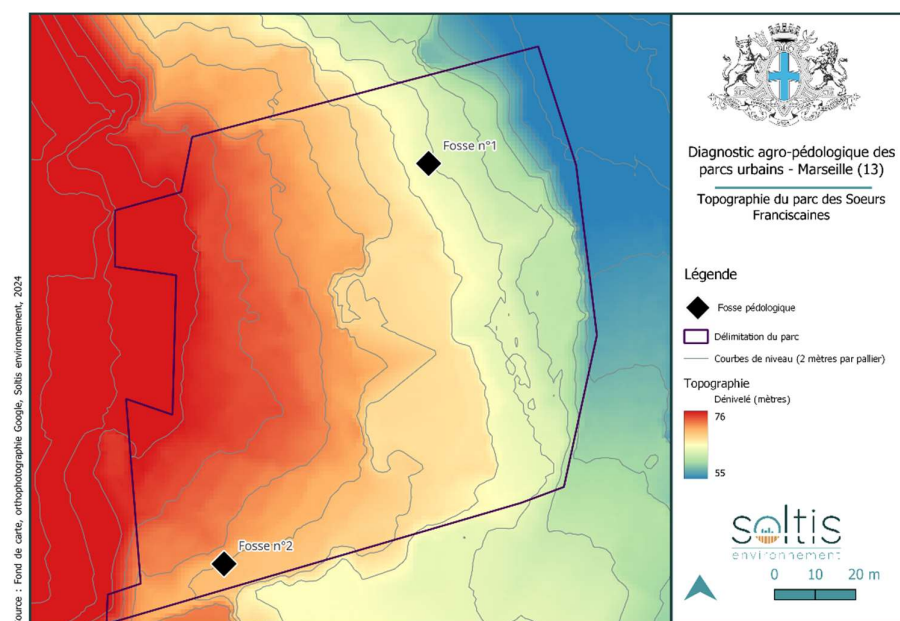


Figure 44. Contexte topographique des fosses pédologiques du parc des Sœurs Franciscaines (MNT).

f. Objectif

Dans une dynamique de labellisation du futur parc des Sœurs Franciscaines, avec le label « **EcoJardin** », la ville de Marseille souhaite comprendre les dynamiques de couverts végétaux à l'aide d'un diagnostic agroécologique au sein de deux espaces le composant ; une zone clôturée « sauvage », et un espace planté récemment avec des essences forestières mélangé à des pins d'Alep.

g. Description pédologique et environnement du site



Figure 45. Localisation et fosses pédologiques du parc des Sœurs Franciscaines. Les numéros 1 et 2 en blanc présentent la numérotation des fosses pédologiques. La première fosse pédologique se situe dans une récente plantation forestière, et la deuxième fosse pédologique dans une zone clôturée « sauvage ».

Fosse pédologique n°1

Habitat : Zone plantée récemment.



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
0 10 20 30 40 50	Polyédrique massive	Sal	<0,2	50	Modérée
	Massive particulaire	Lsa	< 0,2	20	Modérée

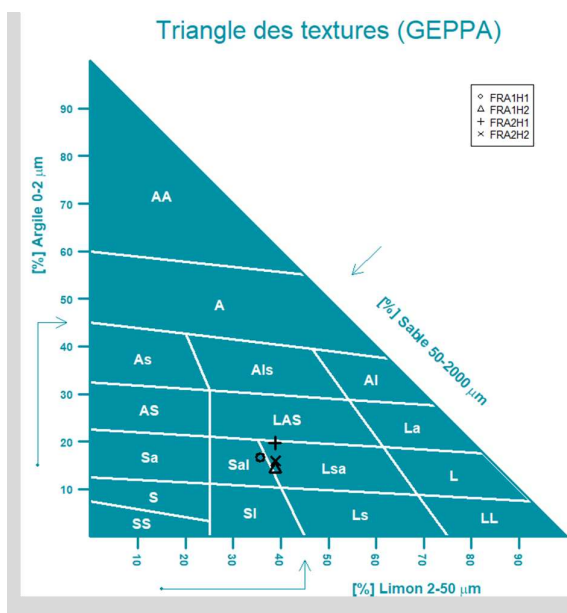
Fosse pédologique n°2

Habitat : Zone clôturée "sauvage".



