TERRITOIRE

AMÉNAGEMENT

INGÉNIERIE

Triangle de Gonesse - 95

Coordination architecturale, urbaine et paysagère du projet du Triangle de Gonesse

Etude agropédologique : cartographie et Evaluation des services écosystémiques du sol – Effets du projet

V2.1 – Etat initial, fonctions environnementales des sols

Siège social
8bis, boulevard Dubreuil
91400 ORSAY
FRANCE

Tél. +33 1 60 10 77 00
Fax +33 1 60 10 77 88

contact@solpaysage.fr

www.solpaysage.fr

Rédaction : Léa Leclercq	Validation : Sylvain Rullier
Date : 28/11/2018	Version : 15-085_ETU_v2.1_TDG_Sols&ServicesEco

TABLE DES MATIERES

1 CONTEXTE ET ENVIRONNEMENT 5

1.1 INTENTIONS DE PROJET 5
1.2 CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE ET OCCUPATION DU SOL 6
1.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE 9
1.4 CONTEXTE PEDOLOGIQUE 10
1.5 ETUDES ANTERIEURES 12

2 METHODOLOGIE D'ETUDE 14

2.1 PROFILS ET SONDAGES PEDOLOGIQUES 14
2.2 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES DE LABORATOIRE 17
2.3 MESURES DE PERMEABILITE IN SITU 20
2.4 ESTIMATION DE LA RESERVE UTILE MAXIMALE 20

3 SYNTHESE PEDOLOGIQUE 22

3.1 TYPOLOGIQUE DES SOLS 22
3.1.1 Horizons et références pédologiques 22
3.1.2 Calcisol/Calcosol 26
3.1.3 Brunisol 27
3.1.4 Néoluvisol 28
3.1.5 Luvisols typiques 29
3.1.6 Anthoposols 30
3.2 CARTE DES PROFILS ET CARTE PEDOLOGIQUE 31
3.3 PROFONDEUR DE SOL ET APPARITION DE L'HYDROMORPHIE 34
3.4 ANALYSES ET MESURES PHYSICO-CHIMIQUES, HYDRIQUES ET BIOLOGIQUES 37
3.4.1 Granulométrie fine et totale 37
3.4.2 Matière organique, calcaire total 39
3.4.1 pH, conductivité et rapport C/N 40
3.4.2 Eléments nutritifs 41
3.4.3 Perméabilité in situ 43
3.4.4 Réserve Utile Maximale 45
3.4.5 Mesures d'activité biologique 48
3.4.6 Synthèse agropédologique 51

4 SERVICES ECOSYSTEMIQUES ET FONCTIONS DES SOLS 53

4.1 PRINCIPES GENERAUX 53
4.2 METHODE D'EVALUATION 55
4.3 DEFINITION DES FONCTIONS EVALUEES 56
4.3.1 Fertilité : aptitude à la production de biomasse 56
4.3.2 Fertilité : aptitude à l'implantation d'une trame verte 57
4.3.3 Biodiversité du sol 57

4.3.4 Régulation hydrologique : infiltration des eaux pluviales 58
4.3.5 Régulation hydrologique : rétention hydrique des sols 58
4.3.6 Filtration biogéochimique : fixation ou dégradation des polluants 59
4.3.7 Stockage de carbone organique dans les sols 59
4.4 COEFFICIENTS D'INDICATEURS ET FONCTIONS 60

5 IMPACTS DU PROJET SUR LES FONCTIONS DES SOLS 64

5.1 PROJET ET TYPOLOGIE D'ESPACES 64
5.2 RESULTATS : COMPARAISON ETAT INITIAL / ETAT PROJETE 66
5.2.1 Fertilité : aptitude à la production de biomasse 66
5.2.2 Fertilité : aptitude à l'implantation d'une trame verte 68
5.2.3 Biodiversité du sol 70
5.2.4 Régulation hydrologique : infiltration des eaux pluviales 72
5.2.5 Régulation hydrologique : rétention hydrique des sols 74
5.2.6 Filtration biogéochimique : fixation ou dégradation des polluants 76
5.2.7 Stockage de carbone organique dans les sols 78
5.2.8 Tableau de synthèse à l'échelle de la ZAC 80
5.3 PROPOSITION DE MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS 82
5.3.1 Maintenir des emprises de sols en améliorant leur fonctionnalité 82
5.3.2 Implanter une trame végétale pérenne et fonctionnelle 84
5.3.3 Valoriser les terres excavées issues des terrassements 84

6 CONCLUSION 87

Introduction

Le présent rapport restitue le diagnostic agropédologique et l'évaluation des fonctions environnementales des sols du périmètre de ZAC du Triangle de Gonesse (95) dans le cadre de l'actualisation de l'étude d'impact des aménagements urbains, pour le compte de Grand Paris Aménagement.

Cette étude réalisée par Sol Paysage s'inscrit dans le cadre des missions de maîtrise d'œuvre urbaine du groupement Güller et Güller et répond à l'engagement en phase de concertation de réaliser une étude et cartographie pédologique à l'échelle du périmètre de la ZAC du Triangle de Gonesse (280 ha). L'enjeu de l'étude est d'évaluer la valeur et les services écosystémiques actuellement rendus par les sols du périmètre d'aménagement, et d'adapter les pratiques dans le cadre du projet pour favoriser la préservation des services et limiter les impacts. Cet enjeu est environnemental, mais également économique et technique : adaptation des aménagements agricoles, paysagers, hydrologiques et écologiques pour limiter les impacts, optimisation des mouvements de terre de la ZAC, valorisation des terres excavées excédentaires.

Ce document rappelle le contexte d'étude et la méthodologie d'investigations de sol : profils et sondages pédologiques, analyses physico-chimiques et biologiques, mesures d'infiltration. Il propose une description synthétique des sols rencontrés et une interprétation des résultats d'analyses de laboratoire, et la synthèse cartographique des caractéristiques des sols et fonctions environnementales évaluées à l'état initial, et projetées après aménagements. Des premières pistes de mesures d'évitement ou réduction des impacts sur les sols sont proposées.

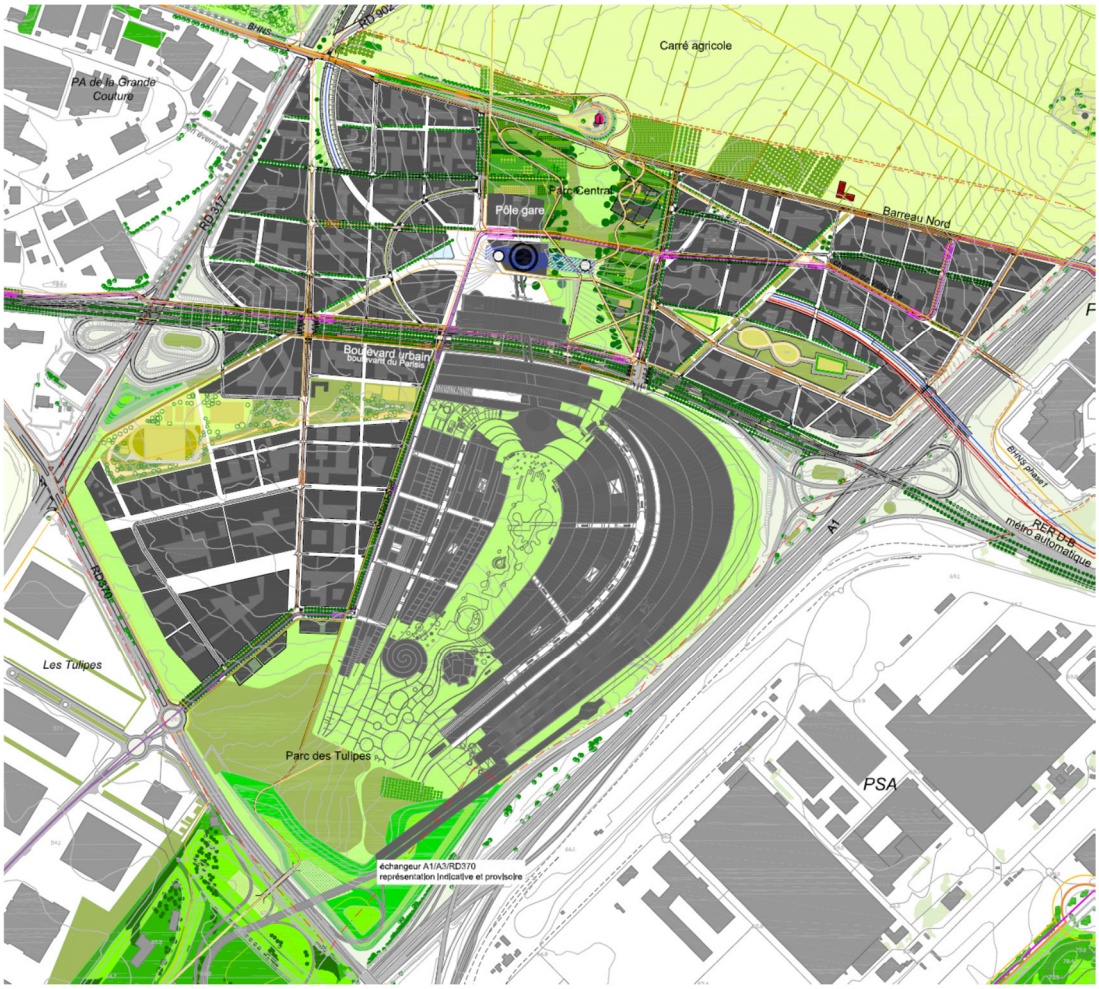
Les données complètes d'observations sont proposées en annexe sous forme de tableaux et planches photographiques pour chaque profil et sondage, ainsi que les bulletins complets d'analyses et les cartes produites.

Remarque : l'étude pédologique d'identification de zone humide est présentée dans le rapport Sol Paysage <15-085_ETUZH_001_v2.0> du 26/02/2018.

1 Contexte et environnement

1.1 Intentions de projet

Les intentions de projet sont exprimées dans le Plan Guide produit par le groupement Güller : voir ci-après, version du 06/11/2017.



Plan Guide, 06/11/2017

Les intentions de projet comprennent notamment :

- Le projet Europacity
- Le quartier d'affaires : bureaux, services et logements, infrastructures associées
- De vastes emprises de parcs à vocation paysagère, récréative, hydrologique ou écologique
- La lisère agricole au nord, transition avec le Carré agricole de 400 ha (Zone Agricole Protégée)

1.2 Contexte topographique et occupation du sol

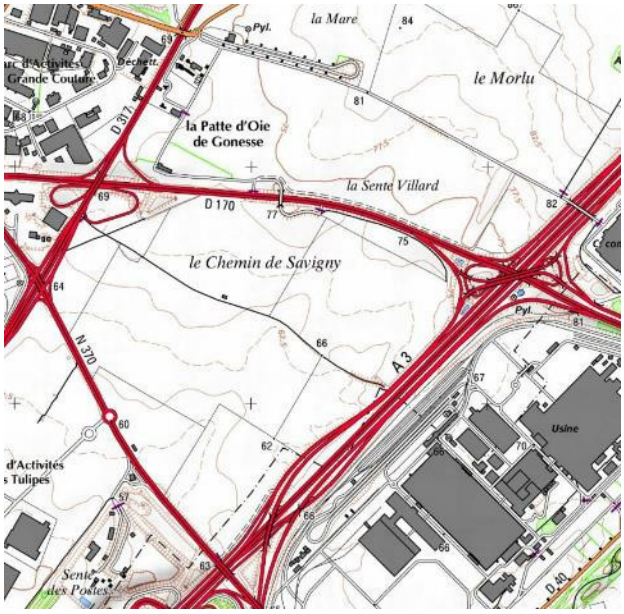
Le périmètre d'étude appartient au plateau de la Plaine de France et est marqué par une topographie relativement plane, de pente en long faible à très faible, de l'ordre de 1 à 2%. Un micro-thalweg sec est constaté selon l'axe Nord-Est / Sud-Ouest. La topographie est perturbée sur les franges par les aménagements urbains notamment infrastructures (voirie, talus, échangeurs de l'A3 et la D317) et le Boulevard Intercommunal du Parisis (D170) traversant le site d'Ouest en Est.

L'occupation du sol est marquée très majoritairement par un parcellaire agricole en grande culture, principalement des rotations de blé, maïs, colza, comme indiqué dans le Recensement Général Agricole (RGA) et dans l'enquête foncière de 2017 menée par GPA. Des couverts d'intercultures ou de céréales d'hiver ont été observés lors des investigations en janvier 2018.

La valorisation agricole marque le territoire de la Plaine de France, avec des systèmes de grandes cultures à hauts rendements. Historiquement, les parcelles ne nécessitent pas de drainage, ni d'irrigation hormis pour les cultures maraîchères, ce qui témoigne à la fois de bonnes capacités de ressuyage et de réserve hydrique.

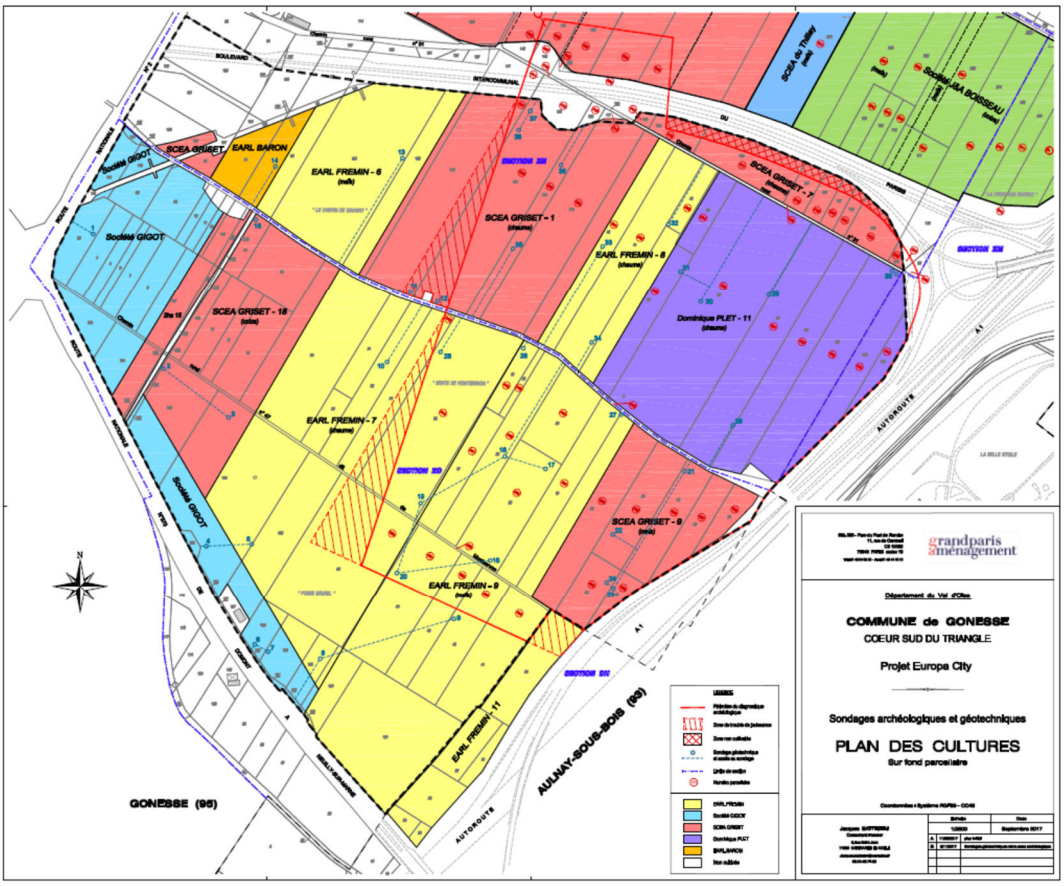
Selon les agriculteurs actuels il n'est pas constaté d'engorgement significatif et localisé en surface en période humide. (Voir l'étude de zone humide).

Remarque : des secteurs de sols remaniés sont localisés à l'ouest (ancienne décharge dite « point noir » de Gonesse) et à l'est au nord du BIP (butte de 2-3m de haut probablement issue de déblais de travaux connexes).



Extrait IGN géoportail 1/25000

Extrait photographie aérienne, Infoterre BRGM



Enquête parcellaire 2017, GPA

Secteur ouest

Secteur sud

Secteur ouest

Secteur nord

Secteur Est

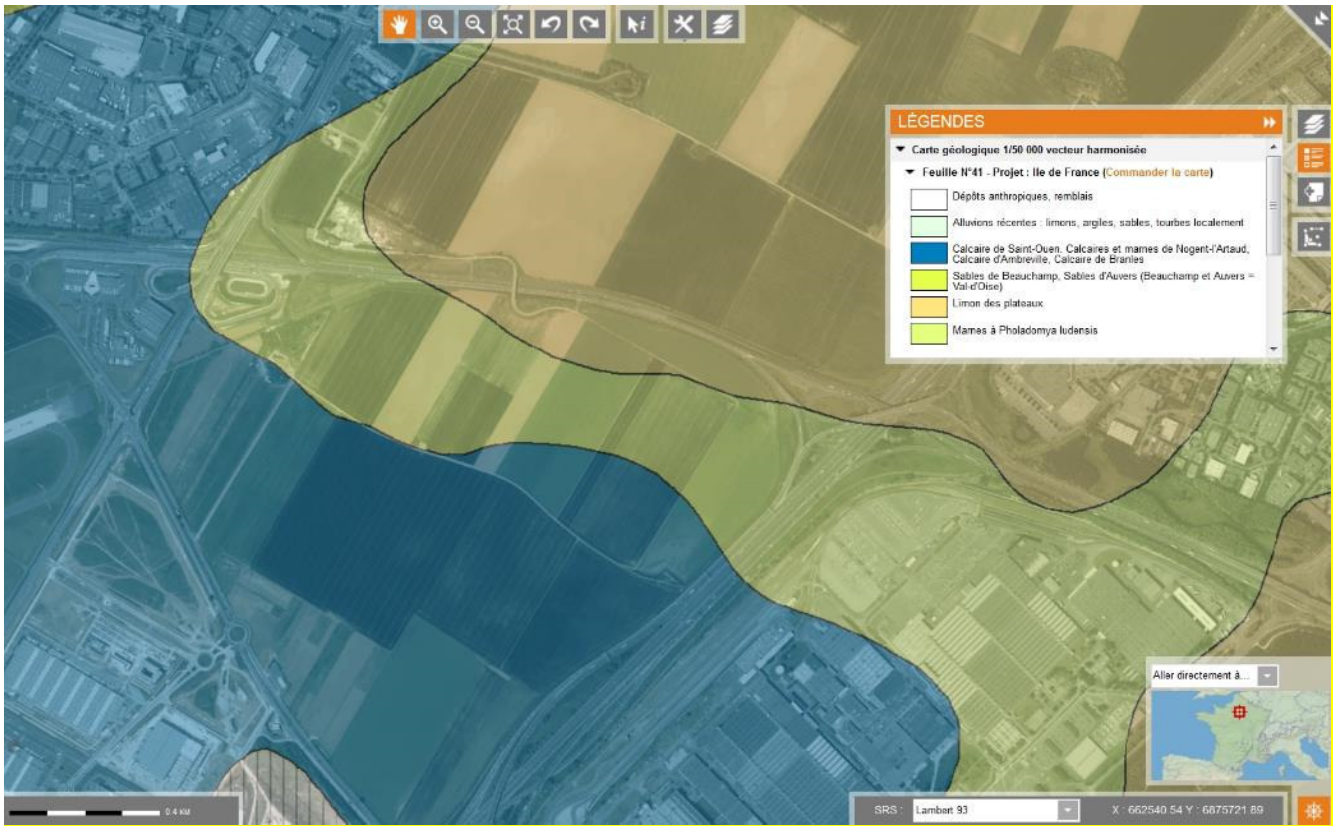
Secteur nord

Occupation du sol, janvier 2018 (Sol Paysage)

1.3 Contexte géologique

La géologie du périmètre est marquée par :

- Des formations sédimentaires tertiaires du Bassin Parisien :
  - Sables de Beauchamp (Est, hors périmètre), sables quartzeux blanc-jaune
  - Calcaires de St Ouen (sud), calcaire blanc crème compact alternant avec des marnes
  - Marnes à Pholadomya (centre), blanchâtres parfois gypseuses ou sableuses (sables de Monceau)
- Une érosion puis dépôts quaternaires récents : Limons des plateaux (nord), colluvions/alluvions



Extrait carte géologique 1/50000, Infoterre BRGM

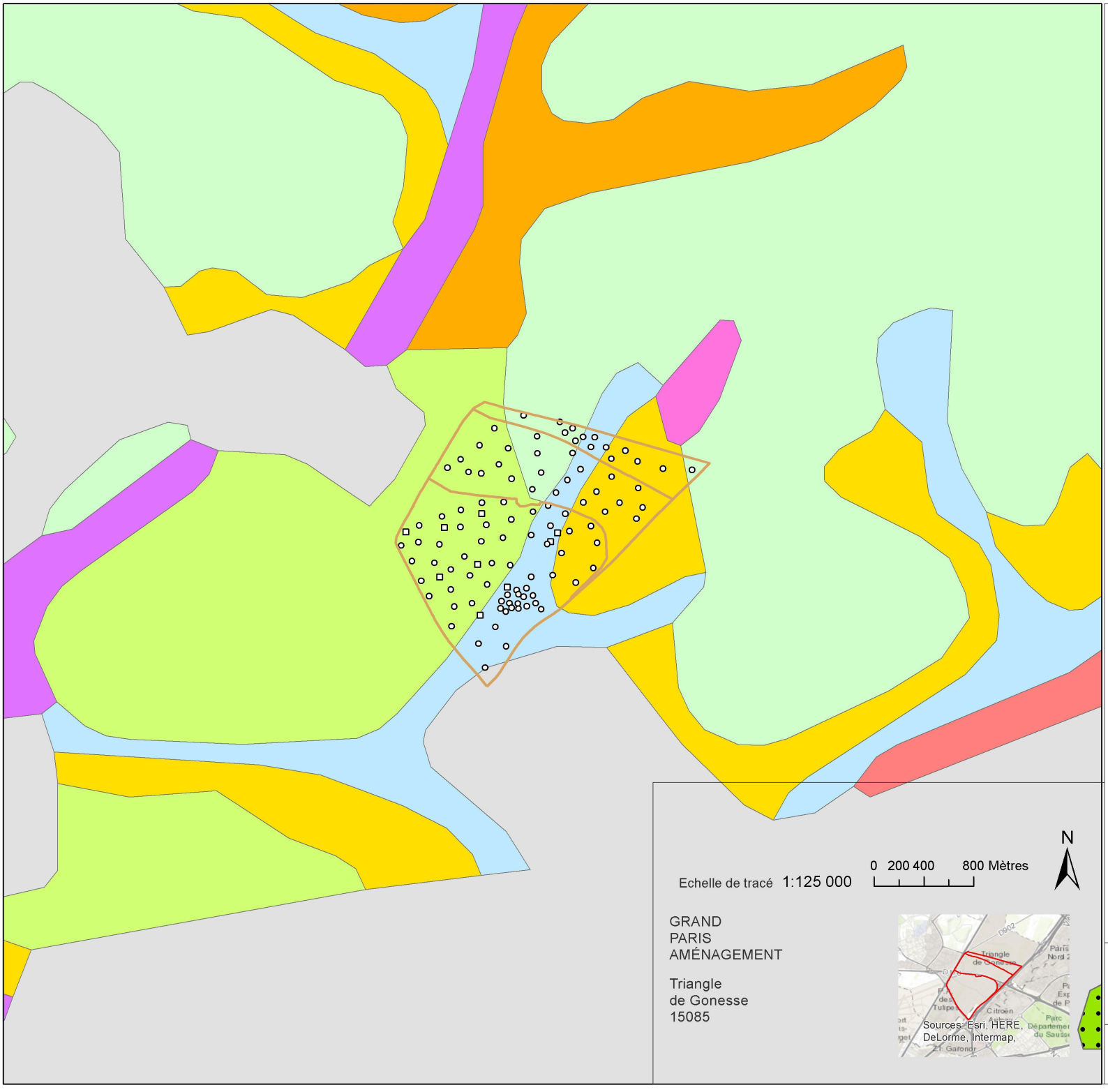
1.4 Contexte pédologique

Le référentiel pédologique d'Ile-de-France (INRA, 1/250000) fait état des unités cartographiques de sols (UCS) suivantes :

UCS	Localisation	Type
84	Ouest	Sols limoneux, humides, épais, de la Plaine de France **Luvisol typique rédoxique, à nappe perchée temporaire**
87	Nord	Sols limoneux, épais, localement sur loess calcaire, quelques sols limono-caillouteux, humides, épais, sur argile à meulière en bordure de vallées **Luvisol typique, non hydromorphe**
88	Est	Sols limoneux ou argileux, caillouteux, calcaires, d'épaisseur variable **Calcosol ou Rendosol argilo-caillouteux ou limono-caillouteux, peu épais, non hydromorphe**
101	Axe thalweg	Sols limoneux peu à moyennement humides, épais, le plus souvent non calcaires, colluvions et/ou alluvions **Colluviosol limoneux à Réductisol limoneux, saturé de manière saisonnière voire à nappe perchée temporaire**

Le contexte pédologique indique une probabilité élevée d'observer des luvisols typiques et dégradés dans la moitié ouest ainsi que des rendosols, calcosols au nord-est puis des fluviosols au sein de l'axe du léger thalweg topographique d'axe Nord-Est/Sud-Ouest.