	Structure(s)	Texture	Racines	% EG	Compacité
0	Grumeleux	Lsa	1 - 5	5	Faible
10					
20					
30	Particulaire	Lsa	0,2 - 1	70	Faible, beaucoup de grossiers
40					
50					

h. Qualité physique

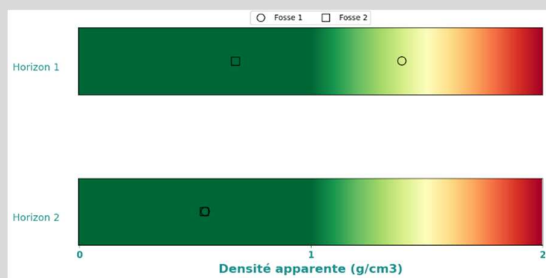


Le triangle des textures présente la répartition de la taille des particules du sol, appelée granulométrie. On distingue principalement trois classes granulométriques : les argiles ($< 2 \mu\text{m}$), les limons ($2-50 \mu\text{m}$) et les sables ($50-2000 \mu\text{m}$).

La proportion de chaque type de particule détermine le type de texture du sol.

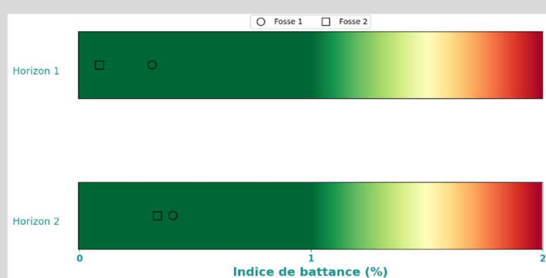
Les textures les plus équilibrées correspondent aux textures limon/argile/sable (LAS selon la classification GEPPA).

Les deux horizons de la deuxième fosse pédologique ainsi que le second horizon de la première fosse pédologique ont une texture à dominante limoneuse (Lsa), le premier horizon de la première fosse pédologique a une texture à dominante sableuse (Sal). Globalement les différences sont faibles entre les deux sols.



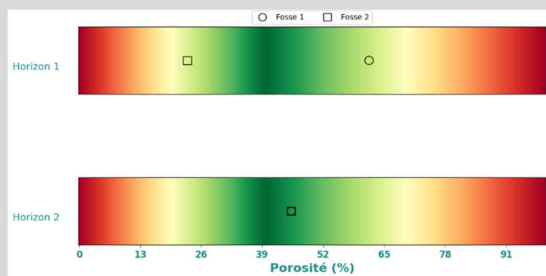
La densité apparente correspond à la masse réelle de sols par unité de volume. Elle rend compte de la compacité et de la porosité du sol. D'un point de vue agronomique, elle est optimale aux alentours de 1,2 g cm⁻³, et est considérée comme présentant un niveau de compaction très important, lorsque supérieur à 1,5 g cm⁻³.

La densité apparente est correcte pour l'ensemble des horizons décrits. Elle est malgré tout légèrement élevée pour le premier horizon de la première fosse pédologique (zone plantée). Il n'y a aucune problématique de tassement sur ce site.



L'indice de battance évalue le risque de battance de sols, liée à la stabilité de leur structure. Le limon est la particule minérale particulièrement destructurant. D'un point de vue agronomique, le sol est considéré comme non-battant inférieur à 1,6, et très battant lorsque supérieur à 1,8.