Ces sols sont considérés comme très favorables agronomiquement, notamment les néoluvisols, présentant une réserve hydrique élevée, une hydromorphie modérée, une forte capacité nutritive et une profondeur significative.



Emprises d'étude

Types d'obersations

- Profil à la pelle mécanique
- Sondage à la tarière manuelle

Unités cartographiques de sols (UCS)

- Bâti
- UCS 80 - Sols sableux, épais sur grès
- UCS 83 - Sols très argileux localement calcaires, épais
- UCS 84 - Sols limoneux humides , épais de la plaine de France
- UCS 87 - Sols limoneux épais, localement sur loess calcaire, quelques sols limono-caillouteux, humides, épais sur argile à meulières en bordure de vallées
- UCS 88 - Sols limoneux ou argileux, caillouteux, calcaires, d'épaisseurs variables
- UCS 89 - Complexe de sols limoneux, localement sableux, calcaires, d'épaisseurs variables sur calcaire dur
- UCS 94 - Sols caillouteux, sableux calciques; moyennement épais
- UCS 101 - Sols limoneux, généralement peu à moyennement humides, épais, le plus souvent non calcaires; colluvions et/ou alluvions
- UCS 103 - Sols limoneux très humides à nappe temporaire profonde, calciques

PAYSAGES PEDOLOGIQUES CONCERNES

IX - LE PAYS DE FRANCE, LE MULTIEN ET LA GOELE

A - LES BUTTES SABLEUSES, LIMONEUSES OU LIMONO-CAILLOUTEUSES SUR ARGILES DE MONTMORENCY ET/OU CALCAIRE DE CHAMPIGNY
UCS 80

B - LES PIEMONDS DE BUTTES LIMONEUX ET ARGILEUX, SUR MARNES ET CALCAIRES
UCS 83, 84

D - LA PLAINE LIMONEUSE SUR CALCAIRE DE SAINT-OUEN ET SES ENTAILLES CALCAIRES
UCS 87, 88, 89

X - LES TERRASSES DE LA SEINE, DE LA MARNE ET DU LOING
A - BASSES TERRASSES
(30-50M)
UCS 94

XI - LES COLLUVIONS ET ALLUVIONS
UCS 101, 103

Echelle de tracé 1:125 000

0 200 400 800 Mètres

N

GRAND
PARIS
AMÉNAGEMENT

Triangle
de Gonesse
15085

Extrait du Référentiel régional pédologique
de l'Ile-de-France à 1/250 000 (INRA)
Version 1.0 , Vue globale

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : INRA

Date: 23/01/2018

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

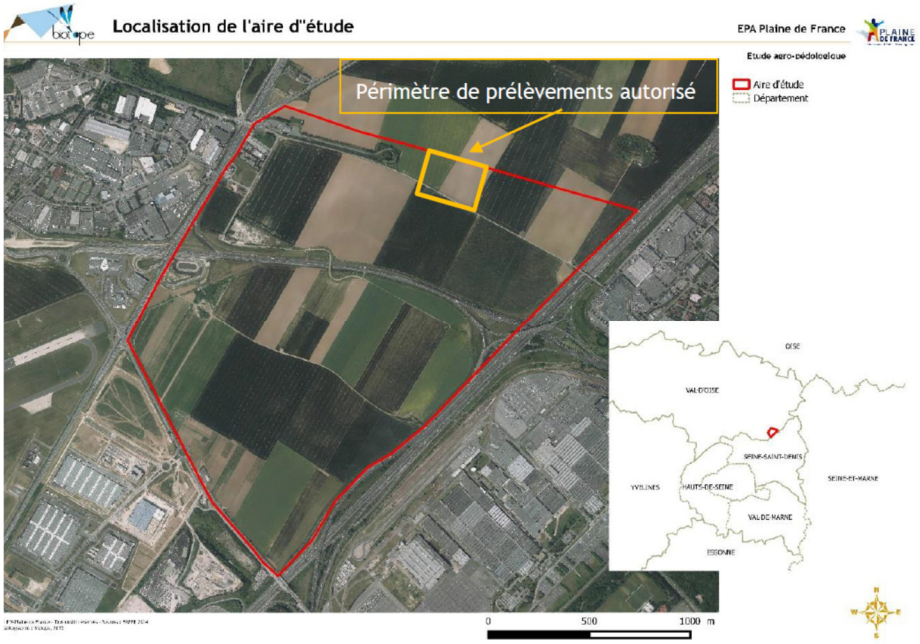
1.5 Etudes antérieures

Des études pédologiques d'identification de zone humide ont été réalisées sur l'ensemble du périmètre de ZAC :

- Etude BIOTOPE mars 2015 < EPAPDF_GONESSE_DELIMITATION_ZH_201503028_vf >
- Etude Sol Paysage du 27/02/18 <15-085_ETUZH_v2.0_TDG_ZoneHumide>

Des études géotechniques et environnementales ont été menées ponctuellement sur certains secteurs, notamment le site d'une ancienne décharge dit « point noir de Gonesse ». Des études géotechniques, environnementales et archéologiques sont en cours début 2018 sur l'ensemble du périmètre.

Une étude à caractère agropédologique a été réalisée par BIOTOPE en juin 2015 pour le compte de l'EPA Plaine de France. Cette étude porte uniquement sur une emprise de 9,5 ha située sur la lisière agricole, emprise accessible aux investigations lors de l'étude.



Périmètre de l'étude agropédologique BIOTOPE 2015

L'étude BIOTOPE comprend 7 sondages manuels et prélèvements sur l'horizon de surface (0-30cm) pour analyse auprès du laboratoire SAS à Orléans. Elle fait état de « sols neutres à basiques, riches en éléments minéraux et oligoéléments, limoneux, favorables à de nombreux types de cultures, et pouvant présenter un risque élevé de battance. »

Une étude SAFER de 2012 est mentionnée, faisant état de « terre jaune du sol brun/roux lessivé sur limon des plateaux. C'est un limon sablo-argileux assez léger, dépourvu en cailloux et souvent riche en éléments fertilisants [...]. il s'agit de sols limoneux épais de bonne qualité ce qui se traduit par des rendements sensiblement supérieurs aux moyennes nationales et locales (90qx de blé par hectare en moyenne contre 81qx pour la Seine et Marne). »

2 Méthodologie d'étude

2.1 Profils et sondages pédologiques

Compte tenu de la surface d'environ 280 ha, **111 sondages pédologiques** ont été réalisés par Sol Paysage entre le 3 et le 12 janvier 2018, répartis entre fosses pédologiques et sondages à la tarière manuelle. La répartition des points d'observation suit un maillage aléatoire régulier permettant de couvrir de manière homogène l'ensemble de l'emprise.

La mutualisation des sondages de l'étude agro-pédologique avec l'étude de zone humide réalisée par Sol Paysage début 2018 explique une densité supérieure de sondages sur certains secteurs d'investigation.

100 sondages manuels ont été réalisés à la tarière pédologique, sur une profondeur de 50 cm à 120cm. Les sondages ont été décrits selon les critères suivants :

- Caractérisation de l'environnement du sondage : état de surface, couvert végétal (espèces hygrophiles le cas échéant), topographie, repérage GPS
- Epaisseur et nature des horizons
- Texture dominante (sable, limon, argile)
- Couleur des horizons
- Etat d'humidité : sec, frais, humide, engorgé, profondeur d'apparition d'eau libre
- Caractère calcaire avec réalisation d'un test à l'acide chlorhydrique (HCl)
- Estimation de la teneur en matière organique
- Traits d'oxydation : abondance, taille et netteté des tâches d'oxydation (rouille) et nodules de concrétion ferro-manganique
- Traits de réduction : abondance, taille et netteté des traits de réduction (teinte gris-bleutée)
- Présence et abondance d'éléments grossiers naturels et/ou anthropiques, taille et nature des éléments
- Classification pédologique selon référentiel AFES 2008

11 profils sur fosse ont été observés systématiquement jusqu'à 150 cm de profondeur sur fosses pédologiques ouvertes au tractopelle, sur 150cm par 50cm d'emprise. Les fosses ont été réalisées par la société ABROTECH dans le cadre des études environnementales, avec tri des horizons pédologiques, et refermées le jour-même.

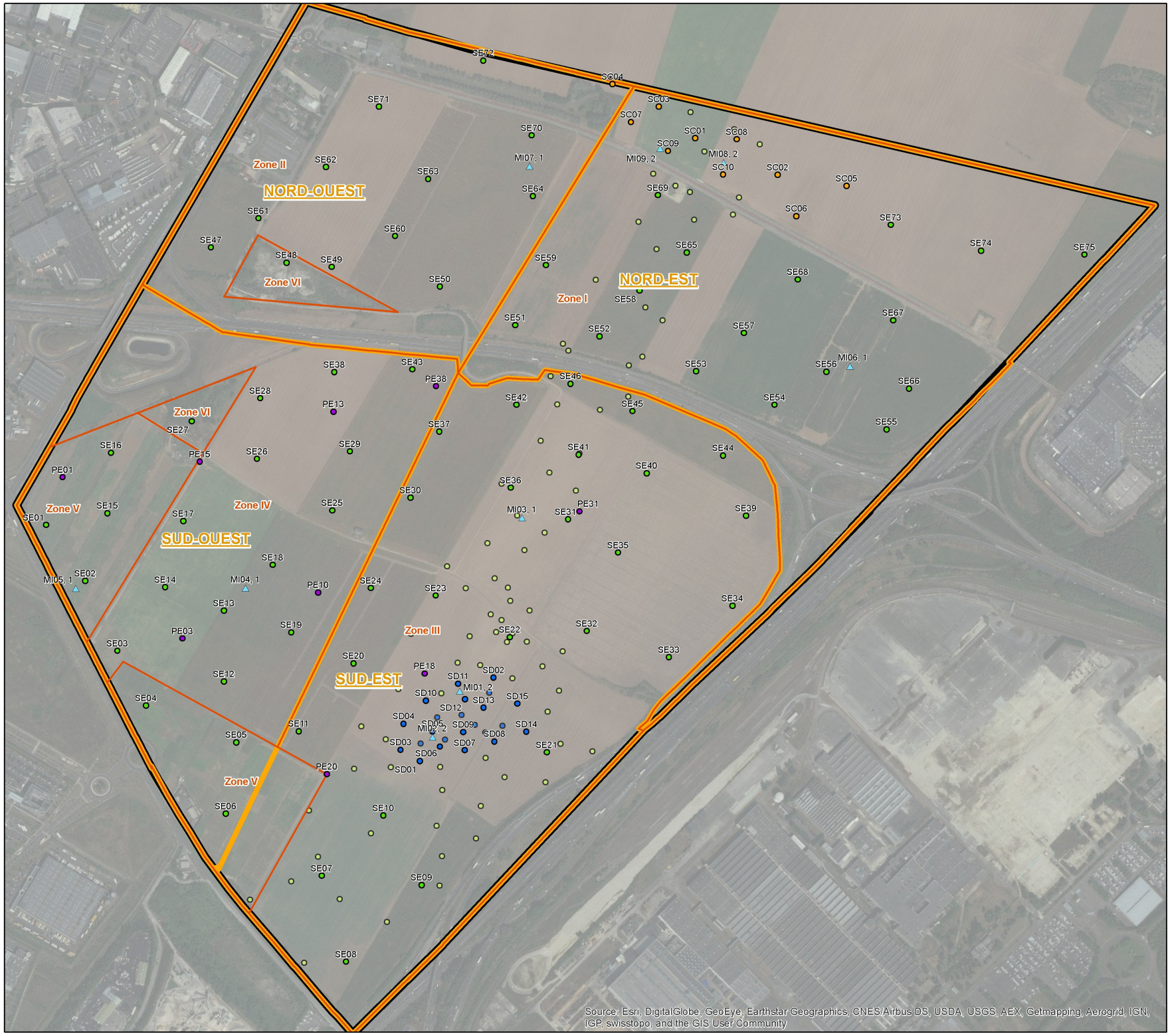
Les fosses ont permis de décrire en complément des critères listés précédemment :

- Porosité : proportion et type
- Structure
- Niveau de compacité
- Enracinement : profondeur, densité, orientation, état
- Transitions entre horizons, homogénéité

- Activité biologique : lombrics, galeries
- Nature du substratum profond

Chaque sondage fait l'objet d'une fiche unitaire. L'ensemble de ces données descriptives et les planches photographiques associées est fourni en annexe.

La carte ci-après présente la localisation des sondages réalisés et relevés au GPS.



Emprises d'étude

Zones d'échantillonnage, analyses physico-chimiques (NO, NE, SO, SE)

Zones d'échantillonnage, analyses biologiques (I à VI)

Sol Paysage (2018) : observations réalisées

- Pelle mécanique (PE)
- Tarière manuelle (SC), sondages spécifiques zone de compensation
- Tarière manuelle (SD), sondages spécifiques zone de délimitation de zone humide
- Tarière manuelle (SE), sondages spécifiques services écosystémiques des sols
- Mesures d'infiltration (MI) au perméamètre de Guelph (numéro du point de mesure, nombre de mesure)

Biotope (2015): sondages à la tarière manuelle

- Sondages classés humides
- Sondages classés non humides

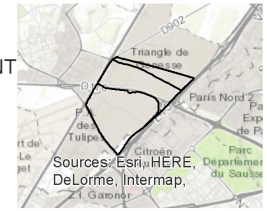
0 50 100 200 Mètres

N

Echelle de tracé 1:8 000

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085



Observations Sol Paysage - janvier 2018
Version 4.0, Edition A3
Vue globale

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

Date: 26/11/2018

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

2.2 Echantillonnage et analyses de laboratoire

Vingt-six prélèvements ont été effectués du 3 au 12 janvier 2018 sur la totalité des profils et sondages pour analyses de laboratoire (Cf. Tableau d'échantillonnage ci-après).

Le plan d'échantillonnage est organisé en 4 zones de prélèvements illustrées ci-dessous : Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest.

Chaque échantillon représente un horizon de sol identifié au sein d'une des quatre zones. Il constitue un échantillon moyen de référence et est issus de prélèvements composites représentatifs au sens de la norme NF X 31-100, à partir de 15 à 20 prélèvements en moyenne.

6 échantillons supplémentaires ponctuels ont été constitués sur des secteurs spécifiques, issus de 1 à quelques prélèvements.

Les horizons de surface sont représentés par l'horizon LA, les horizons de sous-face par les horizons E/S et BT et les horizons profonds par C (voir partie 3. Synthèse pédologique).

Les analyses suivantes ont été confiées au laboratoire AUREA agréé par le Ministère de l'Agriculture et accrédité COFRAC pour les analyses concernées, réalisées selon les normes en vigueur :

- pH eau et pH KCl
- Granulométrie 5 fractions avec décarbonatation
- Calcaire total CaCO3
- Matières organiques et carbone organique
- P2O5 assimilable, méthode Olsen
- K2O, CaO et MgO échangeables
- Capacité d'Echanges Cationiques (C.E.C.), méthode Metson
- Refus à 2mm
- Azote élémentaire total (méthode DUMAS), Rapport C/N
- Conductivité (après extraction aqueuse)

Les analyses sont interprétées au regard des valeurs de référence agronomique du laboratoire en contexte agricole, et aux valeurs médianes cantonales pour l'horizon de surface agricole, issues de la base de données BDAT du GISSOL / INRA (valeurs de référence 2010-2014).

6 analyses biologiques complémentaires sont prévues pour caractériser l'activité biologique du sol, soit une analyse d'échantillon composite sur chacun des 4 sous-secteurs et 2 analyses spécifiques. Les critères suivants sont analysés :

- Fractionnement granulométrique de la matière organique : mesure la stabilité de la matière organique (fraction labile et fraction table)
- Respiration microbienne : vitesse de minéralisation du carbone et azote organique

- Biomasse microbienne : quantification du carbone microbien
- Inventaire de nématodes : bioindicateur de la qualité biologique du sol (ADEME). Quantification et caractérisation par le laboratoire spécialisé ELISOL

Les échantillons soumis aux analyses biologiques ont volontairement été prélevés le 24/04/2018, période plus favorable pour mesurer les paramètres relatifs à l'activité biologique. Chaque zone est représentée par un échantillon composite (constitué de 4 à 6 prélèvements). Les prélèvements destinés aux analyses en lien avec la matière organique ont été réalisés entre 0-30cm, tandis que les échantillons destinés aux analyses de la nématofaune sont issus de prélèvements compris entre 0 et 15cm de la surface du sol.

Tableaux récapitulatifs des échantillons

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES				
TYPE	SECTEUR	IDENTIFIANT LABORATOIRE AUREA	IDENTIFIANT SOL PAYSAGE	HORIZON DE REFERENCE
COMPOSITES DE REFERENCE	NORD-EST	ECH01	LA_NE	LA
		ECH02	E/S_NE	E ou S, selon sondages
		ECH03	BT_NE	BT
		ECH04	C1_NE	C
		ECH05	C2_NE	C
	NORD-OUEST	ECH06	LA_NO	LA
		ECH07	E/S_NO	E ou S, selon sondages
		ECH08	BT_NO	BT
		ECH09	C_NO	C
	SUD-EST	ECH10	LA_SE	LA
		ECH11	E/S_SE	E ou S, selon sondages
		ECH12	C1_SE	C
		ECH13	C2_SE	C
		ECH14	C3_SE	C
		ECH15	BT_SE	BT
		ECH16	C4_SE	C
	SUD-OUEST	ECH17	LA_SO	LA
		ECH18	E/S_SO	E ou S, selon sondages
		ECH19	C3_SO	C
		ECH20	BT_SO	BT
PONCTUELS	NORD-EST	ECH21	LA_ZCE	Surface (0-30cm)
		ECH22	BT_ZCE	Sous-face (40-70cm)
		ECH23	LA_ZCO	Surface (0-30cm)
		ECH24	BT_ZCO	Sous-face (40-70cm)
	SUD-EST	ECH25	LA_ZD	Surface (0-30cm)
		ECH26	E/S_ZD	Sous-face (40-70cm)

ANALYSES BIOLOGIQUES				
TYPE	SECTEUR	IDENTIFIANT LABORATOIRE AUREA	IDENTIFIANT LABORATOIRE ELISOL	HORIZON DE REFERENCE ET NOM
COMPOSITES DE REFERENCES	NORD-EST	TDG-BIO-1	TdG_Nem1	Surface ; TDG-BIO-1 NE
	NORD-OUEST	TDG-BIO-2	TdG_Nem2	Surface ; TDG-BIO-2 NO
	SUD-EST	TDG-BIO-3	TdG_Nem3	Surface ; TDG-BIO-3 SE
	SUD-OUEST	TDG-BIO-4	TdG_Nem4	Surface ; TDG-BIO-4 SO
	SUD	TDG-BIO-5	TdG_Nem5	Surface ; TDG-BIO-5 Sud - Maraîchage
	OUEST	TDG-BIO-6	TdG_Nem6	Surface ; TDG-BIO-6 Est - Zone remblayée

2.3 Mesures de perméabilité in situ

La perméabilité du sol est mesurée en 9 points répartis sur l'ensemble de l'emprise (Cf. carte d'implantation). Chaque point fait l'objet d'une ou deux mesures d'infiltration réalisées à différentes profondeurs de sol, selon la méthode de Guelph.

Le perméamètre de Guelph mesure la vitesse d'écoulement vertical d'eau au travers d'un bulbe de saturation, sur une section donnée. La charge hydraulique appliquée est constante selon le principe de Mariotte.

Le perméamètre mesure le coefficient de perméabilité K (ou conductivité hydraulique) exprimé en mètre par seconde (m/s).

Les fiches de perméabilité pour chaque mesure d'infiltration sont fournies en annexe de ce rapport.

Ces mesures sont complétées par des mesures réalisées dans le cadre de l'étude géotechnique (méthode MATSUO à 1,5m de profondeur).

2.4 Estimation de la Réserve Utile Maximale

La capacité de rétention hydrique est estimée selon la méthode de Jamagne reprise dans le guide d'analyses de sols (D. Baize, INRA). Elle correspond au volume d'eau maximal disponible pour les végétaux, à savoir le volume d'eau retenu dans le sol entre la capacité au champ (sol ressuyé) et le point de flétrissement (sol sec, début de stress hydrique pour les végétaux).

La méthode utilise des valeurs de référence de Réserve Utile Maximale (RUM) en fonction de la texture de chaque horizon de sol, de l'épaisseur de chaque horizon, de la proportion d'éléments grossiers, et de la profondeur de sol considéré.

La réserve utile maximale RUM totale est exprimée sur l'épaisseur de sol en mm d'eau :

$$RUM(tot) = \sum_{1}^{n} RUM(Hx) \times E(Hx)$$

La réserve utile maximale RUM moyenne du sol est exprimée en mm d'eau par mètre de sol :

$$RUM(moy) = \frac{\sum_{1}^{n} RUM(Hx) \times E(Hx)}{\sum_{1}^{n} E(Hx)}$$

Avec

- *x : horizon pédologique prospectable, de 1 à n*
- *RUM(Hx) : Réserve Utile Maximale de l'horizon Hx*
- *E(Hx) : Epaisseur de l'horizon Hx*

Les valeurs suivantes de RUM sont retenues pour chaque classe de texture, hors fraction grossière :

Texture		RUM (mm/m)
A	Argile	170
AL	Argile limoneuse	180
AS	Argile sableuse	170
LA	Limon argileux	195
LM	Limon moyen	175
LMS	Limon sableux	160
LAS	Limon argilo-sableux	175
LS	Limon sableux	145
LSA	Limon sablo-argileux	165
SL	Sable limoneux	100
SA	Sable argileux	135
S	Sable	70

Réserve Utile Maximale (RUM) par classe de texture, en mm d'eau par m de sol (Jamagne)

3 Synthèse pédologique

3.1 Typologique des sols

Les cartes des profils de sol et de classification pédologique (cartes partie 3.2) localisent les différents profils de sols observés avec chaque horizon pédologique et chaque solum identifié d'après le Référentiel pédologique (AFES/INRA, 2008).

L'ensemble des observations réalisées à une profondeur comprise entre -50 et -150cm a été représentée sur la carte des profils de sols, avec distinction des horizons de référence et classification pédologique.

3.1.1 Horizons et références pédologiques

Les sols sont généralement constitués de trois horizons pédologiques principaux :

- Un horizon de surface labouré, organo-minéral **[LA]**, moyennement organique, limono-argileux, décarbonaté, assez épais de l'ordre de 30 à 40cm (profondeur de labour).
- Un horizon de sous-face, limono-argileux et poreux à plus argileux et plus compact, généralement assez épais, peu organique, plus ou moins décarbonaté, parfois légèrement hydromorphe. Cet horizon structural se décline en trois horizons de référence selon le niveau d'évolution pédogénétique du sol **[S, E ou BT]**.
- Une couche pédologique d'altération **[C]**, non organique, calcaire, peu structurée, à éléments grossiers variables, issue de l'altération physique et chimique de la roche-mère sous-jacente (Limon des Plateaux ou Marne et Calcaire de St-Ouen.
- Ponctuellement des couches anthropiques de remblais localisés (Z).