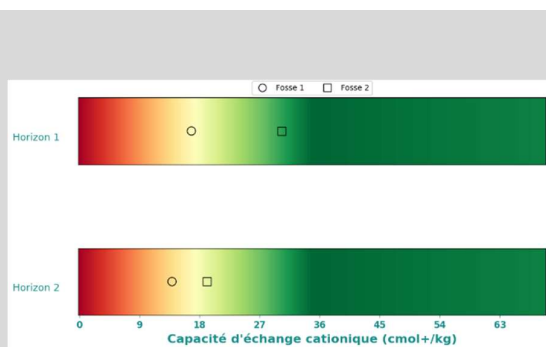
L'indice de battance est faible sur l'ensemble des horizons décrits. Il n'y a donc aucune problématique de battance sur ce site.



La porosité des sols (%) contient les phases liquides et gazeuses du sol, sauf les phases minérales. La porosité est constituée des macropores et des micropores. Plus la porosité est faible, plus les sols sont tassés, et à l'inverse plus la porosité est importante, plus les sols sont aérés et à texture équilibrée. La porosité des sols se situe entre 30% et 40% en moyenne.

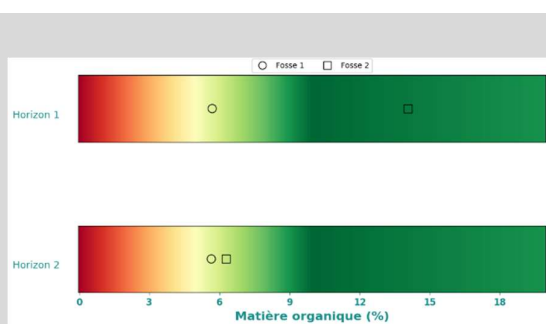
La porosité des sols est faible pour le premier horizon de la deuxième fosse pédologique (zone « sauvage ») et sensiblement élevée pour le premier horizon de la première fosse pédologique (zone plantée). Concernant le deuxième horizon, la porosité est correcte pour les deux fosses pédologiques.

i. Qualité chimique



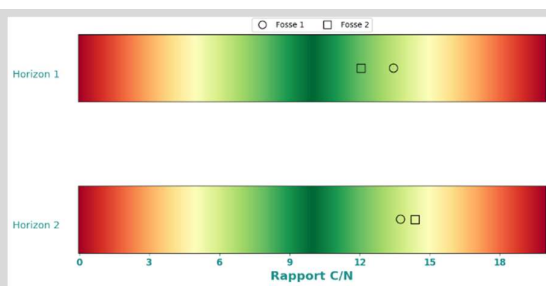
La CEC renseigne quant au potentiel de rétention du sol vis-à-vis des cations, nutriments indispensables à la croissance des plantes (potassium, magnésium, calcium, sodium). Plus ce potentiel est élevé et plus le sol est capable de retenir les cations et plus la fertilité potentielle d'un sol est importante.

La CEC est tout à fait correcte sur la zone « sauvage » en raison d'une texture dominée par les limons et de l'importante teneur en matière organique. En revanche, le sol en zone plantée présente une CEC relativement faible (texture sableuse, teneur en matière organique plus faible).



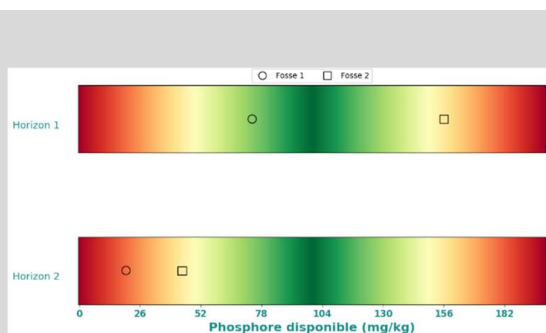
La teneur en matière organique correspond à la quantité de macronutriments (carbone, azote, phosphore, soufre) présente dans le sol. Elle provient de la biomasse vivante, morte, et est indispensable à la vie microbienne et au développement des plantes. D'un point de vue agronomique, sa teneur optimale est entre 4 et 10%.

La teneur en matière organique (MO) est correcte pour les deux horizons des deux fosses pédologiques, et particulièrement élevées sur le premier horizon de la deuxième fosse pédologique (zone « sauvage »).