Cinq références pédologiques ont été identifiées selon le Référentiel pédologique AFES 2008 et le référentiel pédologique régional d'Ile-de-France (INRA 2003), en cohérence avec la chronoséquence pédologique, et selon la répartition indicative suivante :

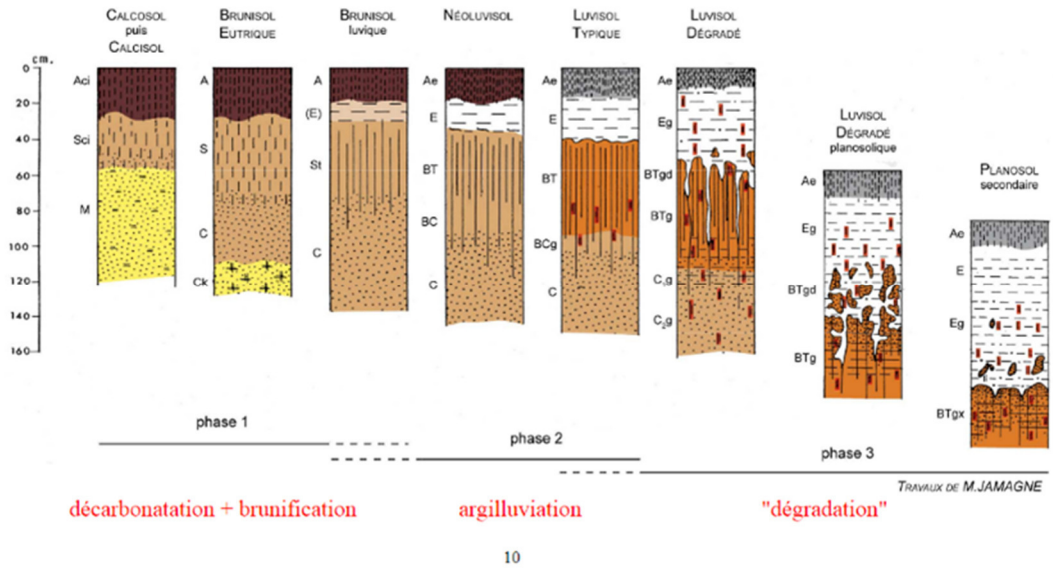
- **Calcisol / calcosol (10%)**, marqué par un horizon structural ou d'altération non décarbonaté ou non décalcifié Sca ou Sci. L'horizon de labour LA est généralement décarbonaté comme le confirment les tests HCl, mais reste saturé par les ions calcium (Calcisol). Ponctuellement l'horizon de surface reste carbonaté (Calcosol).
- **Brunisol (35%)**, marqué par un horizon structural S et un horizon d'altération profonds C, et un gradient de décarbonatation
- **Néoluvisol (40%)**, marqué par un début de phénomène d'argilluviation : apparition d'un horizon d'accumulation d'argile BT. Le phénomène d'éluviation est peu marqué et inclus dans l'horizon de labour LA.

- **Luvisol typique (10%)**, marqué par une argilluviation plus poussée : apparition d'un horizon d'éluviation E sous l'horizon de labour LA, surmontant l'horizon BT. Les luvisols typiques sont confirmés par l'Indice de Différentiation Texturale IDT [1]. La séquence typique est parfois altérée par l'érosion et le labour (luvisol tronqué).
- **Anthroposol (5%)** marqué par une couche transformée ou apportée (remblai) Z

[1] L'Indice de Différentiation Texturale montre la différence de taux d'argile entre horizon d'accumulation BT et horizon supérieur appauvri E. L'IDT est le plus élevé en secteur Nord-Ouest, où les luvisols plus typiques sont observés.

Teneur en argiles (%)	NE	NO	SE	SO
E/S	21,27	20,67	24,54	24,05
BT	27,07	28,2	29,6	27,14
IDT (% argile BT / % argile H2)	1,27	1,36	1,21	1,13

Indice de Différenciation Texturale (IDT) selon les secteurs



Chronoséquence théorique des luvisols, Jamagne / Baize

Les planches suivantes illustrent les profils pédologiques (Sol Paysage, janvier 2018).

PE01 –

PE03 –

PE10 –

PE13 –

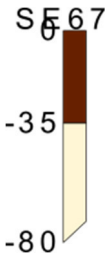
PE15 –

PE18 –

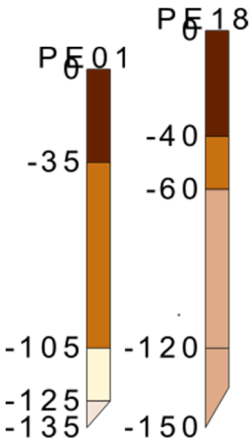
PE20 – luvisol

PE31 –

3.1.2 Calcisol/Calcosol

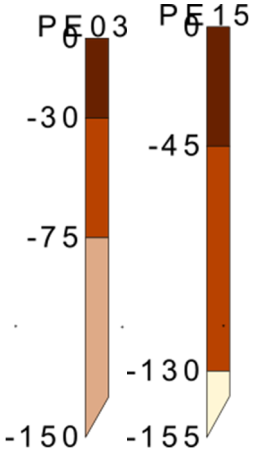
<table>
<tr><td>Calcisol/Calcosol</td><td colspan="2">Séquence d'horizons de référence : LAci / Sca / Cca ou LAci/Cca</td></tr>
<tr><td rowspan="2"> 
</td><td colspan="2">LA
Horizon de surface labouré organo-minéral peu calcaire, limono-argileux, brun jaunâtre foncé, avec galeries (activité biologique), peu compact et grumeleux
 </td></tr>
<tr><td colspan="2">C marno-calcaire
Horizon profond/sous-face calcaire altéré, blanc à brun pâle, hétérogène, charge en éléments grossiers variable, traits d'altération, traits d'hydromorphie
 </td></tr>
<tr><td>Localisation :
Secteur Est / Sud-Est</td><td>Atout :
- Capacité d'échanges cationiques
- Porosité
- Stabilité structurale</td><td>Contrainte :
- Peu épais (réserve en eau modérée)
- Calcaire
- Substratum hétérogène, dur ou grossier</td></tr>
</table>

3.1.3 Brunisol

<table>
<tr><td>Brunisol</td><td colspan="2">Séquence d'horizons de référence : LA/S/C</td></tr>
<tr><td rowspan="3"> 
</td><td colspan="2">LA
Horizon de surface labouré organo-minéral décarbonaté, limono-argileux, brun jaunâtre foncé, avec galeries (activité biologique), peu compact et grumeleux
</td></tr>
<tr><td colspan="2">S
Horizon de sous-face structural homogène, limono-argileux sableux, frais, à structure polyédrique, assez-compact, brun jaunâtre foncé, légèrement oxydé (fines tâches peu contrastées)
</td></tr>
<tr><td>C marno-calcaire
Horizon profond/sous-face calcaire altéré, blanc à brun pâle, hétérogène, charge en éléments grossiers variable, traits d'altération,
</td><td>C lœss (Limon des Plateaux)
Horizon profond limoneux à limono-sableux calcaire, jaune-crème compact sans éléments grossiers avec traces de reprécipitation de calcaire et de fer oxydé dans la macro-porosité du sol.
</td></tr>
<tr><td>Localisation :

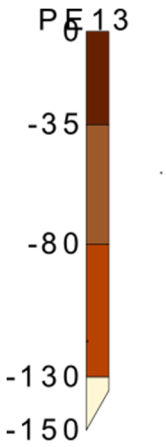
Secteur central Sud-ouest</td><td>Atout :
- Sol assez épais
- Bonne structure, poreux
- Bonne réserve en eau (assez épais et limono-argileux argileuse) et bonne capacité nutritive
- Non calcaire
- Sol bien structuré</td><td>Contrainte :
- Profondeur variable
- Très légère tendance hydromorphe</td></tr>
</table>

3.1.4Néoluvisol

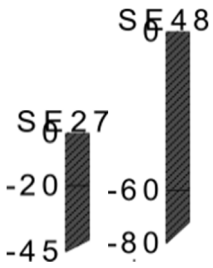
<table>
<tr><td>Néoluvisol</td><td colspan="2">Séquence d'horizons de référence : LA/BT/C</td></tr>
<tr><td rowspan="3"> 
</td><td colspan="2">LA
Horizon de surface labouré organo-minéral décarbonaté, limono-argileux, brun jaunâtre foncé, avec galeries (activité biologique), peu compact et grumeleux
 </td></tr>
<tr><td colspan="2">BT
Horizon de sous-face d'illuviation argilo-limoneux homogène non calcaire frais à structure polyédrique et de couleur brun jaunâtre
 </td></tr>
<tr><td>C loessique
Horizon profond limoneux à limono-sableux calcaire, jaune-crème compact sans éléments grossiers avec traces de reprécipitation de calcaire et de fer oxydé dans la macro-porosité du sol.
 </td><td>C marno-calcaire
Horizon profond/sous-face calcaire altéré, blanc à brun pâle, hétérogène, charge en éléments grossiers variable, traits d'altération, traits d'hydromorphie
 </td></tr>
<tr><td>Localisation :

Secteur Nord et Ouest</td><td>Atout :
- Bonne réserve en eau (épais et texture à tendance argileuse) et bonne capacité nutritive
- Non calcaire</td><td>Contrainte :
- Assez compact
- Légère tendance hydromorphe</td></tr>
</table>

3.1.5 Luvisols typiques

<table>
<tr><td>Luvisol typique</td><td colspan="2">Séquence d'horizons de référence : LA/E/BT/C</td></tr>
<tr><td rowspan="4"> 
</td><td>LA
Horizon de surface labouré organo-minéral décarbonaté, limono-argileux, brun jaunâtre foncé, avec galeries (activité biologique), peu compact et grumeleux</td><td>
</td></tr>
<tr><td>E
Horizon d'éluviation des argiles, limono-argileux non calcaire brun jaunâtre, léger/poreux, frais avec quelques tâches d'oxydation fines et peu contrastées</td><td>
</td></tr>
<tr><td>BT
Horizon de sous-face d'illuviation argilo-limoneux homogène non calcaire frais à structure polyédrique et de couleur brun jaunâtre</td><td>
</td></tr>
<tr><td>C marno-calcaire
Horizon profond/sous-face calcaire altéré, blanc à brun pâle, hétérogène, charge en éléments grossiers variable, traits d'altération, traits d'hydromorphie</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Localisation :
Axe nord-sud du thalweg</td><td>Atout :
- Bonne réserve en eau (épais et texture à tendance limono-argileuse) et bonne capacité nutritive
- Non calcaire</td><td>Contrainte :
- Assez compact
- Légère tendance hydromorphe</td></tr>
</table>

3.1.6Anthoposols

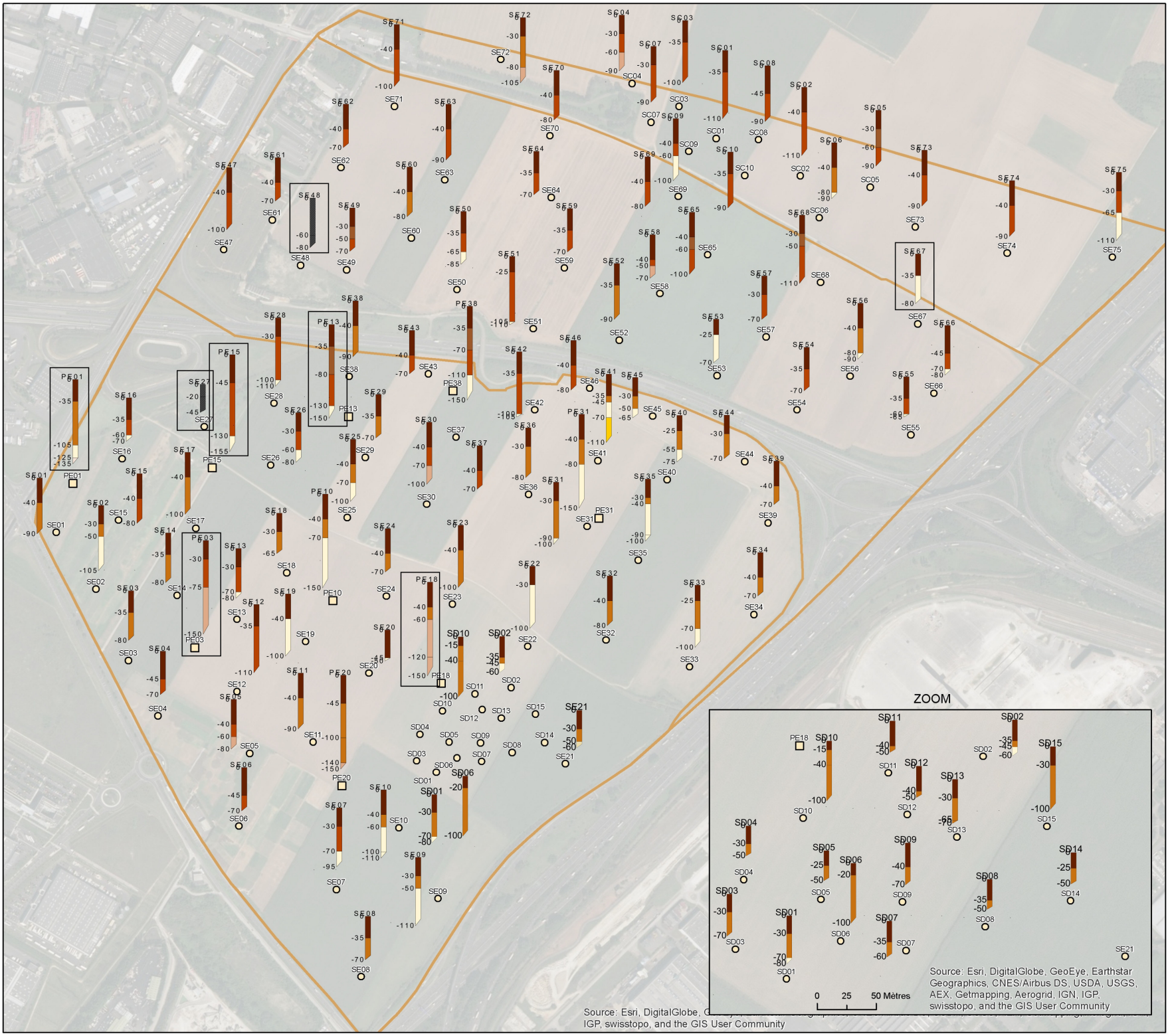
Anthroposol	Séquence d'horizons de référence : Ztr ou Ztr/C	
	Z : couche d'apport de remblai géologique/pédologique hétérogène 	
Localisation : Ponctuel, Ouest + butte Nord-Est	Atout : -	Contrainte : - Hétérogénéité (texture, rétention en eau, en teneur en matière organique, en éléments nutritifs) - Eléments grossiers divers (anthropiques et naturels) - Epaisseur variable - Surface peu infiltrante

3.2 Carte des profils et carte pédologique

La répartition des sols issue de l'observation des 111 sondages pédologiques permet de définir 2 grandes unités cartographiques, en cohérence avec la carte des pédopaysages du référentiel pédologique régional (voir partie 1.4) :

- **Calcisols / calcosols en partie Est / Sud-Est : sols calcaires assez peu évolués**
- **Brunisols / Néoluvisols / Luvisols en partie Ouest et Nord : sols plus profonds, plus évolués**

L'hétérogénéité au sein de chaque unité est due au microrelief, aux phénomènes locaux d'érosion/accumulation, et à l'historique d'occupation et de pratiques culturales.



Emprises d'étude

Observations pédologiques

- Profil à la pelle mécanique (PE)
- Sondage à la tarière manuelle (SE, SD et SC)

Horizons pédologiques identifiés :

- LA : Horizon de surface labouré organo-minéral, limono-argileux
- E : Horizon de sous-face d'éluviation limoneux
- BT : Horizon de sous-face d'illuviation argileux
- S : Horizon de sous-face structural, poreux et structuré limono-argileux
- Ztr : Horizons anthropiques terreux (organiques et issus de matériaux géologiques marneux)
- C : Couches profondes d'altération marno-calcaires blanches limono-argilo-sableuses caillouteuses, avec traits rédoxiques
- C : Couche de loess calcaire brun clair plus ou moins altéré (Limon des Plateaux)
- Mca : Couche profonde de sables calcaires (Sable de Monceau)

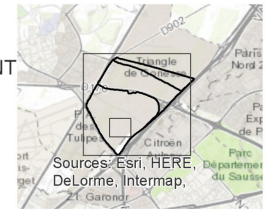
0 50 100 200 Mètres

N

Echelle de tracé 1:7 865

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085



CARTE DES SOLS
Horizons pédologiques identifiés (D'après le Référentiel pédologique 2008) Version 1.0 - Vue globale

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

Date: 03/04/2018

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Emprises d'étude

UCS : Unité cartographique de sol dominante identifiée

- UCS 87 & 84 : Néoluvisols et poches de luvisols typiques
- UCS 88 : Calcosols/Calcisols
- Anthroposol
- Bâti

UTS : Unité typologique de sol identifiée par sondage

- Calcisol
- Brunisol
- Néoluvisol
- Luvisol typique
- Anthroposol

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

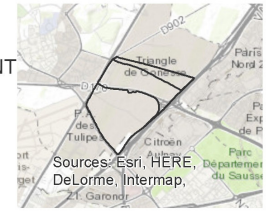
0 50 100 200 Mètres

N

Echelle de tracé 1:8 000

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085



CARTE DES SOLS IDENTIFIÉS
D'après le Référentiel Pédologique Ile-de-France, INRA 2003
Version 1.0 - Vue globale

Date: 23/04/2018

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

3.3 Profondeur de sol et apparition de l'hydromorphie

L'évaluation de la profondeur de sol prend en compte les épaisseurs des horizons LA, S, E, et BT, à savoir l'épaisseur cumulée des horizons pédologiques avant l'apparition de l'horizon d'altération de la roche-mère. La profondeur de sol est un facteur déterminant de la capacité hydrique et nutritive et de la capacité d'enracinement des végétaux.

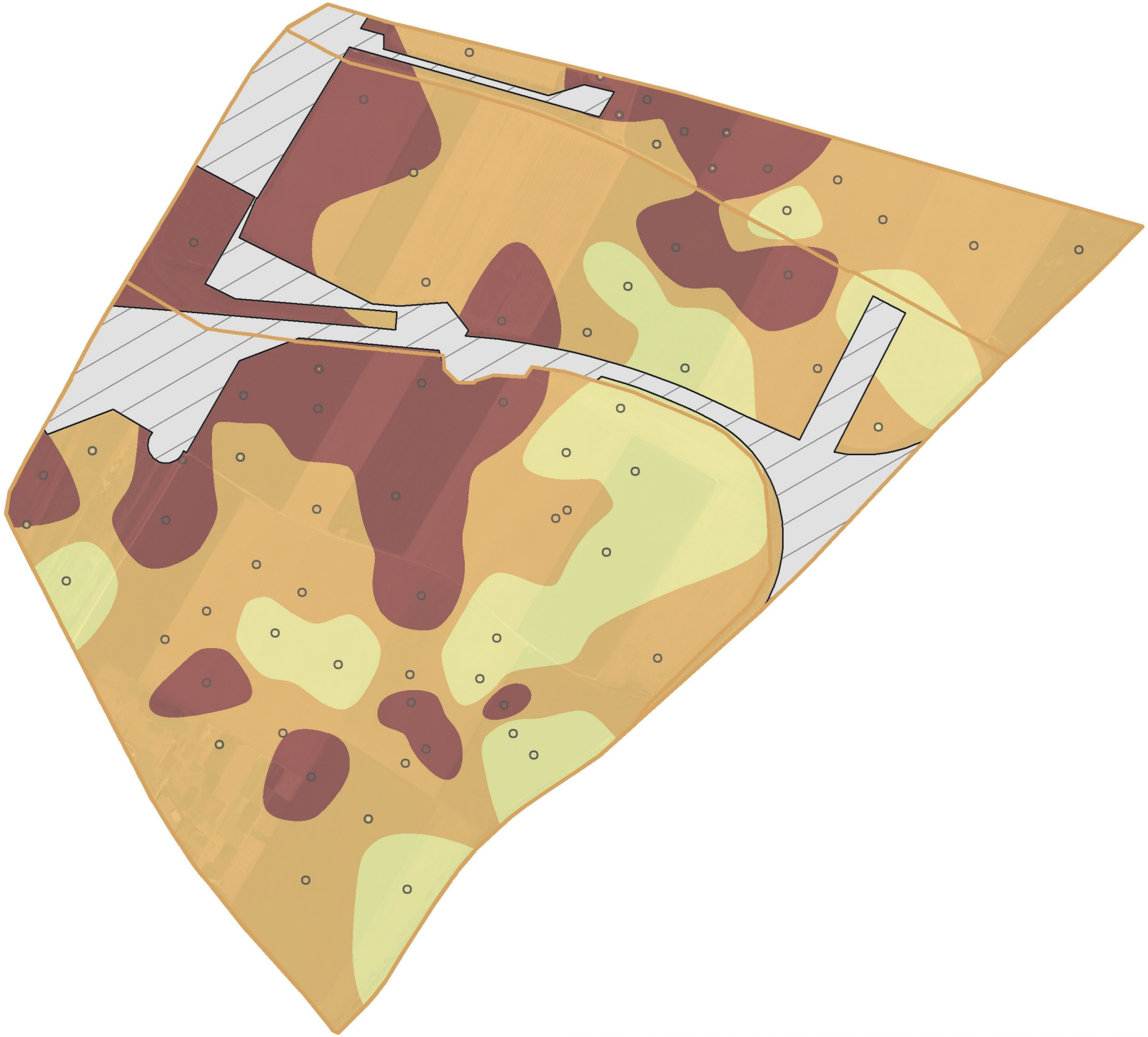
Seuls les points de sondages représentés sur les cartes suivantes établies sous SIG par interpolation ont été intégrés à l'évaluation de la profondeur des sols compte tenu de la profondeur variable de sondage (refus de tarière).

La carte met en évidence une épaisseur de sol élevée en secteur nord et ouest, de l'ordre de 1m, et plus faible en partie Est avec certains horizons d'altération apparaîssant entre 30 et 60cm. Cette tendance est correlée avec la nature de la roche-mère et de la typologie pédologique, montrant une tendance aux calcosols sur altération de marno-calcaire dans ce secteur.

Remarque : la profondeur indiquée sur la carte n'est pas à considérer comme le niveau minimal d'enracinement car les horizons d'altération présentent une structure poreuse permettant la circulation d'eau et le développement potentiel des racines.

La profondeur d'apparition de l'hydromorphie est indiquée sur la carte suivante, par interpolation SIG des données d'observations sur sondages pédologiques. Elle correspond à la profondeur d'apparition des premiers traits d'hydromorphie significative : horizon rédoxique.

L'hydromorphie est modérée, elle n'apparaît jamais de manière significative dans l'horizon de surface labouré LA. La profondeur d'apparition est généralement comprise entre 30 et 50cm, dans l'horizon structural de sous-face (S), parfois enrichi en argile (BT). Cette hydromorphie reste modérée et correspond à un engorgement temporaire lié à l'infiltration ralentie des eaux de surface dans l'horizon structural. Elle ne se traduit pas par l'apparition d'horizon réductique.



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

PROFONDEUR DE SOL (en cm)

- <60
- 60 - 90
- >90
- Anthroposols

0 50 100 200 300 Mètres

N

Echelle de tracé 1:12 000

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085

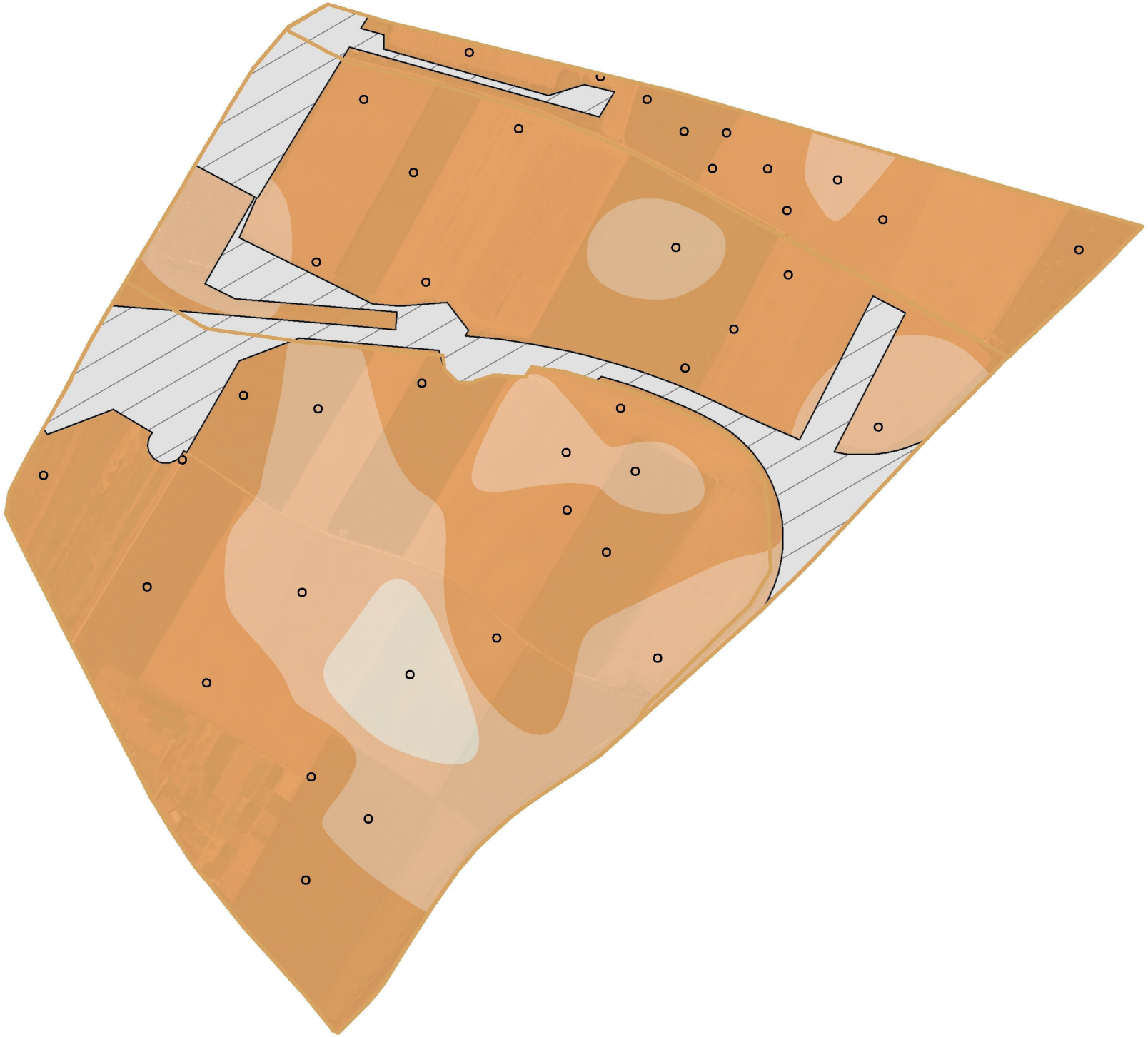
Carte thématique

Version 1.0 - Vue globale

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

Date: 23/04/2018

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00



PROFONDEUR D'APPARITION DE L'HYDROMORPHIE SIGNIFICATIVE (en cm)

- 25 - 50
- 51 - 80
- 81 - 120
- Anthroposols

0 50 100 200 300 Mètres

N

Echelle de tracé 1:12 000

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085

Carte thématique

Version 1.0 - Vue globale

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

Date: 23/04/2018

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

grandparis aménagement

3.4 Analyses et mesures physico-chimiques, hydriques et biologiques

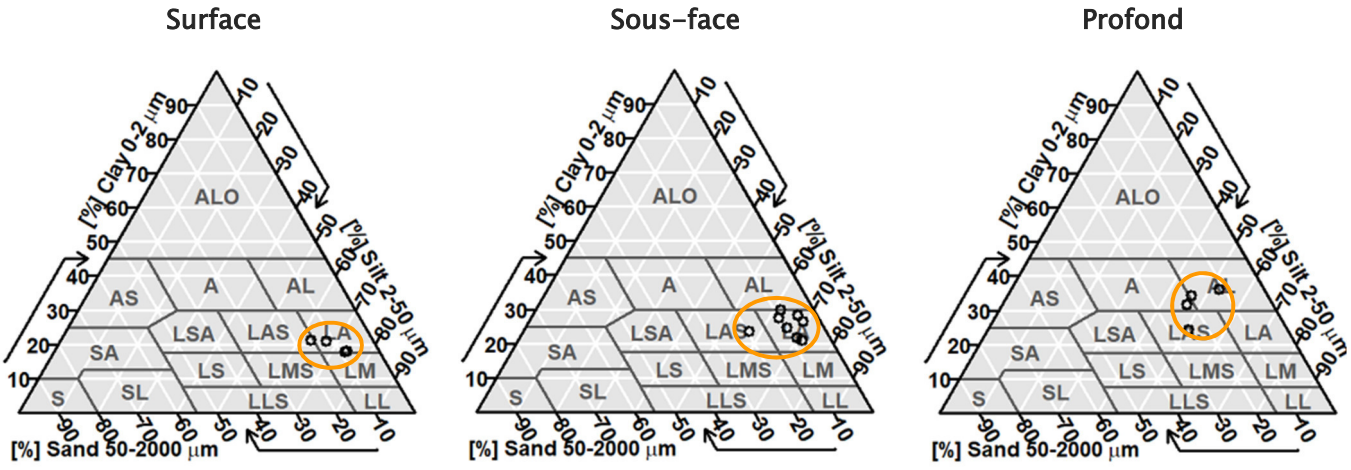
Se reporter au 2.2 pour la méthodologie. Les cartes ci-après sont réalisées sous SIG par interpolation des données de sondages descriptifs et/ou données d'analyses. Les emprises imperméabilisées/artificialisées sont intégrées par défaut.

3.4.1 Granulométrie fine et totale

Les teneurs en argiles (<2 µm), en limons (2µm à 20µm) et en sables (>20µm) sont illustrés sur les Triangle des textures ci-dessous (modèle de l'Aisne, analyse avec décarbonatation), répartis entre échantillons de surface, de sous-face et profonds.

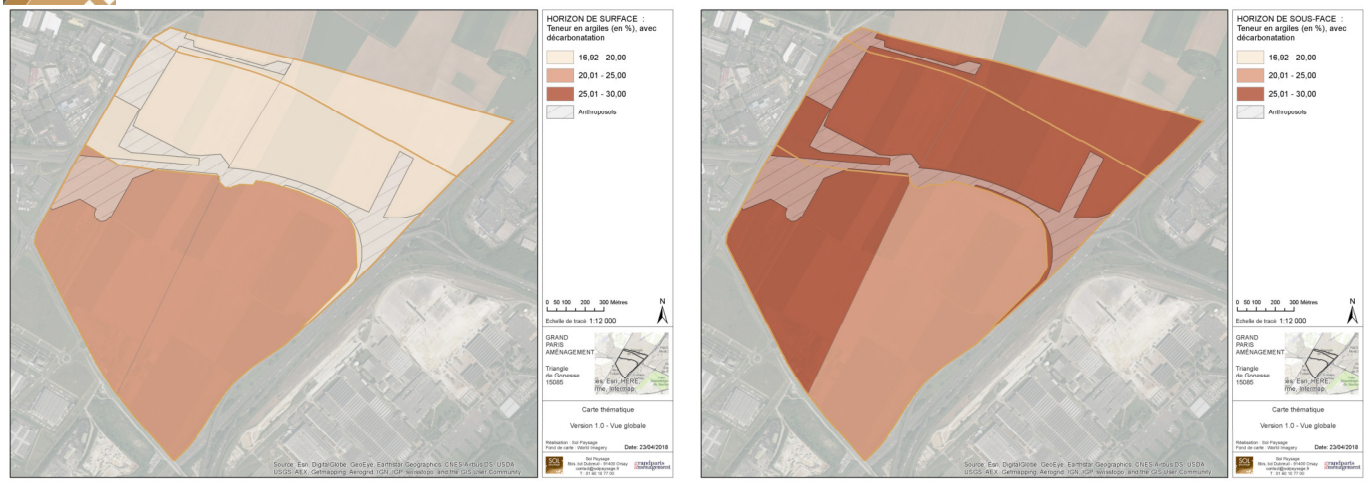
Les analyses montrent une tendance limoneuse à limono-argileuse (L à LA) en surface (15 à 20% d'argile), valeurs correspondant à la médiane cantonale (16%, donnée GISSOL). Cette texture présente une stabilité structurale pouvant être réduite, avec une sensibilité élevée à la battance en cas de pluie sur sol nu.

La texture est limono-argileuse à limono-argilo-sableuse en sous-face (LA à LAS, 20 à 25% d'argile), et argilo-limoneuse en profondeur (AL, 30 à 40% d'argile).



Triangles de texture : granulométrie fine

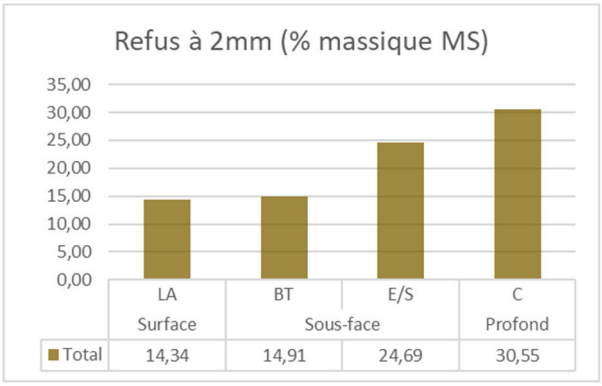
Les variations spatiales sont assez faibles. Les taux d'argiles sont plus modérés en secteur nord en surface et accentués en sous-face, du fait du processus d'argilluviation plus prononcé.



Taux d'argile en surface (gauche) et sous-face (droite) sur les échantillons moyens

Le graphe suivant présente la proportion moyenne d'éléments grossiers (refus à 2mm) au sein de chaque horizon de référence, toutes zones d'échantillonnage confondues.

Le pourcentage d'éléments grossiers est faible à modéré, compris entre 15% et 30% de la masse sèche, avec une augmentation avec la profondeur. Les horizons profonds d'altération marno-calcaires présentent une fraction significative de graviers/cailloux calcaires.



Eléments grossiers : refus à 2mm

Les graphes ci-après présentent les résultats de différents paramètres agronomiques pour l'ensemble des échantillons, représentés en ligne selon les 4 grands secteurs, et en colonne selon le type d'horizon pédologique : voir tableau 2.2 échantillonnage.

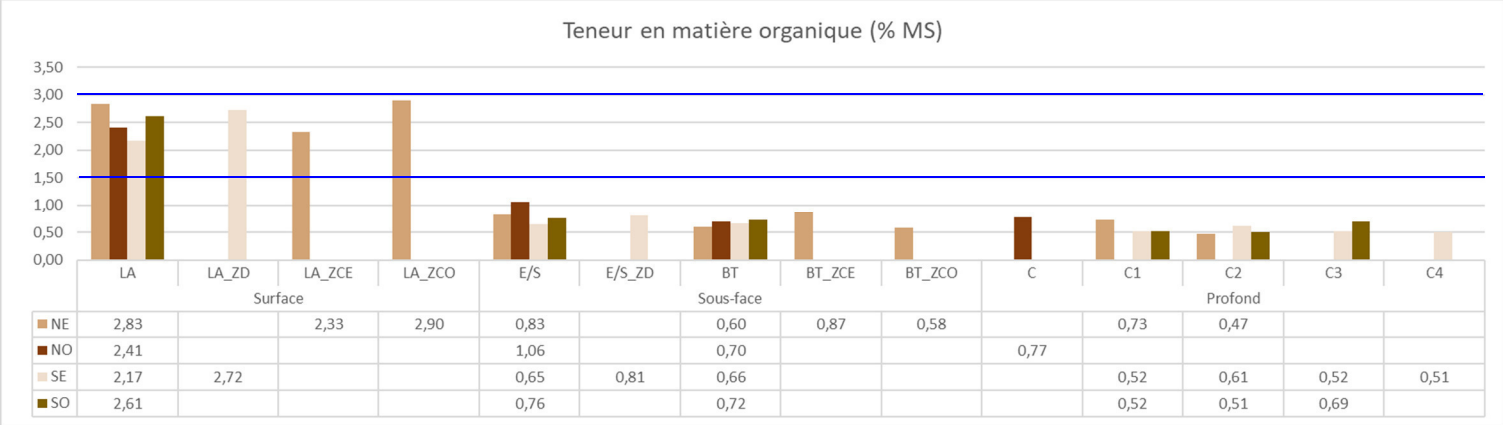
3.4.2 Matière organique, calcaire total

Le taux de matière organique est exprimé en % massique. La gamme de référence de 1,5 à 3% de matière organique correspond aux valeurs fréquemment rencontrées pour les horizons de surface en contexte de grande culture.

Les échantillons de surface présentent des teneurs en matières organiques assez élevées, toutes comprises entre 2,1 et 2,9%. Ces valeurs sont plutôt supérieures à la valeur médiane cantonale de 1,8% (donnée GISSOL 2010-2014).

Les différences constatées en surface s'expliquent principalement par les antécédents culturaux et pratiques de restitution organique, plutôt que par une différence de nature de sol. Les horizons de sous-face et profonds présentent des teneurs faibles en matière organique, inférieures à 1%, en particulier sur les sols moins profonds du secteur Est.

Sur l'ensemble des graphiques suivants, les lignes bleues sur les graphiques symbolisent les seuils agronomiques acceptées dans un contexte de grandes cultures.

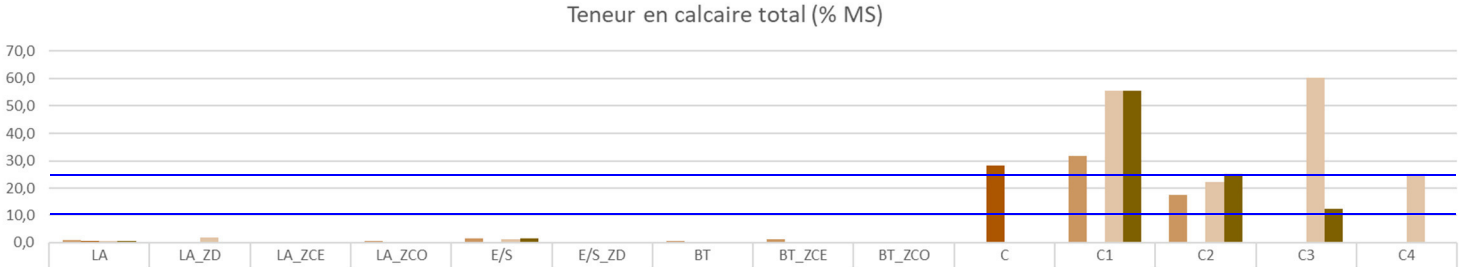


	LA	LA_ZD	LA_ZCE	LA_ZCO	E/S	E/S_ZD	BT	BT_ZCE	BT_ZCO	C	C1	C2	C3	C4
	Surface				Sous-face					Profond				
NE	2,83		2,33	2,90	0,83		0,60	0,87	0,58		0,73	0,47		
NO	2,41				1,06		0,70			0,77				
SE	2,17	2,72			0,65	0,81	0,66				0,52	0,61	0,52	0,51
SO	2,61				0,76		0,72				0,52	0,51	0,69	

Teneur en matière organique totale en surface (gauche) et sous-face (droite)

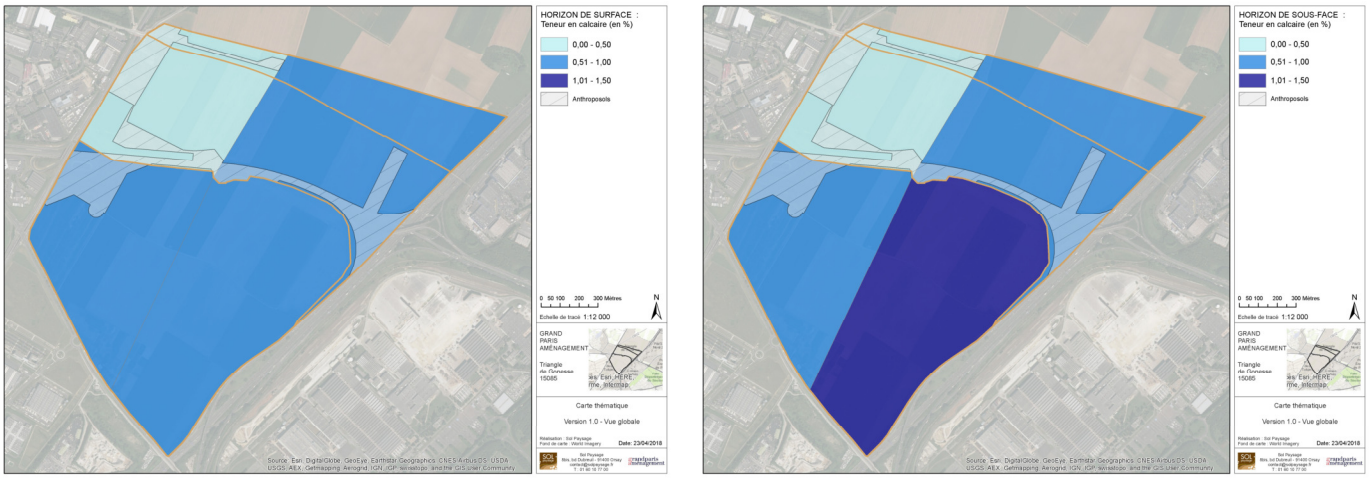
Les teneurs en calcaire total (CaCO3) présentées ci-dessous sont très faibles à nulles dans tous les horizons pédologiques de surface et sous-face (LA, E, BT, S) ce qui confirme la décarbonatation de ces sols, en cohérence avec le contexte local (taux médian de calcaire total de surface proche de 0% à l'échelle cantonale, donnée GISSOL).

Les horizons profonds d'altération (C) sont très calcaires avec des teneurs supérieures à 25%, voire supérieure à 50% dans les secteurs accentués dans la partie sud de l'emprise (SO et SE, altération de marne et calcaire).



	LA	LA_ZD	LA_ZCE	LA_ZCO	E/S	E/S_ZD	BT	BT_ZCE	BT_ZCO	C	C1	C2	C3	C4
	Surface				Sous-face					Profond				
NE	0,9		0,1	0,6	1,4		0,6	1,1	0,1		31,8	17,4		
NO	0,4				0,1		0,1			28,4				
SE	0,6	1,9			1,1	0,3	0,2				55,4	22,3	60,3	25,1
SO	0,7				1,5		0,3				55,4	25,1	12,1	

La répartition spatiale montre une décarbonatation plus prononcée en surface en secteur Nord-Ouest. En sous-face le taux de calcaire le plus élevé est constaté en secteur Sud-Est mais reste faible (décarbonatation).



Teneur en calcaire total en surface (gauche) et sous-face (droite)

3.4.1 pH, conductivité et rapport C/N

Le pH de l'ensemble des échantillons est basique, du fait de l'origine calcaire de la roche-mère : loess calcaire ou marnes et calcaires. Le pH est de 8 en moyenne en surface, légèrement supérieur à la médiane cantonale de 7,7 (données GISSOL).

Le pH s'élève à 8,7 en profondeur dans la partie Sud de l'emprise (SE et SO, voir graphe suivant). Le processus d'acidification est peu marqué : ces sols restent assez peu évolués (brunisols, néoluvisols) et présentent de ce fait une bonne stabilité structurale. A noter qu'un pH très élevé peut être relativement défavorable à une bonne assimilation des éléments nutritifs par les plantes, notamment les phosphates.

Ces sols ne présentent pas de problème de salinité : l'ensemble des échantillons présente une faible conductivité, inférieure au seuil de 1 mS/cm au-delà duquel des risques de toxicité pour les plantes peuvent apparaître.

Le rapport Carbone / Azote total, qui témoigne des capacités de minéralisation des sols pour les horizons organiques, est satisfaisant lorsqu'il est compris entre 8 et 12. Sur l'emprise, le rapport C/N est compris entre 10,2 et 12,1 en surface, soit dans une gamme de valeur optimale.

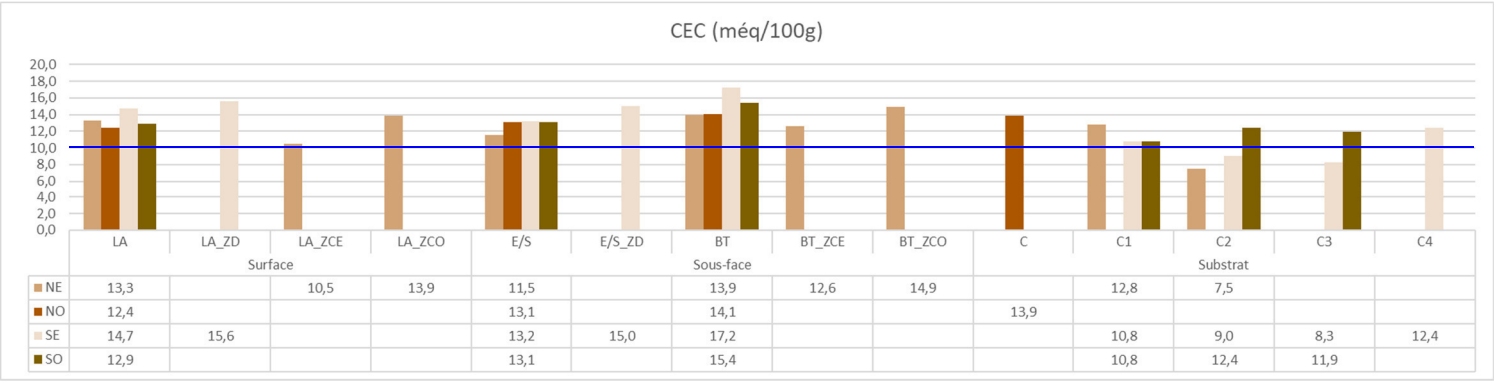
Moyennes	pH eau			Conductivité (mS/cm)			Rapport C/N		
Zones	Surface	Sous-face	Substrat	Surface	Sous-face	Substrat	Surface	Sous-face	Substrat
NE	8,0	8,2	8,6	0,16	0,13	0,14	11,9	7,2	7,6
NO	7,9	7,9	8,5	0,12	0,10	0,14	10,2	8,0	8,5
SE	8,1	8,3	8,7	0,11	0,11	0,13	10,9	6,9	9,7
SO	8,0	8,3	8,7	0,14	0,13	0,14	12,1	7,0	10,0

3.4.2 Eléments nutritifs

La Capacité d'Echange Cationique (CEC) représente la capacité maximale de cations échangeables qu'un sol peut retenir à un pH donné.

La CEC est modérée à élevée, généralement supérieure à la valeur de référence de 12 méq/100g, et témoigne d'une bonne aptitude à la fixation des cations. Ces valeurs sont supérieures à la médiane cantonale de 10,4 méq/100g pour l'horizon de surface (données GISSOL).

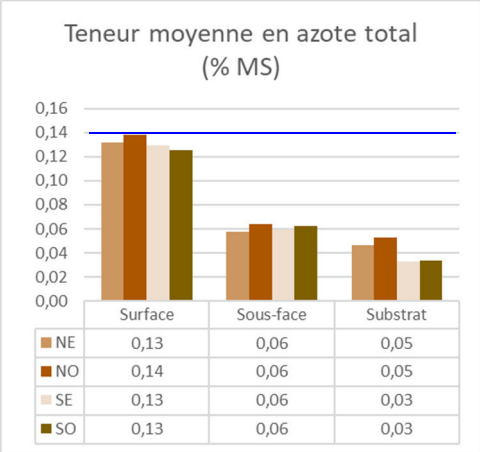
Elles s'expliquent par des teneurs satisfaisantes en argiles et en matières organiques dans les horizons de surface, formant le complexe argilo-humique qui fixe les cations échangeables (calcium, potassium, magnésium).



	LA	LA_ZD	LA_ZCE	LA_ZCO	E/S	E/S_ZD	BT	BT_ZCE	BT_ZCO	C	C1	C2	C3	C4
	Surface				Sous-face						Substrat			
NE	13,3		10,5	13,9	11,5		13,9	12,6	14,9		12,8	7,5		
NO	12,4				13,1		14,1			13,9				
SE	14,7	15,6			13,2	15,0	17,2				10,8	9,0	8,3	12,4
SO	12,9				13,1		15,4				10,8	12,4	11,9	

Le taux de saturation TS (graphe non présenté) est le rapport entre teneur totale en cations échangeables et capacité d'échange cationique. La CEC est totalement saturée sur l'ensemble des échantillons analysés en raison de la forte abondance d'ions calcium en relation avec le caractère calcaire des matériaux. Le complexe cationique est dominé par les ions calcium, ce qui témoigne de la prédominance de sols assez peu évolués (calcisols, brunisols), ou le lessivage est peu poussé (absence de luvisols dégradés).