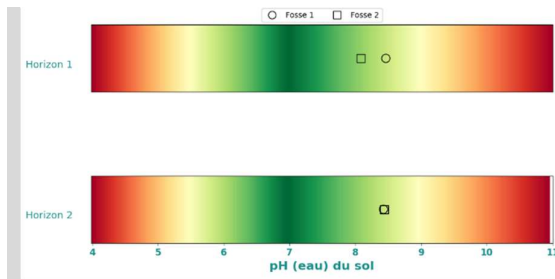
Un équilibre entre la présence de carbone d'une part et d'azote d'autre part est essentiel pour encourager la vie de la faune et de la flore d'un sol. Le premier fournit l'énergie et le deuxième rentre dans la composition des protéines. L'équilibre est optimal lorsque le ratio est aux alentours de 10 dans le sol.

Le ratio C/N est élevé pour les deux horizons des deux fosses pédologiques.



Le phosphore (mg/kg) est considéré comme l'un des trois éléments essentiels à la croissance des végétaux. Son optimal agronomique est de 100 mg/kg. Il reste cependant difficilement assimilable par les plantes, et les sols de France sont couramment en dessous du seuil optimal.

La teneur en phosphore est correcte pour le premier horizon de la première fosse pédologique (zone plantée) et faible concernant le deuxième horizon des deux fosses pédologiques. À l'inverse, le premier horizon de la deuxième fosse pédologique présente une teneur excessive en phosphore (zone « sauvage »).

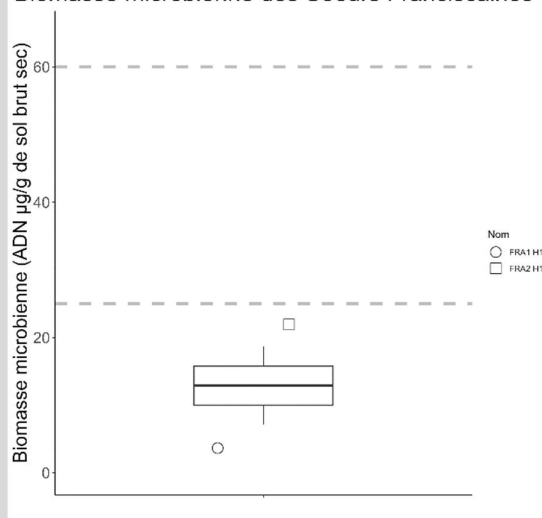


Le pH (eau) renseigne sur l'ambiance chimique du sol. Plus il est faible, plus le sol est acide et plus il est élevé, plus le sol est alcalin. L'optimum agronomique se situe à pH neutre, autour de 7 unités pH.

Le pH est correct pour l'ensemble des horizons des deux fosses pédologiques.

j. Qualité biologique

Biomasse microbienne des Soeurs Franciscaines



La biomasse microbienne (mg/kg) renseigne quant à la présence de microorganismes dans le sol. Ils dégradent la matière organique en nutriment assimilable par les plantes, sous forme d'ions chargés (NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} ...). Ainsi ils sont un bon indicateur de fertilité agronomique.

Les deux traits gris pointillés représentent deux seuils :

- > **25 ADN µg/g** de sol bruts, moyenne retrouvée en **viticulture**, considérée comme une **culture pauvre en biodiversité** ;
- > **60 ADN µg/g** de sol brut, moyenne retrouvée sur le **territoire métropolitain** tous sols confondus.

Les valeurs de biomasse microbienne des deux fosses pédologiques se situent en dessous de la moyenne nationale, et en dessous de la moyenne viticole. La valeur de la première fosse est particulièrement très basse (7,15 ADN µg/g sol brut), et la deuxième fosse présente aussi une valeur très basse (18,66 ADN µg/g sol brut).