Les teneurs en azote total sont reportées dans le graphique suivant. L'ensemble des échantillons de surface présente une teneur moyenne en azote total de l'ordre de grandeur de la valeur indicative en contexte agronomique de grande culture (0,14%), et plutôt supérieure à la valeur médiane cantonale (0,10%, donnée GISSOL). La disponibilité en azote dépend de la période d'échantillonnage et de la forme de l'azote (reliquat azoté en sortie d'hiver).

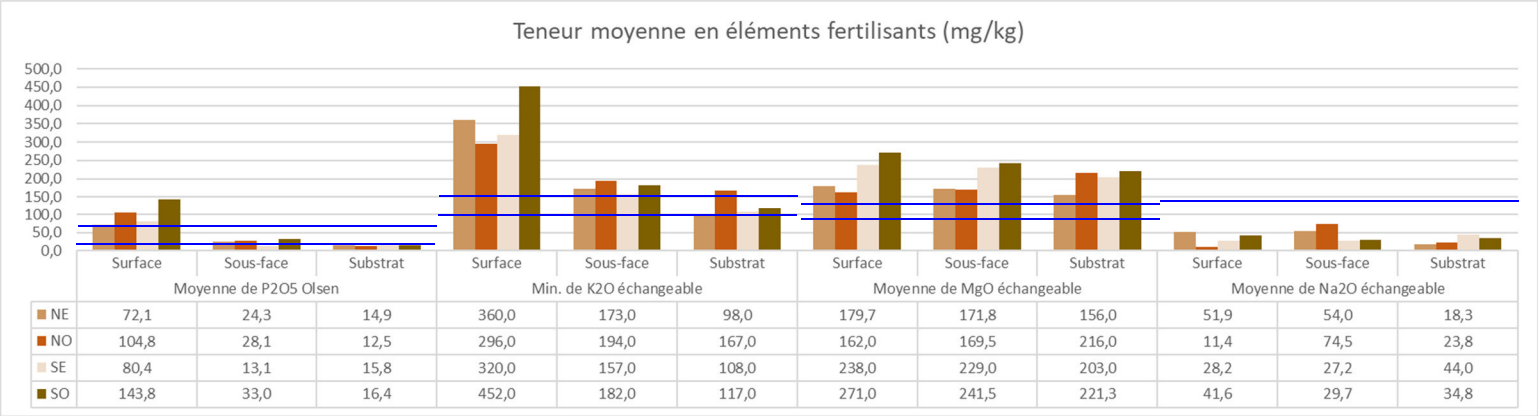


	Surface	Sous-face	Substrat
NE	0,13	0,06	0,05
NO	0,14	0,06	0,05
SE	0,13	0,06	0,03
SO	0,13	0,06	0,03

Les graphes suivants présentent les teneurs en éléments nutritifs : phosphore assimilable (P_2O_5), Potassium et magnésium échangeables (K_2O et MgO). Pour ces éléments, la teneur impasse indicative correspond en contexte agronomique à la teneur au-dessus de laquelle un apport (fertilisation) n'est pas nécessaire en conditions de culture standard. Au contraire, en-dessous de la teneur renforcement, un apport d'éléments fertilisants est justifié pour des objectifs de cultures ou plantations (excepté pour le sodium, seuil indicatif maximum).

Les horizons de surface sont tous suffisamment pourvus en éléments nutritifs, compte tenu de la bonne capacité d'échanges cationiques et des pratiques culturales. Des impasses en fertilisation peuvent être favorisées compte tenu des valeurs élevées constatées, qui sont en tendance supérieures aux valeurs médianes cantonales (données GISSOL).

Les lignes bleues sur les graphiques symbolisent les seuils de renforcement et d'impasse.



	Surface	Sous-face	Substrat	Surface	Sous-face	Substrat	Surface	Sous-face	Substrat	Surface	Sous-face	Substrat
	Moyenne de P2O5 Olsen			Min. de K2O échangeable			Moyenne de MgO échangeable			Moyenne de Na2O échangeable		
NE	72,1	24,3	14,9	360,0	173,0	98,0	179,7	171,8	156,0	51,9	54,0	18,3
NO	104,8	28,1	12,5	296,0	194,0	167,0	162,0	169,5	216,0	11,4	74,5	23,8
SE	80,4	13,1	15,8	320,0	157,0	108,0	238,0	229,0	203,0	28,2	27,2	44,0
SO	143,8	33,0	16,4	452,0	182,0	117,0	271,0	241,5	221,3	41,6	29,7	34,8

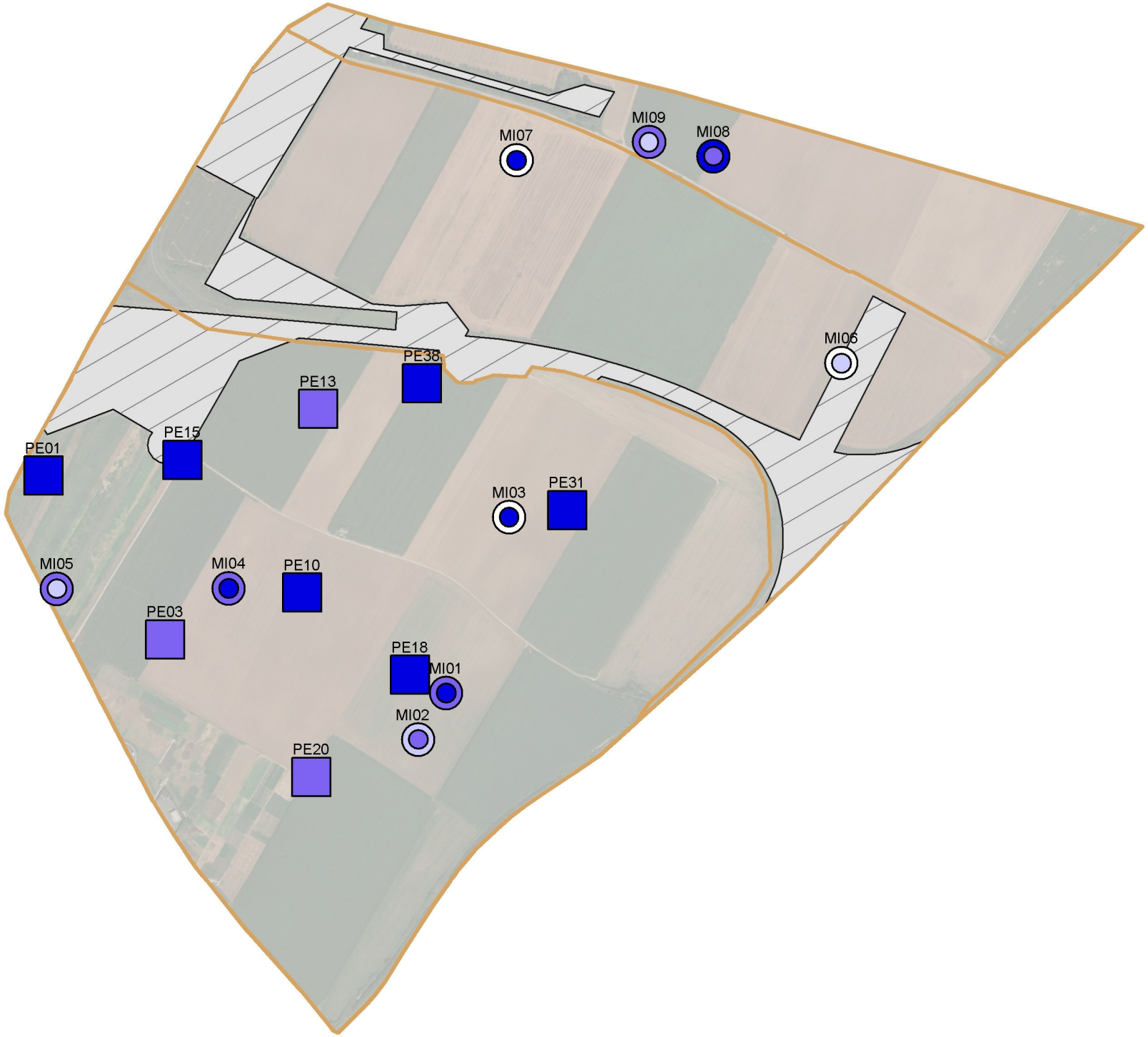
3.4.3 Perméabilité in situ

Les valeurs de perméabilité sont mesurées à différentes profondeurs : -30cm et -50cm (méthode Guelph, Sol Paysage) et -150cm (essai Matsuo, Abrotec).

Les valeurs mesurées sont assez variables, comprises entre 10^{-7}m/s (sol peu perméable) et 10^{-4}m/s (sol perméable), sans répartition spatiale significative.

La tendance constatée est une forte variabilité en surface, comprise entre 10^{-7} et 10^{-4}m/s, s'expliquant principalement par les différences de structure entre la macroporosité induite par les pratiques culturales (labour hivernal), et les mottes, agrégats, semelles de labour, présentant une compacité supérieure. La perméabilité est plus stable et plus élevée en sous-face sous la semelle de labour, de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-4} m/s en profondeur à -1,5m dans la roche-mère altérée poreuse (loess ou marno-calcaire).

Cette tendance confirme le caractère plutôt filtrant des sols, avec une sensibilité au tassement des horizons pédologiques limono-argileux pouvant induire localement une diminution de la porosité et de la capacité d'infiltration, comme en témoigne une tendance légère à l'hydromorphie.



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

K SURFACE à -30cm sur tarière manuelle, en m/s (Coefficient de perméabilité)

- Très peu perméable : 0 à 4,60e-007
- Peu perméable : 4,61e-007 à 4,60e-006
- Assez perméable : 4,61e-006 à 3,00e+004
- NA

K SOUS-FACE à -50cm sur tarière manuelle, en m/s (Coefficient de perméabilité)

- 0,00e+000 - 4,60e-007
- 4,61e-007 - 4,60e-006
- 4,61e-006 - 3,00e+004

K SOUS-FACE à -150cm sur pelle mécanique [essai Matsuo], en m/s (Coefficient de perméabilité, données Abrotec)

- 0,00e+000 - 4,60e-007
- 4,61e-007 - 4,60e-006
- 4,61e-006 - 3,00e+004
- Anthroposols

0 50 100 200 300 Mètres

N

Echelle de tracé 1:12 000

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085

Carte thématique

Version 1.0 - Vue globale

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

Date: 23/04/2018

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

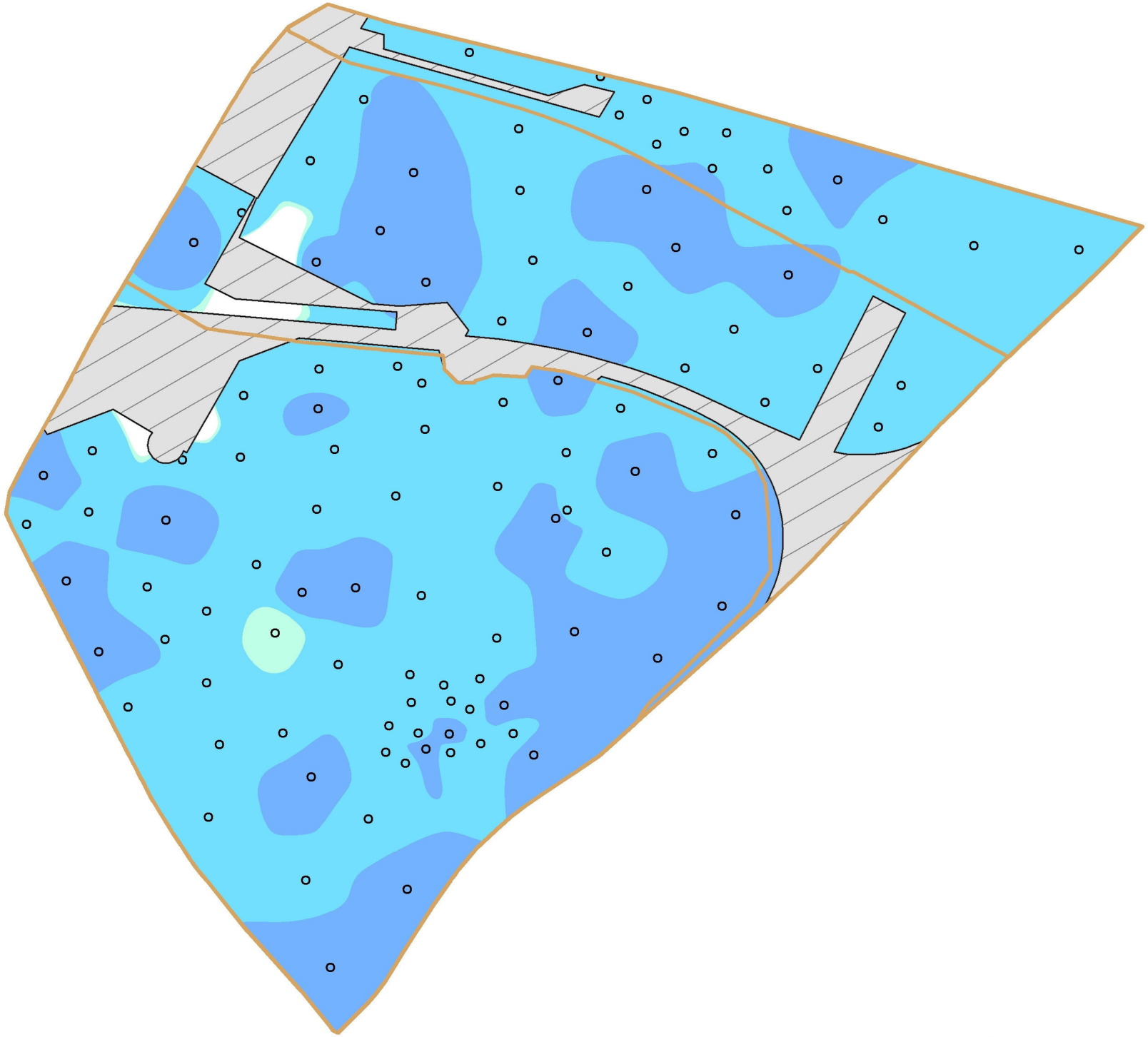
3.4.4Réserve Utile Maximale

La réserve hydrique est estimée selon la méthode de Jamagne (voir 2.4).

La proportion d'éléments grossiers appliquée pour l'ensemble des horizons est de 15%, en considérant la réserve utile nulle dans la fraction grossière. L'épaisseur considérée est l'épaisseur cumulée des horizons pédologiques prospectables à savoir les horizons LA, S, E et BT, à l'exception des horizons d'altération C, et dans la limite de 1m de profondeur maximale.

La réserve utile moyenne est globalement élevée sur l'ensemble de l'emprise, comprise entre 140 et 160mm d'eau par mètre de sol, du fait d'une texture de surface et de sous-face limoneuse à limono-argileuse, homogène et favorable à la rétention hydrique.

La réserve utile totale ramenée à l'épaisseur de sol considérée comme exploitable varie entre environ 50mm et 160mm, en négligeant la capacité de rétention de l'horizon d'altération. En tendance le secteur Est présente une réserve utile totale plus faible compte tenu d'une épaisseur de sol inférieure en moyenne.



Réserve utile maximale moyenne en mm/m de sol

- NA
- 121 - 130
- 131 - 150
- 151 - 175
- 176 - 200
- Anthroposols

0 50 100 200 300 Mètres

N

Echelle de tracé 1:12 000

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085

Carte thématique

Version 1.0 - Vue globale

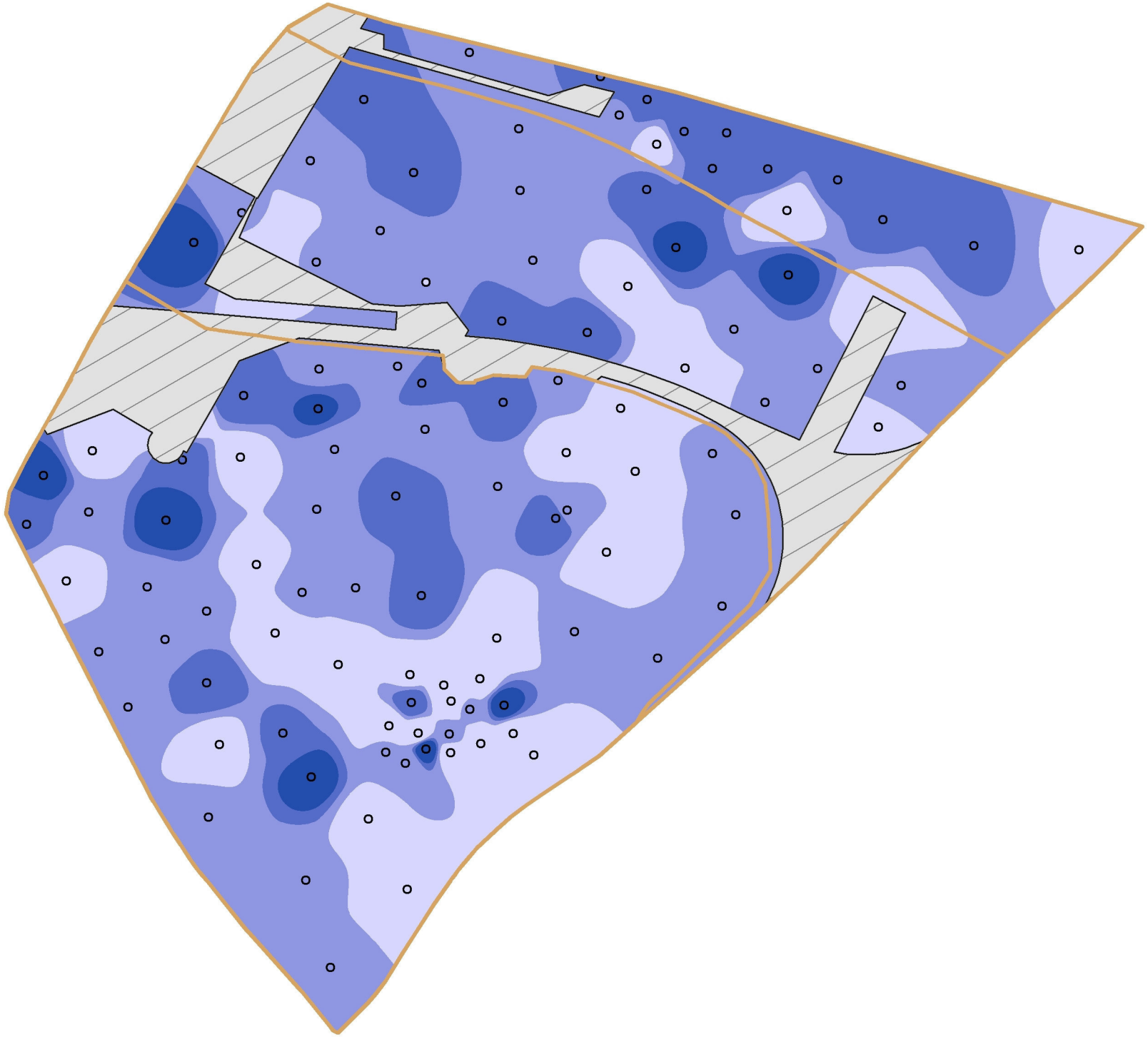
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

Date: 23/04/2018

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

grandparis aménagement



Réserve utile maximale totale en mm

- < 100
- 101 - 130
- 131 - 150
- 151 - 175
- 176 - 200
- Anthroposols

0 50 100 200 300 Mètres

N

Echelle de tracé 1:12 000

GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

Triangle de Gonesse 15085

Carte thématique

Version 1.0 - Vue globale

Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery

Date: 23/04/2018

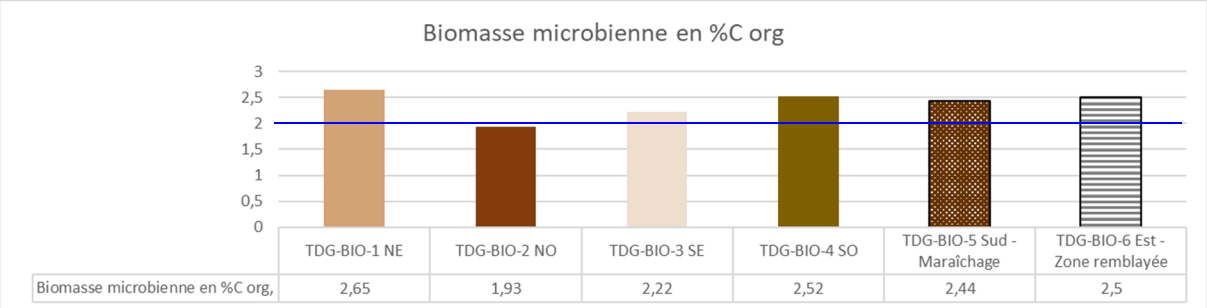
Sol Paysage
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

3.4.5 Mesures d'activité biologique

Les zones de prélèvement des échantillons soumis à analyses biologiques sont illustrées sur la carte d'implantation en partie 2.1. Plusieurs paramètres sont mesurés pour caractériser l'activité biologique du sol tels que : l'évaluation de la biomasse microbienne, la proportion des fractions stables/labiles de la matière organique ainsi que l'évaluation annuelle de la minéralisation du carbone et de l'azote organique.

Pour l'ensemble de ces paramètres biologiques, les facteurs d'influence sont l'environnement physique (structure du sol, hydromorphie…), chimique (pH, calcaire…) et/ou l'occupation des sols (pratiques culturales, couvert végétal, apports organiques…).

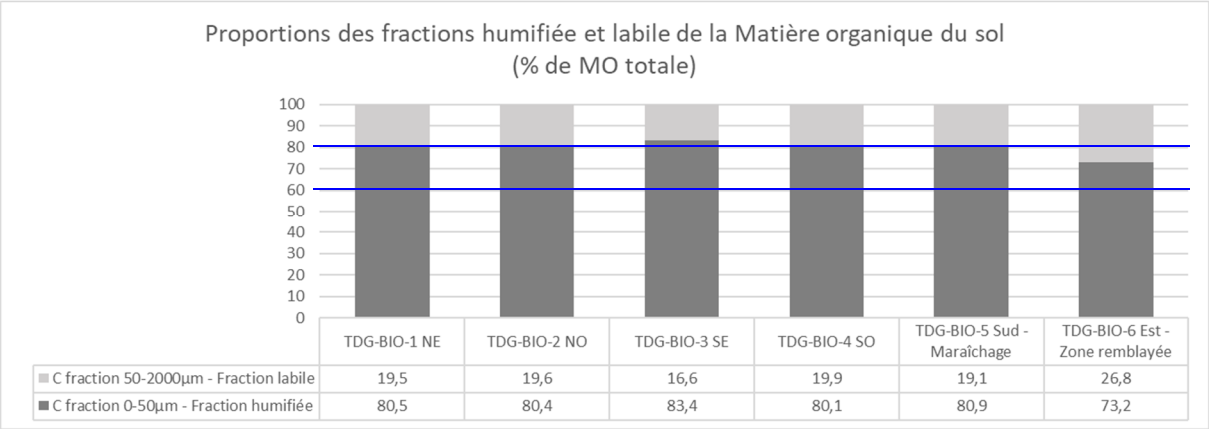
La biomasse microbienne représente la quantité de micro-organismes présents dans le sol (principalement bactéries et champignons) à un instant T. Elle s'exprime en % de carbone organique et témoigne d'un bon potentiel d'activité biologique du sol lorsque la valeur est comprise entre 2 et 4% du carbone organique. Les résultats ci-dessous indiquent un potentiel globalement satisfaisant de recyclage de la matière organique par les micro-organismes (entre 1,9 et 2,65% de carbone organique) pour l'ensemble des surfaces de sols de grandes cultures, d'agriculture maraîchère et des zones remblayées.



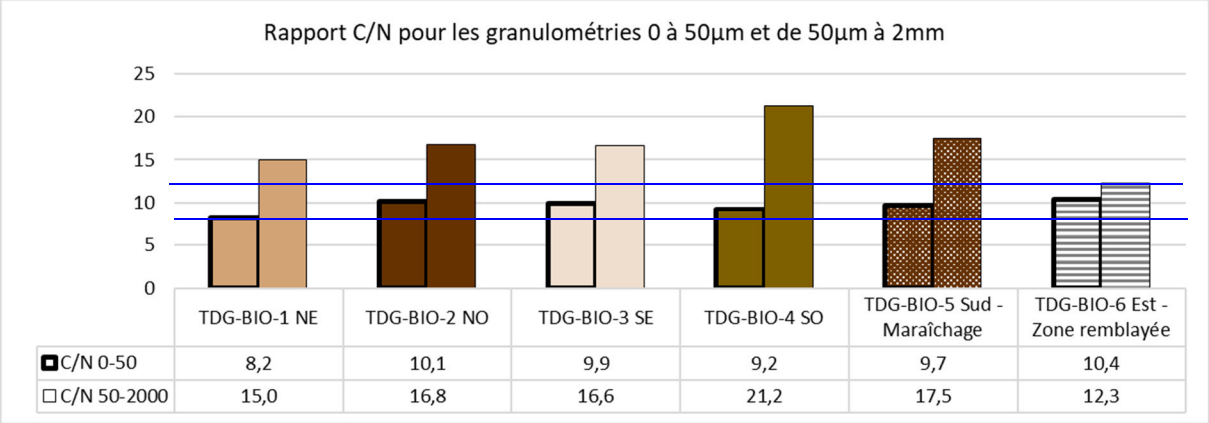
	TDG-BIO-1 NE	TDG-BIO-2 NO	TDG-BIO-3 SE	TDG-BIO-4 SO	TDG-BIO-5 Sud - Maraîchage	TDG-BIO-6 Est - Zone remblayée
Biomasse microbienne en %C org,	2,65	1,93	2,22	2,52	2,44	2,5

La mesure des proportions de fractions humifiée et labile permet de caractériser le fonctionnement du cycle de la matière organique. La fraction labile (granulométries comprises entre 50µm et 2mm) constitue le pool de matière organique soumis à une minéralisation relativement rapide à l'origine de la restitution d'éléments minéraux aux végétaux. La fraction humifiée (granulométries inférieures à 50µm), aussi appelée humus stable est issue du processus beaucoup plus lent d'humification qui permet de stocker les composés organiques sous des formes stables dans le sol. Ces composés jouent un rôle important dans la structure du sol et le stockage des nutriments à travers le complexe argilo-humique. Une valeur de la fraction humifiée comprise entre 60 et 80% de la matière organique totale rend compte d'un bon équilibre entre les 2 fractions. Pour chaque fraction, le C/N rend compte de la vitesse de dégradation de la matière organique (<8 : vitesse élevée ; >12 : vitesse lente).

La proportion de la fraction humifiée apparaît dans l'ensemble assez élevée (≥80%) à l'exception de la zone remblayée qui montre un résultat équilibré (73%). Le potentiel de dégradation de la MO du sol est modéré. Ce résultat est corrélé à un C/N de la fraction labile assez élevé traduisant une vitesse de minéralisation de la matière organique faible (C/N fraction labile 50-2000µm > 12). Ce résultat est lié à la faible restitution organique au sol dans les pratiques de grandes cultures, en particulier de matière organique fraîche facilement dégradable (le principal retour organique concerne les chaumes de céréales qui présentent un C/N relativement élevé).
Au droit de la zone remblayée en revanche, la fraction labile est plus élevée et sa minéralisation satisfaisante (C/N proche de 12) en lien avec une végétation à l'état de friche ne subissant pas d'export de biomasse.

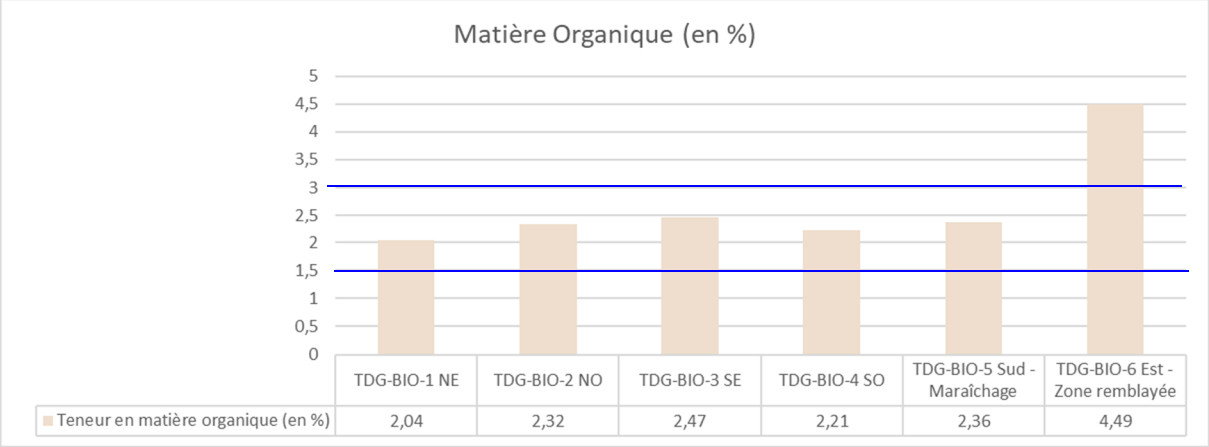


	TDG-BIO-1 NE	TDG-BIO-2 NO	TDG-BIO-3 SE	TDG-BIO-4 SO	TDG-BIO-5 Sud - Maraîchage	TDG-BIO-6 Est - Zone remblayée
C fraction 50-2000µm - Fraction labile	19,5	19,6	16,6	19,9	19,1	26,8
C fraction 0-50µm - Fraction humifiée	80,5	80,4	83,4	80,1	80,9	73,2



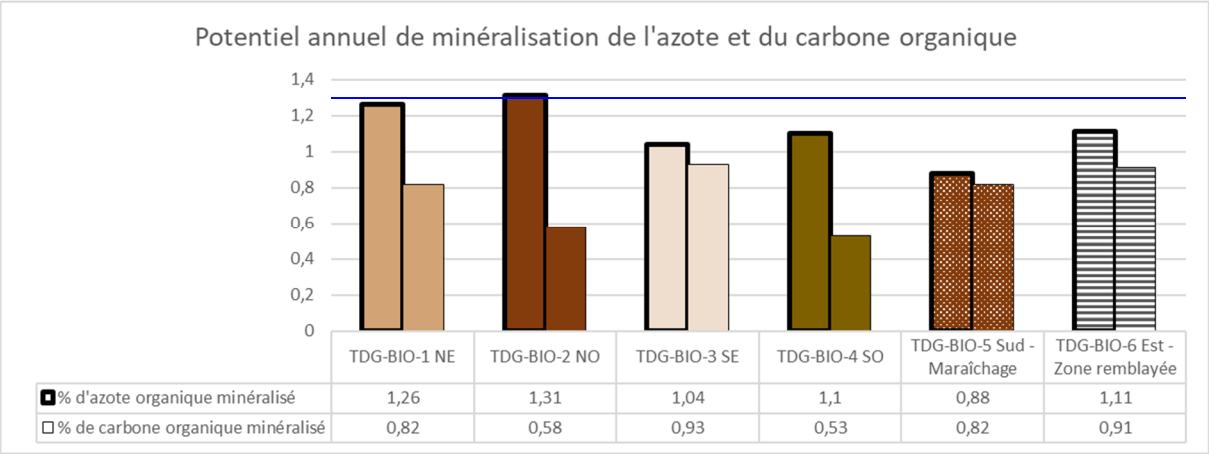
	TDG-BIO-1 NE	TDG-BIO-2 NO	TDG-BIO-3 SE	TDG-BIO-4 SO	TDG-BIO-5 Sud - Maraîchage	TDG-BIO-6 Est - Zone remblayée
C/N 0-50	8,2	10,1	9,9	9,2	9,7	10,4
C/N 50-2000	15,0	16,8	16,6	21,2	17,5	12,3

En effet, comprise entre 1,5 et 3% pour les échantillons des parcelles agricoles exploitées en grandes cultures et maraîchage, la teneur en matière organique apparaît largement supérieure (4,5%) pour la zone remblayée enfrichée.



	TDG-BIO-1 NE	TDG-BIO-2 NO	TDG-BIO-3 SE	TDG-BIO-4 SO	TDG-BIO-5 Sud - Maraîchage	TDG-BIO-6 Est - Zone remblayée
Teneur en matière organique (en %)	2,04	2,32	2,47	2,21	2,36	4,49

Le potentiel annuel de minéralisation de l'azote et du carbone organique est satisfaisant dans le cas de grandes cultures s'il est compris entre 1,3% et 2% d'azote/carbone organique. Il rend compte de l'activité biologique réelle des micro-organismes dans le sol. Les quantités d'azote et de carbone minéralisé restitué par le sol au cours d'une année sont donc faibles sur le site (<1,3%). Cette faible activité biologique s'explique par des valeurs de biomasses microbiennes moyennes couplées à des teneurs en matière organique modérées et une fraction labile en tendance faible et difficilement dégradable.



	TDG-BIO-1 NE	TDG-BIO-2 NO	TDG-BIO-3 SE	TDG-BIO-4 SO	TDG-BIO-5 Sud - Maraîchage	TDG-BIO-6 Est - Zone remblayée
% d'azote organique minéralisé	1,26	1,31	1,04	1,1	0,88	1,11
% de carbone organique minéralisé	0,82	0,58	0,93	0,53	0,82	0,91

Les résultats concernant la **nématofaune** indiquent globalement une **bonne activité biologique** des sols avec cependant des signes de perturbations du milieu sur certains échantillons : pression parasitaire sur le blé pour la zone Nord-Ouest et Sud-Est des parcelles agricoles ; faible diversité fonctionnelle pour la zone Nord-Est et la zone remblayée. La zone Sud-Ouest et la zone de maraîchage présentent les résultats les plus satisfaisants.

L'ensemble des résultats d'analyses biologiques sont présentés en annexe.

3.4.6Synthèse agropédologique

Le tableau ci-après synthétise les atouts et contraintes agropédologiques identifiés à l'état initial du site à partir de l'interprétation des données d'observations et d'analyses.

Le bilan agropédologique est globalement favorable à très favorable, avec des contraintes ponctuelles ou limitées.

Critères agropédologiques	Atouts	Contraintes
Physiques	- Profondeur de sol assez élevée en moyenne - Quasi absence d'éléments grossiers (cailloux) en surface et sous face - Porosité assez favorable sur toute l'épaisseur de sol, pas d'effet de semelle de labour - Très faible proportion de sols remaniés / remblayés	- Sol moins profond dans certains secteurs - Sensibilité générale à la battance en surface en cas de sol nu - Légère tendance à la compacité en sous-face (horizon d'accumulation)
Hydriques	- Forte Réserve Utile Maximale - Sol non hydromorphe en surface - Perméabilité en moyenne modérée, favorable au ressuyage et à la rétention hydrique : faible besoin de drainage et d'arrosage	- Réserve Utile plus réduite sur certains secteurs en fonction de la profondeur de sol - Perméabilité variable en surface du fait des pratiques culturales - Légère hydromorphie en profondeur
Chimiques	- Capacité d'échanges cationiques élevée - Teneurs élevées à très élevées en éléments nutritifs : azote, phosphore, potassium, magnésium - Calcaire total faible en surface - pH non acide	- pH élevé et calcaire total élevé en profondeur, potentiellement défavorables pour des végétaux calcifuges
Biologiques	- Teneur en matière organique assez élevée en surface pour un contexte de grande culture	- Pas d'observation de lombrics sur les profils pédologiques

	-Teneur en biomasse microbienne modérée et assez bonne diversité biologique des sols agricoles (basé sur l'analyse de la nématofaune)	- Faible enracinement, faible activité biologique compte tenu de l'absence de couvert végétale pérenne -Processus de minéralisation modéré car défaut de restitution organique au sol. Diversité biologique nématofaune faible sur sols remblayé, et présence d'une espèce nuisible dans le cas de grandes cultures.

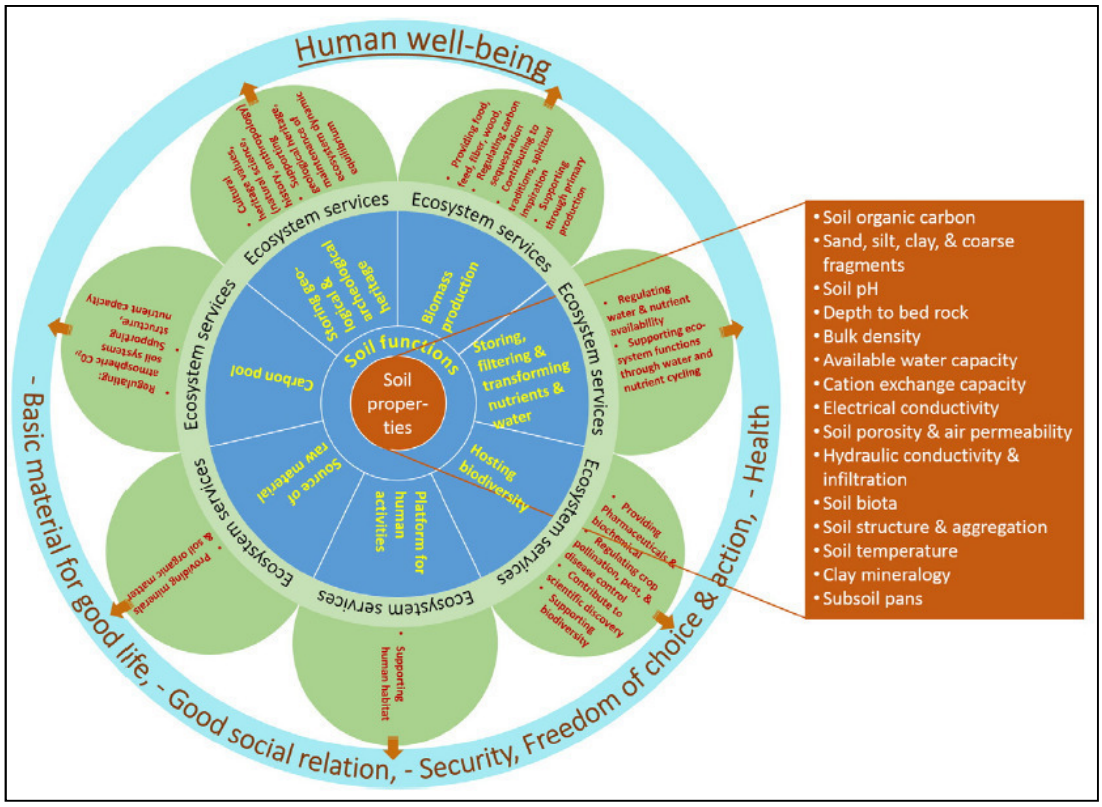
4 Services écosystémiques et fonctions des sols

4.1 Principes généraux

Les services écosystémiques représentent les bénéfices offerts aux sociétés humaines par les écosystèmes. L'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire distingue quatre catégories de services : les services d'approvisionnement, les services de régulation, les services de soutien, et les services culturels.

Les fonctions écologiques sont les processus naturels de fonctionnement et de maintien des écosystèmes, qui produisent ces services.

Les services écosystémiques rendus par les sols, listés dans le schéma ci-dessous, sont produits par les fonctions des sols, elles-mêmes résultant des propriétés physiques, hydriques, chimiques et biologiques des sols.



Services écosystémiques rendus par les sols

Source : Kabindra, A., Hartemink, AE., 2015. Linking soils to ecosystem services–A global review.Geoderma

A l'échelle du projet d'aménagement de la ZAC du Triangle de Gonesse, l'enjeu est de répondre aux attentes exprimées lors du débat public et de la concertation réglementaire, portant sur l'évaluation de la qualité environnementale des sols actuels, notamment les questions suivantes :

- *« Quelle qualité agronomique des sols sur le périmètre du projet ?*
- *Quelle qualité des sols comme supports de biodiversité ?*
- *Quelle capacité de ces sols à stocker le carbone ?*
- *Quel rôle dans la régulation climatique et hydrologique ? »*

Il s'agit de qualifier l'état actuel des sols mais également d'alimenter la réflexion sur les mesures de compensation au titre des services écosystémiques rendus aujourd'hui par les sols du Triangle de Gonesse.

L'évaluation des services écosystémiques rendus par les sols impliquerait une évaluation socio-économique à l'échelle du territoire et auprès des usagers et bénéficiaires directs et indirects des services rendus.

Dans le cadre de la présente étude pédologique, il est ainsi proposé d'évaluer à l'état initial les fonctions environnementales suivantes des sols, associées aux services écosystémiques listés dans le tableau ci-après, et de les comparer à l'état projeté après aménagement de la ZAC :

Fonction du sol	Sous-fonction	Services écosystémiques associés
Fertilité	1. Aptitude agronomique à la production de biomasse	Support de production alimentaire, biomasse énergie, matériaux de construction
	2. Aptitude à l'implantation d'une trame végétale pérenne et diversifiée	Habitats et continuités écologiques pour la faune, services récréatifs, régulation climatique (îlot de chaleur)
Biodiversité	3. Biodiversité du sol : quantité et diversité d'organismes vivants du sol	Régulation des cultures (production alimentaire), protection de la ressource en eau
Régulation hydrologique	4. Infiltration des eaux pluviales de surface	Limitation des risques et contraintes associés au ruissellement : inondations, ouvrages de régulation, etc.
	5. Rétention hydrique du sol	Soutien et régulation hydrologique, protection de la nappe et des cours d'eau
Filtration biogéochimique	6. Fixation ou dégradation des polluants de surface (nitrates, phosphates)	Protection de la qualité de la ressource en eau

Stockage de carbone	7. Stockage du carbone organique dans le sol	Limitation des gaz à effet de serre

Fonctions évaluées dans l'étude et services écosystémiques associés (Sol Paysage)

4.2 Méthode d'évaluation

Des indicateurs sont proposés pour l'évaluation des fonctions environnementales des sols. La méthode d'évaluation est issue de réflexions et travaux scientifiques visant à établir des indicateurs fiables et reproductibles, couvrant une large gamme de sols. On peut citer notamment le projet UQUALISOL-ZU : Préconisation d'utilisation des sols et qualité des sols en zone urbaine et péri-urbaine, CNRS / laboratoire CEREGE et ECCOREV.

Une méthode spécifique est ici développée par Sol Paysage et adaptée à l'échelle et aux spécificités du site, permettant d'intégrer les données de terrain afin de définir des niveaux d'indicateurs simples et reproductibles.

Chaque fonction est évaluée selon un indicateur synthétique de 0 à 4, intégrant l'évaluation qualitative ou quantitative de plusieurs paramètres pédologiques définissant la fonction. Les paramètres pédologiques sont évalués à partir de l'ensemble des investigations, reprises dans le tableau ci-dessous.

	Fonction	**Fertilité**		**Biodiversité**	**Régulation hydrologique**		**Filtration biochimique**	**Stockage de carbone**
	Sous-fonction	**1. Aptitude à la production de biomasse**	**2. Aptitude à l'implantation d'une trame verte**	**3. Biodiversité du sol**	**4. Infiltration des eaux pluviales**	**5. Rétention hydrique du sol**	**6. Fixation ou dégradation des polluants**	**7. Stockage du carbone organique dans le sol**
Type d'investigations	**Paramètres / Indicateurs**	Réserve utile, structure, état organique, capacité nutritive	Réserve utile, capacité nutritive, diversité des milieux	Porosité, matière organique, biomasse	Occupation du sol, infiltrabilité et porosité de surface	Profondeur de sol, porosité et perméabilité, hydromorphie	Texture, matière organique, profondeur de sol	matière organique, état humique
Environnement, occupation du sol				X	X		X	X
Profils pédologiques sur fosse		X	X	X	X	X	X	X
Sondages pédologiques tarière		X	X		X	X	X	
Analyses physico-chimiques laboratoire		X	X	X			X	X
Analyses biologiques		X		X				
Mesures d'infiltration		X	X		X	X	X	

Sous-fonctions évaluées, paramètres et type d'investigations associées (Sol Paysage)

Note synthétique	Fonction
0	Nulle
1	Faible
2	Modérée
3	Assez élevée
4	Très élevée

Notes synthétiques d'indicateurs des fonctions

Des cartes thématiques sont produites pour chaque fonction à l'état initial. L'objectif est d'appliquer la même méthode pour l'estimation des fonctions des sols à l'état projeté, à partir de l'intégration du plan masse du projet. Les fonctions projetées sont estimées à partir de la typologie d'espaces futurs : bâti, infrastructures, parcelles agricoles maintenues, espaces paysagers plantés ou en prairie permanente, ouvrages hydro-écologiques, etc.

Les surfaces de chaque niveau d'indicateur synthétique sont déterminées et comparées entre état initial et état final, afin d'évaluer pour chaque fonction et chaque secteur de la ZAC le niveau de dégradation, de préservation ou d'amélioration des fonctions des sols. Le bilan surface x fonction dégradée ou améliorée permet d'établir une synthèse de l'évaluation de la qualité des sols pour l'ensemble du périmètre de ZAC.

Remarque : La démarche vise à témoigner des spécificités du site, dans un objectif d'état initial, de suivi et d'évaluation des impacts du projet d'aménagement. Elle n'a pas de vocation à être reproduite à l'identique dans d'autres contextes régionaux ou nationaux, notamment du fait du choix et pondération des paramètres et indicateurs adaptés au site.

4.3 Définition des fonctions évaluées

4.3.1 Fertilité : aptitude à la production de biomasse

La fonction de fertilité agronomique caractérise la capacité du sol à être support de culture, répondant aux exigences agronomiques de grandes cultures et de cultures maraîchères.

L'enjeu est l'aptitude à adresser des cultures diversifiées, à haut rendement et/ou valeur ajoutée. Le service écosystémique associé est la production alimentaire ou de biomasse. Ce service est actuellement reconnu comme majeur pour les sols du triangle de Gonesse à l'échelle de l'Ile de France.

Les paramètres pédologiques déterminants cette fonction sont l'état organique et chimique de surface (matière organique, azote, capacité d'échanges cationiques, éléments majeurs), pH, structure et réserve hydrique de surface et sous face. Ces caractéristiques déterminent Pour la levée des semis, développement racinaire, croissance optimale pour production de biomasse en limitant toute carence.

Bilan atouts/contraintes agronomiques : voir partie 3.4.6

4.3.2 Fertilité : aptitude à l'implantation d'une trame verte

Cette fonction définit l'aptitude à l'implantation et au développement d'une végétation pérenne associée aux services paysagers et écologiques : espaces verts, corridors écologiques, etc. pouvant associer une diversité de strates, d'espèces et/ou d'habitats.

Cette fonction se différencie de la fonction d'aptitude à la production, car l'objectif n'est pas le rendement en termes de biomasse produite mais uniquement le développement et le maintien d'un couvert végétal pérenne.

Les éléments pédologiques déterminants sont plutôt des critères physiques, hydriques et biologiques : profondeur de sol, structure et réserve hydrique en surface, sous face et également en profondeur pour l'enracinement des espèces arborées à moyen et long terme, l'activité biologique.

Remarque : la fonction vise ici l'aptitude à l'implantation d'une trame verte et d'une biodiversité ordinaire, et non patrimoniale (espèces rares/protégées, habitats écologiques de milieux spécifiques pauvre/pionnier, humide, sec, etc.

De même il ne s'agit pas d'évaluer ici la qualité de la trame verte et du couvert végétal en tant que tel (approche écologique et paysagère), mais bien l'aptitude c'est-à-dire le potentiel du sol.

4.3.3 Biodiversité du sol

Il s'agit de la fonction d'accueil d'un écosystème complet du sol associant micro et macro-organismes : bactéries, champignons, micro et macro-invertébrés (acariens, collemboles, cloportes, vers de terre, etc.). Cette biodiversité du sol permet l'activité biologique, support du cycle de la matière organique dans le sol par fragmentation, dégradation et minéralisation des débris végétaux ; elle est également favorable à la structuration du sol et aux autres fonctions environnementales notamment cycle de l'eau et filtration biochimique.

Les paramètres déterminants sont la teneur en matière organique, la porosité et la structure, le couvert végétal. L'activité biologique est évaluée directement à partir de bioindicateurs du sol : quantification et qualification des nématodes, mesure de la biomasse microbienne totale, quantification de la respiration microbienne, inventaire de lombriciens, etc.