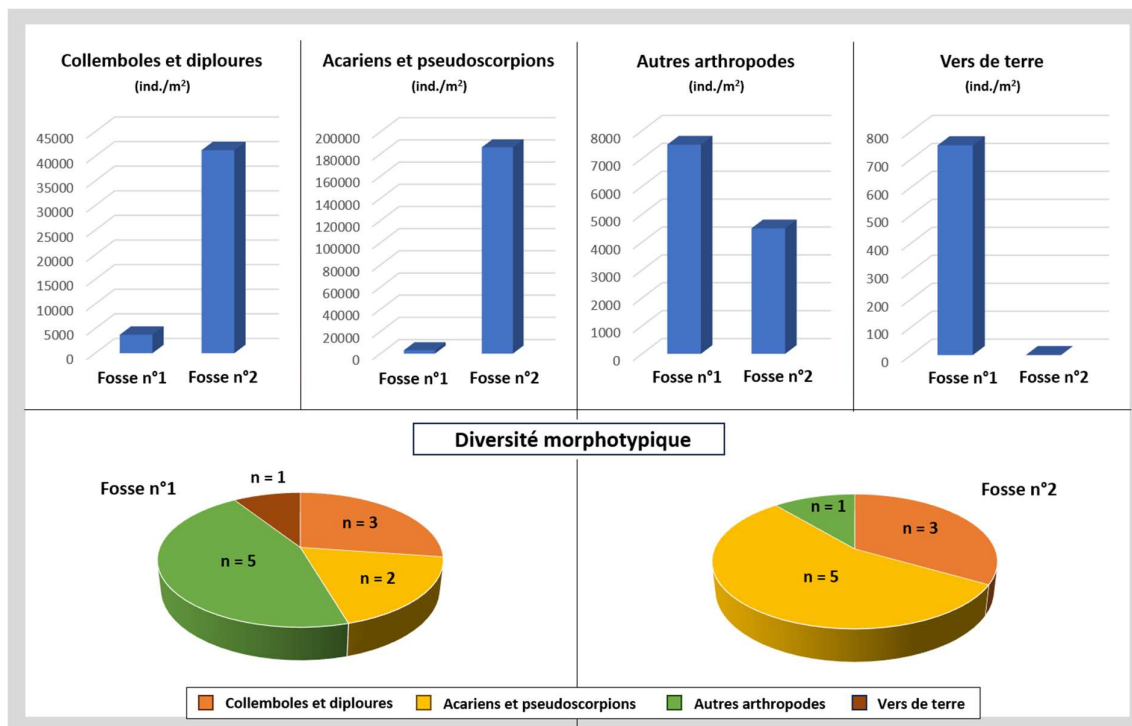


Figure 46 : Densité et diversité morphotypique des deux fosses pédologiques du parc des Sœurs Franciscaines.

Les profils d'abondances comme de diversités de la zone plantée récemment (fosse 1) et de la zone clôturée "sauvage" (fosse 2) apparaissent comme drastiquement différents. Ainsi, l'abondance de la mésofaune au sein de la zone de plantation récente est très faible tandis qu'elle atteint 40 000 collembolés et 180 000 acariens par mètre carré dans la zone laissée à l'ensauvagement.

A l'inverse, les vers de terre, relativement abondants dans l'échantillon de sol du premier site, bien que réduits à une seule espèce (l'espèce endogée *Aporrectodea caliginosa*), apparaissent absents dans celui du second. De même, les arthropodes de la macrofaune, représentés par 5 espèces distincts de myriapodes (mille-pattes), se révèlent plus abondants dans la zone plantée récemment.

Ces différences majeures entre les deux sites s'expliquent par un sol plus compact ainsi que par des valeurs de CEC et de teneur en matière organique nettement inférieures au niveau de la zone plantée récemment. Dans celle-ci, la fragmentation des matériaux ligneux de surface est assurée par des arthropodes de la macrofaune, en particulier des myriapodes (mille-pattes). Ces matériaux ne semblent pas avoir été réduits suffisamment en taille pour assurer l'installation d'une faune de fragmenteurs et de détritvires mésofauniques abondante.

L'humidité, l'aération ainsi que les fortes valeurs de CEC et de teneur en matière organique permettent, en revanche, au sol de la zone clôturée "sauvage" de développer l'ensemble des compartiments de fragmenteurs et détritvires macro- et mésofauniques, à l'exception des vers de terre.