L'analyse biologique de l'état initial des sols sera intégrée dans une version ultérieure du rapport, prévoyant une mise à jour du plan Mass projet. La fonction est à ce stade estimée à partir de paramètres pédologiques et d'occupation du sol.

Compte tenu des pratiques culturales (terres majoritairement labourées annuellement), le réservoir de biodiversité actuel est estimé assez faible. Les pratiques les plus favorables au développement de la biodiversité du sol sont le maintien d'un couvert végétal permanent et l'absence de travail du sol (système prairie / strate ligneuse permanente).

4.3.4 Régulation hydrologique : infiltration des eaux pluviales

La fonction hydrologique du sol comprend plusieurs aspects, le sol étant le compartiment tampon à l'interface entre l'atmosphère, la biosphère et les masses d'eau souterraines ou réseau hydrographique de surface.

La première sous-fonction évaluée est la capacité d'infiltration de l'eau pluviale en surface ; Les enjeux et services écosystémiques associés sont la limitation du ruissellement de surface, des risques associés d'érosion ou d'inondation et des besoins de stockage d'eau pluviale lors d'événements exceptionnels. Elle contribue au rechargement des nappes et au soutien du réseau hydrographique.

Les paramètres pédologiques déterminants sont l'infiltrabilité de surface (mesurée au perméamètre), en lien avec la structure et la porosité de surface, la granulométrie, le couvert végétal.

4.3.5 Régulation hydrologique : rétention hydrique des sols

La deuxième sous-fonction hydrologique est la capacité de rétention hydrique des sols et le pouvoir tampon. Les enjeux sont le ralentissement des flux, la filtration et le rechargement des nappes, le soutien des réseaux hydrographiques notamment en période d'étiage, et le maintien d'une disponibilité en eau du sol en période sèche, pour le développement du couvert végétal et de l'activité biologique. Cette fonction est significative notamment en sol de zones humides.

Les paramètres déterminants sont la texture et la structure du sol, la perméabilité de sous-face et en profondeur, qui se traduisent par les indicateurs de réserve hydrique totale et réserve utile.

4.3.6 Filtration biogéochimique : fixation ou dégradation des polluants

La fonction de filtration biogéochimique correspond à la capacité du sol à épurer les eaux de ruissellement et d'infiltration. En contexte agricole, la fonction porte notamment sur les ortho-phosphates et en nitrates potentiellement lessivables par ruissellement ou infiltration.

L'enjeu est sanitaire et environnemental, pour la protection de nappe souterraine, captage d'eau potable et la limitation de l'eutrophisation de milieu en aval.

Dans d'autres contextes notamment en sol urbain, la fonction porte sur la fixation et dégradation de polluants organiques (résidus hydrocarbures) ou la fixation et stabilisation de polluants métalliques dans le sol.

Les paramètres déterminants de la fonction biochimique sont la texture fine du sol notamment le taux d'argile, le taux de matière organique et sa stabilité, la profondeur de sol, le couvert végétal et l'activité biologique.

4.3.7 Stockage de carbone organique dans les sols

La fonction de stockage de carbone constitue la capacité du milieu à produire de la matière organique et à l'accumuler et la stocker dans le sol.

L'enjeu est la réduction des gaz à effet de serre et la lutte contre le réchauffement climatique, par la limitation du CO2 atmosphérique.

La diminution des teneurs en matière organique des sols est actuellement un enjeu global préoccupant, lié à l'absence de protection des sols et leur érosion, à la suppression de couvert végétal pérenne, à des systèmes de cultures ne favorisant par la restitution organique au sol (grandes cultures avec exportation des résidus type pailles, etc.).

Cette fonction est donc dépendante du couvert végétal, du relief et d'autres paramètres (type : export de biomasse, condition anoxique…)

La fonction « puits de carbone » est évaluée par la mesure de teneur en matière organique, sa caractérisation (fractionnement, vitesse de minéralisation). Les autres critères déterminants sont le couvert végétal et le fonctionnement de l'humus, les pratiques culturales, le niveau d'hydromorphie et d'activité biologique.

4.4 Coefficients d'indicateurs et fonctions

Un ensemble de **24 paramètres pédologiques et d'occupation du sol** est utilisé pour l'évaluation des fonctions, listé ci-dessous. Ces paramètres sont caractérisés dans l'état initial pédologique et environnemental de l'emprise de la ZAC (voir parties précédentes).

Une échelle de quantification de chaque paramètre est établie de 0 à 4 selon la grille suivante. Les classes proposées correspondent aux valeurs ou états couvrant la diversité pédologique possible.

Indicateur	0	1	2	3	4
Absence de relief (pente, position)	pente élevée, relief irrégulier	pente assez élevée, relief assez irrégulier	pente moyenne	pente faible	pente nulle
Imperméabilisation de surface	Non imperméabilisé	Imperméabilisé	/	/	/
Couvert végétal (% de couverture et type)	sol nu ou imperméabilisé	couvert temporaire	couvert peu dense	couvert assez dense assez diversifié	couvert dense, diversifié
Pratiques culturales (historique de travail du sol, amendement,...)	pas d'amélioration du sol	amélioration ancienne	travail irrégulier	travail annuel non adapté	travail annuel adapté
Profondeur de sol	sol imperméabilisé ou absent	<0,6m	0,6 à 0,8m	0,8 à 1m	>1m
Structure et porosité de surface	structure fermée, porosité nulle	structure massive ou lamellaire, porosité faible	structure polyédrique dégradée, porosité fine	structure polyédrique, macroporosité visible	structure grumeleuse ou particulaire à forte macroporosité
Structure et porosité de sous-face	structure fermée, porosité nulle	structure massive ou lamellaire, porosité faible	structure polyédrique dégradée, porosité fine	structure polyédrique, macroporosité visible	structure grumeleuse ou particulaire à forte macroporosité
Structure et porosité profonde	structure fermée, porosité nulle	structure massive ou lamellaire, porosité faible	structure polyédrique dégradée, porosité fine	structure polyédrique, macroporosité visible	structure grumeleuse ou particulaire à forte macroporosité
Engorgement de surface / sous-face (hydromorphie)	absence de traits d'hydromorphie	rares traits rédoxiques	horizon rédoxique	horizon rédoxique, traits dominants	horizon réductique
Engorgement profond (hydromorphie)	absence de traits d'hydromorphie	rares traits rédoxiques	horizon rédoxique	horizon rédoxique, traits dominants	horizon réductique
Infiltrabilité de surface	K <10-8m/s	10-8 < K < 10-7m/s	10-7 < K < 10-6m/s	10-6 < K < 10-5m/s	K > 10-5m/s
Perméabilité de sous-face	K <10-8m/s	10-8 < K < 10-7m/s	10-7 < K < 10-6m/s	10-6 < K < 10-5m/s	K > 10-5m/s
Perméabilité profonde	K <10-8m/s	10-8 < K < 10-7m/s	10-7 < K < 10-6m/s	10-6 < K < 10-5m/s	K > 10-5m/s
Equilibre granulométrie fine en surface (argile)	argile lourde A > 40%	texture argilo-limoneuse ou argileuse 35 < A < 40%	texture argilo-limoneuse 30 < A < 35%	texture limono-argileuse 25 < A < 30%	texture équilibrée ou peu argileuse A < 25%
Equilibre granulométrie fine en profondeur (argile)	argile lourde A > 40%	texture argilo-limoneuse ou argileuse 35 < A < 40%	texture argilo-limoneuse 30 < A < 35%	texture limono-argileuse 25 < A < 30%	texture équilibrée ou peu argileuse A < 25%
Equilibre granulométrie grossière en surface (sable / cailloux)	sol grossier ou sable S > 80%	texture sableuse 65 < S < 80%	texture sablo limoneuse ou argileuse 50 < S < 65%	texture limono-sableuse 35 < S < 50%	texture équilibrée ou peu sableuse S < 35%
Equilibre granulométrie grossière en profondeur (sable / cailloux)	sol grossier ou sable S > 80%	texture sableuse 65 < S < 80%	texture sablo limoneuse ou argileuse 50 < S < 65%	texture limono-sableuse 35 < S < 50%	texture équilibrée ou peu sableuse S < 35%
Réserve utile	RUM < 60mm	60 < RUM < 100mm	100 < RUM < 140mm	140 < RUM < 180mm	RUM > 180mm
Matière organique de surface	MO < 1%	1 < MO <1,5%	1,5 < MO < 2%	2 < MO < 3%	MO > 3%
pH, calcaire de surface / sous-face	pH < 6 sol acide	6 < pH < 6,5 sol légèrement acide	6,5 < pH < 7 sol neutre, non calcaire	7 < pH < 8 sol légèrement calcaire	pH > 8 sol assez calcaire
pH, calcaire profond	pH < 6 sol acide	6 < pH < 6,5 sol légèrement acide	6,5 < pH < 7 sol neutre, non calcaire	7 < pH < 8 sol légèrement calcaire	pH > 8 sol assez calcaire
Capacité nutritive de surface (CEC, azote total, cations)	CEC < 6meq/100g faibles teneurs N, P, K	6 < CEC < 8 meq/100g assez faibles teneurs N, P, K	8 < CEC < 10 meq/100g teneurs moyennes N, P, K	10 < CEC < 12 meq/100g assez fortes teneurs N, P, K	CEC > 12 meq/100g fortes teneurs N, P, K
Biomasse totale, nématodes, en surface	biomasse < 1% activité biologique nulle	1 < biomasse < 2%, activité biologique faible	2 < biomasse < 3%, activité biologique moyenne	3 < biomasse < 4%, assez forte activité biologique	biomasse > 4%, forte activité biologique
Etat humique, vitesse de minéralisation C et N en surface	Minéralisation quasi nulle de la MO	Minéralisation assez faible de la MO	Minéralisation modérée de la MO	Minéralisation assez rapide de la MO	Minéralisation rapide de la MO

Table de quantification des paramètres pédologiques

Des coefficients de pondération sont ensuite définis pour chaque paramètre pour la définition des indicateurs synthétiques de chaque sous-fonctions, selon la prépondérance ou non du paramètre sur la fonction, et de l'effet négatif ou positif sur la fonction.

Les coefficients varient de -2 (effet négatif) à +4 (effet positif), hormis pour le paramètre d'imperméabilisation, pour lequel l'effet négatif est prédominant sur tous les autres paramètres pour l'ensemble des fonctions (coefficient -10).

	Fonction	Fertilité	Fertilité	Biodiversité	Régulation hydrologique	Régulation hydrologique	Filtration biochimique	Stockage de carbone
Coefficient	Sous-fonction	1. Aptitude à la production de biomasse	2. Aptitude à l'implantation d'une trame verte	3. Biodiversité du sol	4. Infiltration des eaux pluviales	5. Rétention hydrique du sol	6. Fixation ou dégradation des polluants	7. Stockage du carbone organique dans le sol
Type d'investigations	Paramètres / Indicateurs	Réserve utile, structure, état organique, capacité nutritive	Réserve utile, capacité nutritive, diversité des milieux	Porosité, matière organique, biomasse	Occupation du sol, infiltrabilité et porosité de surface	Profondeur de sol, porosité et perméabilité, hydromorphie	Texture, matière organique, profondeur de sol	matière organique, état humique
Environnement	Absence de relief (pente, position)	0	1	0	2	1	2	0
Environnement	Imperméabilisation de surface	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
Environnement	Couvert végétal (% de couverture et type)	-1	2	3	2	0	4	2
Environnement	Pratiques culturales (historique de travail du sol, amendement,...)	2	1	-1	2	0	-1	-1
Profils / sondages pédologiques	Profondeur de sol	3	4	0	0	3	3	1
Profils / sondages pédologiques	Structure et porosité de surface	2	2	1	3	4	1	1
Profils / sondages pédologiques	Structure et porosité de sous-face	2	2	0	1	-1	1	0
Profils / sondages pédologiques	Structure et porosité profonde	0	1	0	0	-2	0	0
Profils / sondages pédologiques	Absence d'engorgement de surface / sous-face (hydromorphie)	-2	-2	-1	-1	3	2	2
Profils / sondages pédologiques	Absence d'engorgement profond (hydromorphie)	-1	-2	0	0	4	2	0
Profils / sondages pédologiques	Infiltrabilité de surface	2	2	1	3	4	1	0
Profils / sondages pédologiques	Perméabilité de sous-face	1	2	1	1	-1	-1	0
Profils / sondages pédologiques	Perméabilité profonde	0	1	0	1	-2	-2	0
Analyses physico-chimiques	Equilibre granulométrie fine en surface (argile)	3	2	1	1	-2	-2	-1
Analyses physico-chimiques	Equilibre granulométrie fine en profondeur (argile)	0	1	0	0	-2	-2	0
Analyses physico-chimiques	Equilibre granulométrie grossière en surface (sable / cailloux)	3	2	1	-2	1	1	1
Analyses physico-chimiques	Equilibre granulométrie grossière en profondeur (sable / cailloux)	0	-1	0	-1	1	1	0
Analyses physico-chimiques	Réserve utile	4	3	0	0	4	0	0
Analyses physico-chimiques	Matière organique de surface	3	3	3	1	0	4	2
Analyses physico-chimiques	pH, calcaire de surface / sous-face	2	2	1	0	0	1	1
Analyses physico-chimiques	pH, calcaire profond	0	1	0	0	0	1	0
Analyses physico-chimiques	Capacité nutritive de surface (CEC, azote total, cations)	4	1	1	0	0	1	0
Analyses biologiques	Biomasse totale, nématodes, en surface	2	1	3	0	0	3	1
Analyses biologiques	Etat humique, vitesse de minéralisation C et N en surface	2	1	2	0	0	-2	-2

Table de pondération des paramètres déterminants pour chaque sous-fonction

La notation de chaque secteur de la ZAC est évaluée par la somme des valeurs pondérées de chaque paramètre concerné

Pour chaque sous-fonction, l'indicateur synthétique est finalement obtenu par étalonnage sur une échelle de 0 à 4, selon des valeurs de paramètres correspondant à des sols témoins pour chaque sous-fonction : 0 = sol témoin présentant la fonction minimale possible ; 4 = sol témoin présentant la fonction maximale possible.

Note synthétique	Fonction
0	Nulle
1	Faible
2	Modérée
3	Assez élevée
4	Très élevée

Niveau de fonction de l'indicateur synthétique pondéré

La synthèse est réalisée à l'échelle de la ZAC pour obtenir une note d'indicateur global de chaque sous fonction, par pondération des surfaces. Cet indicateur global est comparé entre état initial et état projeté après aménagement.

5 Impacts du projet sur les fonctions des sols

5.1 Projet et typologie d'espaces

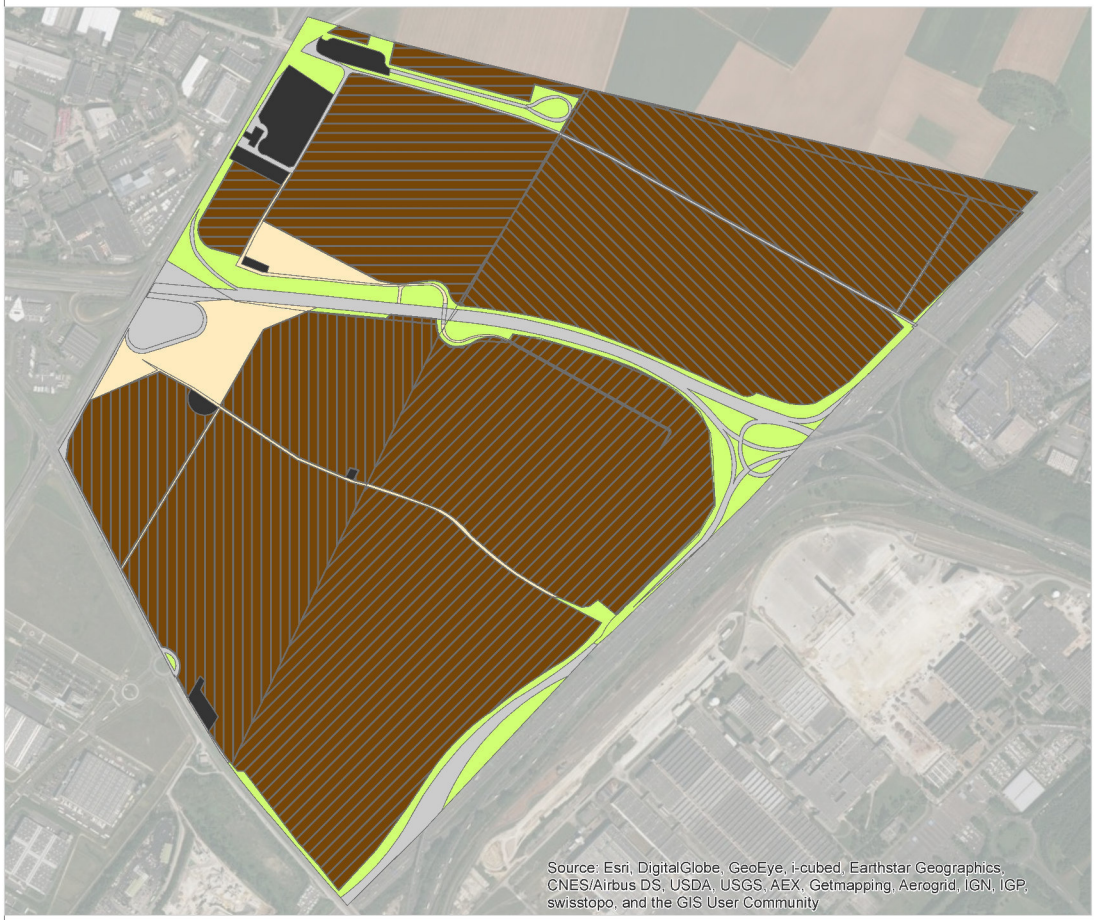
La typologie d'espaces utilisée pour l'évaluation des fonctions environnementales des sols à l'état projeté distingue, à partir du Plan Guide (version 11/2017, voir partie 1.1) :

- Espaces verts urbains arborés : alignements, massifs, etc.
- Espaces verts extensifs : talus, prairies
- Emprise d'agriculture urbaine
- Chemins, terrains sportifs
- Bâti, voirie, emprises imperméabilisées

Les valeurs de paramètres pédologiques et d'occupation du sol sont attribuées pour chaque type d'occupation du sol pour l'évaluation des indicateurs synthétiques de fonctions environnementales à l'état projeté après aménagement.

L'occupation du sol comparée entre état initial et état projeté après aménagement est présentée ci-après, ainsi que les cartes d'indicateurs synthétiques comparées pour chaque sous-fonction.

ETAT INITIAL



Occupation du sol

- Agriculture Nord-Est
- Agriculture Nord-Ouest
- Agriculture Sud-Est
- Agriculture Sud-Ouest
- Bâti
- Voirie
- Cheminements, terrains sportifs
- Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)

ETAT PROJETÉ

Occupation du sol

- Agriculture urbaine
- Bati
- Voirie
- Bassin de retention
- Chemins et terrains sportifs
- Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)
- Espaces verts urbains arborés

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

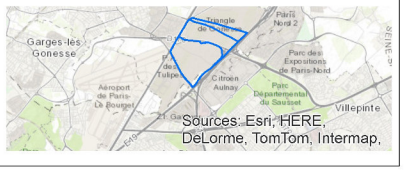
0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:14 000

N

OCCUPATION DU SOL
Services écosystémiques des sols
Version 1.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT



5.2 Résultats : comparaison Etat initial / Etat projeté

5.2.1 Fertilité : aptitude à la production de biomasse

Etat initial : note moyenne 2,5

La fonction de potentiel de fertilité agronomique est assez élevée, les éléments limitants étant la matière organique modérée et la légère tendance à l'hydromorphie. Une légère variabilité est mise en évidence sur les emprises agricoles du fait de la profondeur de sol et réserve utile notamment entre secteur Sud-est (note 2,6) et nord-ouest (note 3,0).

Etat projeté : note moyenne 1,4

Le potentiel de fertilité est considéré comme élevé (note 3,1) sur les espaces verts extensifs et secteurs d'agriculture urbaine, compte tenu de la valorisation des sols en place associée à des amendements complémentaires et/ou la mise en place d'un couvert végétal pérenne. Il est légèrement inférieur sur les espaces verts plus urbaines (note 2,9).

Le potentiel des emprises imperméabilisées est considéré nul (note 0). Celui des ouvrages associés à la gestion des eaux pluviales ou espaces sportifs est considéré comme dégradé du fait du remaniement des sols par les terrassements et aménagements divers (note 1,8).

ETAT INITIAL

Fonction : **FERTILITÉ AGRONOMIQUE**

ETAT PROJETÉ

Classe de notation (0 à 4)

- 0,00 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 4,00

1. Aptitude à la production de biomasse	Etat initial	Etat initial	Etat final	Etat final	
-	Note	Surface (m²)	Note	Surface (m²)	
Agriculture Nord-Ouest	3,02	335 166	3,17	169 724	
Agriculture Nord-Est	2,79	678 067			
Agriculture Sud-Ouest	2,91	563 365			
Agriculture Sud-Est	2,64	918 004			
Bâti	-	57 416	-	989 889	
Voirie	-	168 283	-	535 104	
Bassins de rétention	-	-	1,81	191 683	
Cheminements, terrains sportifs	-	107 859	1,77	51 250	
Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)	2,45	248 988	3,09	597 933	
Espaces verts urbains arborés	-	-	2,91	292 044	
Espaces verts privés	-	-	2,34	247 472	
Synthèse - Note globale	Etat initial	-	Etat final	-	Perte/Gain
1. Aptitude à la production de biomasse	2,46	-	1,38	-	-44%

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:20 000

N

CARTES THÉMATIQUES
Services écosystémiques des sols
Version 2.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

5.2.2 Fertilité : aptitude à l'implantation d'une trame verte

Etat initial : note moyenne 2,2

La fonction de potentiel de support de trame verte est également assez élevée sur les emprises agricoles (note 2,4 à 2,6), la différence étant principalement liée à la profondeur de sol.

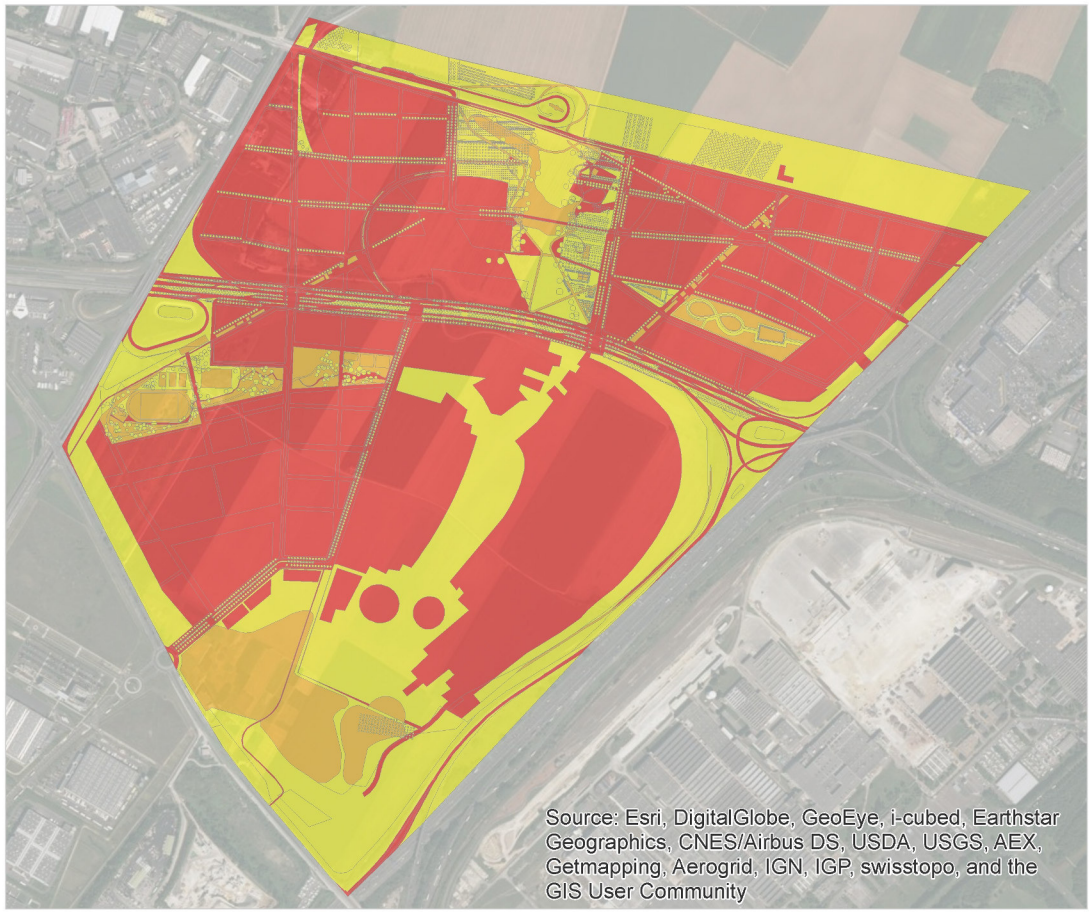
Etat projeté : note moyenne 1,3

Le potentiel est assez élevé sur tous les futurs espaces verts (note 2,3 à 2,9) avec comme principaux éléments limitants la profondeur de sol pouvant rester modérée voire réduite sur certains futurs espaces plantés, ainsi que la tendance à l'hydromorphie résiduelle en profondeur.