La relative abondance de ces derniers dans la zone récemment plantée ne semble cependant pas homogène. Une prospection autour de la fosse 1 suggère une localisation privilégiée des vers de terre à la base des arbres et à proximité de leurs systèmes racinaires.

k. Préconisations

L'analyse globale des deux fosses pédologiques indique les points clefs suivants :

- > Les horizons des deux fosses pédologiques présentent tous **une présence calcaire** (HCl), avec une **proportion importante d'éléments grossiers** (cailloux) tout particulièrement dans le second horizon de la fosse de la zone plantée récemment.
- > Les textures sont à dominante limoneuse ou à texture équilibrée (LAS), excepté pour le premier horizon du sol planté récemment qui est à dominante sableuse.

- > Les deux sols sont marqués par l'**anthropisation**, avec absence de pédogenèse visible. En effet, les deux horizons se démarquent difficilement, et sont tous deux caractérisés par une quantité importante d'**éléments grossiers anthropiques**.
- > La fosse en zone « sauvage » présente une **fertilité chimique convenable**, au travers de la capacité d'échange cationique et de la matière organique. Cette fertilité est plus faible au droit de la zone plantée récemment en raison d'une texture plus sableuse et d'une teneur en matière organique plus faible. Ceci ne paraît pas problématique à l'heure d'aujourd'hui. Le rapport C/N est un peu élevé au droit des deux sites pouvant induire temporairement une petite immobilisation de l'azote par les microorganismes (faim d'azote). Un suivi de la végétation au sein de la zone plantée sera nécessaire la première année avec action retour au besoin.

Le **sol en zone « sauvage »** fait état d'une densité apparente normale sur le premier horizon. Il est marqué par l'activité biologique comme en témoigne la structure « grumeleuse » et repose sur un mélange d'une matrice minérale et organique, de structure particulaire. La quantité importante d'éléments grossiers dans le second horizon empêche l'implantation profonde des racines qui croissent alors horizontalement. **Le couvert végétal bien développé témoigne de conditions correctes**. A noter que l'espèce dominante, observée lors du passage terrain, l'Acanthe à feuilles molles (*Acanthus mollis*) est particulièrement adaptée aux conditions observées (fertilité, ombrage, profondeur de sol). Des amendements réguliers pourraient être nécessaires pour maintenir sa présence si des exports de biomasse sont réalisés (i.e. coupe et export de la végétation).

- > Le **sol, en zone récemment plantée**, est caractérisé par une structure polyédrique qui ne témoigne pas d'une vie biologique développée, avec une compacité modérée et une très faible présence racinaire (en raison d'un remaniement récent). La forte présence d'éléments grossiers (50%), ainsi que la compacité pourraient être un frein à la future expansion racinaire.

Ces deux sols peuvent être caractérisés en tant qu'**Anthroposol artificiel** (Référentiel pédologique de France, 2008).

En conséquence, sur ce secteur, seul le sol de **la zone récemment plantée fait l'objet de préconisations** :

- > L'apport important de BRF (Bois Raméal Fragmenté) en surface déjà présent peut permettre de maintenir une humidité à la surface du sol. Il est conseillé de l'associer à un amendement organique (compost + BRF par exemple) pour favoriser le développement futur de la végétation (si tel est l'objectif et **selon les plantations visées**).
- > Il est par ailleurs conseillé lors de futures plantations de décompacter le sol de manière à favoriser le développement racinaire en profondeur (augmentation de la réserve utile facilement exploitable par ce biais).

Bibliographie

Baize D., Girard MC, 2008. Référentiel pédologique. Âges.

Gibbon. M. Notice explicative de la carte géologique de Marseille au 1/50000. BRGM.

Brugeron A., Paroissien J.B., Tillier L. 2018. Référentiel hydrogéologique BDLISA version 2 : Principes de construction et évolution.

Infoclimat. 2023. Climatologie de Marseille-Marignane.