ETAT INITIAL

Fonction : **TRAME VERTE**

ETAT PROJETÉ



Classe de notation (0 à 4)

- 0,00 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 4,00

2. Aptitude à l'implantation d'une trame verte	Etat initial	Etat initial	Etat final	Etat final	
-	Note	Surface (m²)	Note	Surface (m²)	
Agriculture Nord-Ouest	2,64	335 166	2,86	169 724	
Agriculture Nord-Est	2,46	678 067			
Agriculture Sud-Ouest	2,61	563 365			
Agriculture Sud-Est	2,35	918 004			
Bâti	0,00	57 416	-	989 889	
Voirie	0,00	168 283	-	535 104	
Bassins de rétention	0,00	-	1,50	191 683	
Cheminements, terrains sportifs	0,00	107 859	1,58	51 250	
Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)	2,46	248 988	2,94	597 933	
Espaces verts urbains arborés	0,00	-	2,79	292 044	
Espaces verts privés	0,00	-	2,31	247 472	
Synthèse - Note globale	Etat initial	-	Etat final	-	Perte/Gain
2. Aptitude à l'implantation d'une trame verte	2,21	-	1,30	-	-41%

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:20 000

N

CARTES THÉMATIQUES
Services écosystémiques des sols
Version 2.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

5.2.3 Biodiversité du sol

Etat initial : note moyenne 1,7

(En attente de résultats laboratoire)

La fonction de biodiversité du sol et d'activité biologique associée est estimée assez faible sur les emprises agricoles (1,8) compte tenu de taux de matière organique modéré et de pratiques culturales de faible restitution organique et de travail du sol (terres labourées). Les quelques emprises de couvert herbacé (talus routier, friches) sont estimées à un niveau de biodiversité supérieur (note 2,7).

Etat projeté : note moyenne 1,4

La biodiversité du sol est estimée supérieure à l'état initial sur les emprises d'agriculture urbaine (note 2,4) compte tenu des systèmes de cultures potentiellement mis en œuvre, favorables à un travail du sol limité, une plus forte restitution organique voire au maintien d'un couvert végétal permanent (prairie, verger, etc.).

Elle est assez élevée sur les emprises d'espaces verts extensifs (note 3,2) notamment du fait du couvert herbacé pérenne et associées à une gestion différenciée (faible fréquence de fauche, etc.).

A titre indicatif la biomasse microbienne totale estimée à l'échelle du périmètre de 300 hectares est de 500 tonnes à l'état initial, contre 440 tonnes à l'état projeté.

ETAT INITIAL

Fonction : **BIODIVERSITE DU SOL**

ETAT PROJETÉ

Classe de notation (0 à 4)

- 0,00 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 4,00

3. Biodiversité du sol	Etat initial	Etat initial	Etat final	Etat final	
-	Note	Surface (m²)	Note	Surface (m²)	
Agriculture Nord-Ouest	1,78	335 166	2,35	169 724	
Agriculture Nord-Est	1,78	678 067			
Agriculture Sud-Ouest	1,78	563 365			
Agriculture Sud-Est	1,78	918 004			
Bâti	0,00	57 416	-	989 889	
Voirie	0,00	168 283	-	535 104	
Bassins de rétention	0,00	-	1,71	191 683	
Cheminements, terrains sportifs	0,00	107 859	1,71	51 250	
Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)	2,67	248 988	3,17	597 933	
Espaces verts urbains arborés	0,00	-	3,11	292 044	
Espaces verts privés	0,00	-	2,41	247 472	
Synthèse - Note globale	Etat initial	-	Etat final	-	Perte/Gain
3. Biodiversité du sol	1,66	-	1,37	-	-17%

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:20 000

N

CARTES THÉMATIQUES
Services écosystémiques des sols
Version 2.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

5.2.4 Régulation hydrologique : infiltration des eaux pluviales

Etat initial : note moyenne 2,1

La fonction de potentiel d'infiltration de l'eau pluviale est modérée sur les emprises agricoles (note 2,4) comme en témoigne les valeurs d'infiltration variables mesurées en surface à l'état initial, et la légère tendance à l'hydromorphie, qui s'expliquent par la texture limono-argileuse sensible au tassement, et les pratiques culturales.

Etat projeté : note moyenne 1,1

La fonction d'infiltration est nettement inférieure à l'état projeté notamment par les surfaces imperméabilisées. Les espaces verts conservent un potentiel d'infiltration modéré (note 1,8 à 2,5) compte tenu des modalités envisagées pour la préservation de la structure des sols végétalisés ou leur reconstitution, hormis les ouvrages végétalisés de gestion des eaux pluviales dont le potentiel d'infiltration est réduit (note 0,8).

A titre indicatif, pour une pluie de référence cinquantennale de 50 mm pour une durée de 20 minutes, théoriquement appliquée uniformément à l'échelle de la ZAC, le temps nécessaire aux surfaces infiltrantes de sol pour l'infiltration de surface de la pluie de référence est estimé à environ 3h à l'état initial, contre 5h à l'état projeté (cas théorique).

ETAT INITIAL

Fonction : **INFILTRATION HYDRIQUE**

ETAT PROJETÉ

Classe de notation (0 à 4)

- 0,00 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 4,00

4. Infiltration des eaux pluviales	Etat initial	Etat initial	Etat final	Etat final	
-	Note	Surface (m²)	Note	Surface (m²)	
Agriculture Nord-Ouest	2,38	335 166	2,55	169 724	
Agriculture Nord-Est	2,38	678 067			
Agriculture Sud-Ouest	2,38	563 365			
Agriculture Sud-Est	2,38	918 004			
Bâti	0,17	57 416	0,17	989 889	
Voirie	0,06	168 283	0,06	535 104	
Bassins de rétention	0,00	-	0,81	191 683	
Cheminements, terrains sportifs	0,00	107 859	1,68	51 250	
Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)	2,14	248 988	2,26	597 933	
Espaces verts urbains arborés	0,00	-	2,32	292 044	
Espaces verts privés	0,00	-	1,86	247 472	
Synthèse - Note globale	Etat initial	-	Etat final	-	Perte/Gain
4. Infiltration des eaux pluviales	2,11	-	1,09	-	-48%

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:20 000

N

CARTES THÉMATIQUES
Services écosystémiques des sols
Version 2.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

5.2.5 Régulation hydrologique : rétention hydrique des sols

Etat initial : note moyenne : 2,0

La fonction de rétention hydrique est assez élevée sur les emprises agricoles (note 2,1 en secteur sud-est à 2,7 secteur nord-ouest), sa variabilité s'explique principalement par les différences de nature pédologique notamment texture et profondeur de sol.

Etat projeté : note moyenne 1,5

La réserve hydrique est estimée assez élevée pour les futures emprises d'agriculture urbaine (note 2,7) et ouvrages de rétention d'eau pluviale (2,8), plutôt diminuée sur les espaces verts plus urbains ou privés pour lesquels la profondeur de sol est supposée réduite et les risques de tassement supérieurs (note 1,9).

A titre indicatif, le volume total de réserve utile (RU) à savoir la capacité de rétention d'eau disponible dans la partie supérieure du sol (voir partie 3), est estimée à l'échelle du périmètre de ZAC à environ 270 000 m3 d'eau à l'état initial contre 150 000 m3 à l'état projeté, dans les emprises de sol non imperméabilisées.

ETAT INITIAL

Fonction : **RÉTENTION HYDRIQUE**

ETAT PROJETÉ

Classe de notation (0 à 4)

- 0,00 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 4,00

5. Rétention hydrique du sol	Etat initial	Etat initial	Etat final	Etat final	
-	Note	Surface (m²)	Note	Surface (m²)	
Agriculture Nord-Ouest	2,67	335 166	2,67	169 724	
Agriculture Nord-Est	2,24	678 067			
Agriculture Sud-Ouest	2,35	563 365			
Agriculture Sud-Est	2,08	918 004			
Bâti	0,59	57 416	0,59	989 889	
Voirie	0,55	168 283	0,55	535 104	
Bassins de rétention	0,00	-	2,82	191 683	
Cheminements, terrains sportifs	0,00	107 859	1,14	51 250	
Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)	1,57	248 988	2,63	597 933	
Espaces verts urbains arborés	0,00	-	1,92	292 044	
Espaces verts privés	0,00	-	1,92	247 472	
Synthèse - Note globale	Etat initial	-	Etat final	-	Perte/Gain
5. Rétention hydrique du sol	2,02	-	1,47	-	-27%

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:20 000

N

CARTES THÉMATIQUES
Services écosystémiques des sols
Version 2.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

5.2.6 Filtration biogéochimique : fixation ou dégradation des polluants

Etat initial : note moyenne 1,8

Le potentiel de filtration biochimique des polluants (nitrates et phosphates, etc.) est modéré sur les emprises agricoles (note 1,9 à 2,1), les sols sont poreux et profonds mais ne présentent pas de couvert végétal pérenne, leur taux de matière organique et activité biologiques sont modérés.

Etat projeté : note moyenne 1,6

Le potentiel de filtration est estimé supérieur sur les futurs espaces verts (note 2,7 à 3,0) et emprise d'agriculture urbaine (note 2,5), principalement par l'augmentation des taux de matière organique et de l'activité biologique du sol, et la mise en place de couvert végétal pérenne. Sur les ouvrages de gestion des eaux pluviales, il est associé à une diminution des vitesses d'infiltration.

ETAT INITIAL

Fonction : **FILTRATION BIOCHIMIQUE**

ETAT PROJETÉ

Classe de notation (0 à 4)

- 0,00 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 4,00

6. Fixation ou dégradation des polluants	Etat initial	Etat initial	Etat final	Etat final	
-	Note	Surface (m²)	Note	Surface (m²)	
Agriculture Nord-Ouest	2,05	335 166	2,45	169 724	
Agriculture Nord-Est	1,87	678 067			
Agriculture Sud-Ouest	1,98	563 365			
Agriculture Sud-Est	1,87	918 004			
Bâti	0,47	57 416	0,47	989 889	
Voirie	0,40	168 283	0,40	535 104	
Bassins de rétention	0,00	-	2,81	191 683	
Cheminements, terrains sportifs	0,00	107 859	1,33	51 250	
Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)	2,13	248 988	3,06	597 933	
Espaces verts urbains arborés	0,00	-	2,70	292 044	
Espaces verts privés	0,00	-	2,23	247 472	
Synthèse - Note globale	Etat initial	-	Etat final	-	Perte/Gain
6. Fixation ou dégradation des polluants	1,78	-	1,58	-	-11%

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:20 000

N

CARTES THÉMATIQUES
Services écosystémiques des sols
Version 2.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

5.2.7Stockage de carbone organique dans les sols

Etat initial : note moyenne 1,4

La fonction « puits de carbone » est assez faible sur les emprises agricoles (note 1,5 à 1,6) compte tenu de taux de matière organique modéré en système de grandes cultures. Il est légèrement supérieur sur les talus végétalisés et friches résiduelles à couvert herbacé permanent.

Etat projeté : note moyenne 1,3

Le stockage de carbone est estimé nettement supérieur dans les futurs espaces en agriculture urbaine et espaces verts, par l'amendement organique envisagé à la constitution des sols du projet, et l'entretien d'un couvert végétal à forte restitution organique au sol.

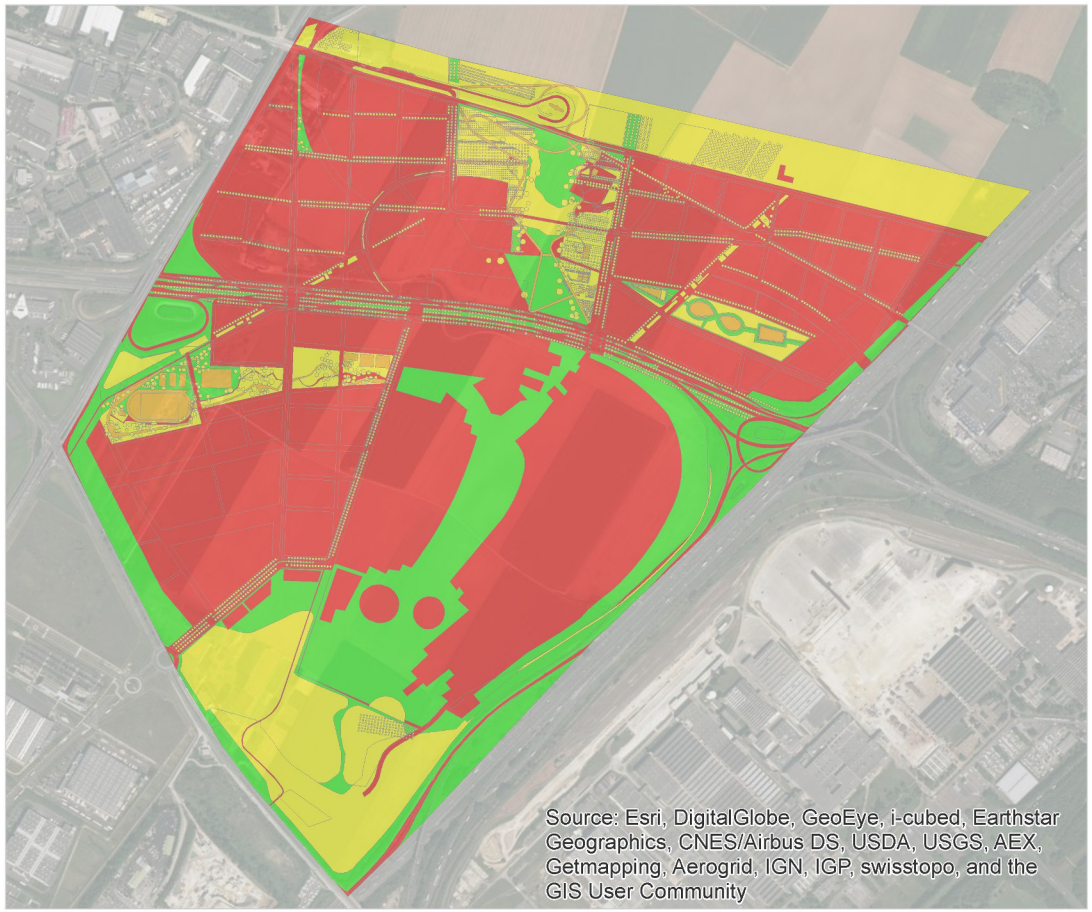
Il est estimé nul sur les espaces bâtis et voirie (emprises décapées).

A titre indicatif, le carbone organique stocké à l'échelle de l'emprise de ZAC est estimé à l'état initial à environ 16 000 tonnes contre 15 000 tonnes à l'état projeté.

ETAT INITIAL

Fonction : **STOCKAGE DE CARBONE**

ETAT PROJETÉ



Classe de notation (0 à 4)

- 0,00 - 1,00
- 1,01 - 2,00
- 2,01 - 3,00
- 3,01 - 4,00

7. Stockage du carbone organique dans le sol	Etat initial	Etat initial	Etat final	Etat final	
-	Note	Surface (m²)	Note	Surface (m²)	
Agriculture Nord-Ouest	1,58	335 166	2,05	169 724	
Agriculture Nord-Est	1,49	678 067			
Agriculture Sud-Ouest	1,58	563 365			
Agriculture Sud-Est	1,49	918 004			
Bâti	0,00	57 416	-	989 889	
Voirie	0,00	168 283	-	535 104	
Bassins de rétention	0,00	-	2,98	191 683	
Cheminements, terrains sportifs	0,00	107 859	1,02	51 250	
Espaces verts extensifs (voirie, friches, prairies)	2,05	248 988	3,07	597 933	
Espaces verts urbains arborés	0,00	-	2,60	292 044	
Espaces verts privés	0,00	-	2,14	247 472	
Synthèse - Note globale	Etat initial	-	Etat final	-	Perte/Gain
7. Stockage du carbone organique dans le sol	1,40	-	1,33	-	-5%

SOL paysage
Date: 14/05/2018
Réalisation : Sol Paysage
Fond de carte : World Imagery
8bis, bd Dubreuil - 91400 Orsay
contact@solpaysage.fr
T : 01 60 10 77 00

Triangle de Gonesse
15085

0 100 200 400 Mètres

Echelle de tracé 1:20 000

N

CARTES THÉMATIQUES
Services écosystémiques des sols
Version 2.0 - Vue globale

grandparis aménagement
GRAND PARIS AMÉNAGEMENT

5.2.8Tableau de synthèse à l'échelle de la ZAC

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs d'indicateurs estimés à l'état initial et l'état projeté. La perte de fonction environnementale des sols du périmètre de ZAC entre l'état initial (emprises agricoles fortement majoritaires) et état projeté après aménagement (emprises bâties et voirie, espaces verts) est estimée, par ordre décroissant :

Sous-fonction	Perte de fonction / Etat initial
Capacité d'infiltration des eaux pluviales	-48%
Fertilité potentielle pour la production de biomasse	-44%
Fertilité potentielle comme support de trame verte	-41%
Rétention hydrique du sol	-27%
Biodiversité du sol	-17%
Filtration biochimique des polluants	-11%
Stockage de carbone organique	-5%

	FONCTIONS	notation pondérée / témoin (0 à 4)						
SECTEURS		1. Aptitude à la production de biomasse	2. Aptitude à l'implantation d'une trame verte	3. Biodiversité du sol	4. Infiltration des eaux pluviales	5. Rétention hydrique du sol	6. Fixation ou dégradation des polluants	7. Stockage du carbone organique dans le sol
ETAT INITIAL								
NO		3,0	2,6	1,8	2,4	2,7	2,1	1,6
NE		2,8	2,5	1,8	2,4	2,2	1,9	1,5
SO		2,9	2,6	1,8	2,4	2,4	2,0	1,6
SE		2,6	2,3	1,8	2,4	2,1	1,9	1,5
voirie		0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,4	0,0
EV voirie/friches		2,5	2,5	2,7	2,1	1,6	2,1	2,0
bâti, sols remaniés, chemin		0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,5	0,0
	MIN	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,4	0,0
	MAX	3,0	2,6	2,7	2,4	2,7	2,1	2,0
	MOY	2,0	1,8	1,4	1,7	1,7	1,5	1,2
MOYENNE PONDEREE		**2,5**	**2,2**	**1,7**	**2,1**	**2,0**	**1,8**	**1,4**
ETAT PROJETE								
agriculture urbaine		3,2	2,9	2,3	2,6	2,7	2,5	2,0
espaces verts extensifs		3,1	2,9	3,2	2,3	2,6	3,1	3,1
bassins en eau/ de rétention		1,8	1,5	1,7	0,8	2,8	2,8	3,0
espaces verts urbains		2,9	2,8	3,1	2,3	1,9	2,7	2,6
espaces verts privés		2,3	2,3	2,4	1,9	1,9	2,2	2,1
bâti		0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,5	0,0
voirie		0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,4	0,0
cheminements, terrains sportifs		1,8	1,6	1,7	1,7	1,1	1,3	1,0
	MIN	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,4	0,0
	MAX	3,2	2,9	3,2	2,6	2,8	3,1	3,1
	MOY	1,9	1,7	1,8	1,5	1,8	1,9	1,7
MOYENNE PONDEREE		**1,4**	**1,3**	**1,4**	**1,1**	**1,5**	**1,6**	**1,3**
perte de fonction		**-44%**	**-41%**	**-17%**	**-48%**	**-27%**	**-11%**	**-5%**

Tableau d'indicateurs synthétiques comparés par sous-fonctions entre état initial et projeté

5.3 Proposition de mesures de réduction des impacts

Les impacts du projet d'aménagement sur les fonctions environnementales des sols portent principalement sur le cycle de l'eau et le potentiel de fertilité par la réduction des surfaces infiltrantes et fertiles, conséquences de la création de surfaces imperméabilisées (voiries et bâti).

Dans l'engagement d'une démarche innovante et exemplaire, l'évaluation des impacts sur les fonctions des sols doit se traduire dans le projet par la mise en œuvre de mesures d'évitement et de réduction de ces impacts, au sens de la doctrine E.R.C du Code de l'Environnement.

Les principes techniques suivants sont proposés pour une intégration au projet d'aménagement urbain, pour l'Evitement et la Réduction des impacts du projet sur les fonctions environnementales des sols.

5.3.1 Maintenir des emprises de sols en améliorant leur fonctionnalité

- **Protéger des emprises de l'imperméabilisation et du terrassement**
    - Définir dans le projet les opportunités de sols non soumis à terrassement et imperméabilisation, associés aux futurs espaces paysagers ou écologiques. La préservation des sols en place est nettement plus favorable que le remaniement et la reconstitution de sols, dans la perspective du maintien des fonctions environnementales, en particulier la structure, la porosité et l'activité biologique du sol.
    - Favoriser la mutualisation des réseaux pour limiter les emprises de tranchées à excaver, favoriser les densités et hauteurs de bâti permettant de limiter les surfaces imperméabilisées
    - Délimiter en plan les emprises précises et profondeurs de décapage : emprises de bâti, voiries. Pour les futures emprises plantées, les mouvements de terre seront limités aux cas de modification de l'altimétrie générale.
    - Prévoir en phase travaux les mesures de protection des emprises pour éviter toute circulation dispensable d'engin, zone de stockage de terre ou matériau : implantation, clôturage, contrôles.

- **Améliorer les sols préservés**

- Amender les sols par un apport organique type compost de déchets verts, dans l'horizon de surface des futurs sols végétalisés, préalablement à la mise en place des aménagements paysagers ou écologiques. Cet amendement permet de rehausser le niveau de matière organique, favorise la restauration d'une activité biologique, et améliore la structure superficielle et la capacité d'infiltration et de rétention.
- Affiner la structure du sol lorsque nécessaire, pour éviter toute structure défavorable à l'infiltration, à l'enracinement et à l'activité biologique. Adapter les choix de travail du sol préalable en fonction des secteurs, de l'état constaté des sols, et des intentions de projet : griffage, émottage, préparation de semis, etc. en évitant tout travail du sol profond non nécessaire (type sous-solage) en particulier en conditions humides.

5.3.2 Implanter une trame végétale pérenne et fonctionnelle

- **Mettre en place un couvert végétal adapté**
  - Définir la vocation paysagère, écologique et/ou agricole des espaces végétalisés : la typologie de végétation mais également le niveau d'exigence agronomique diffèrent selon la finalité (reprise, développement rapide, pérennité, production de biomasse…).
  - Adapter les choix d'espèces et de palette végétale aux aptitudes pédologiques, pour limiter les besoins de remplacement et d'entretien des végétaux.
  - Orienter les choix de palette végétale vers la constitution d'une trame verte fonctionnelle d'un point de vue écologique : complémentarité des strates herbacée, arbustive et arborée, espèces diversifiées, mellifères et/ou favorables à l'avifaune, non invasives, à enracinement profond pour favoriser la structure du sol, etc.

- **Gérer durablement les sols et le couvert végétal**
  - Eviter tout besoin d'amendement et de fertilisation répété des sols à vocation écologique ou paysagère, par la conception adaptée des sols lors de l'aménagement.
  - Généraliser l'utilisation des paillages organiques pour les espaces arbustifs et arborés, pour limiter l'évaporation et l'assèchement du sol, limiter le développement d'invasives, favoriser l'activité biologique et entretenir la matière organique à long terme.
  - Prévoir une gestion différenciée des espaces végétalisés : limiter la fréquence de tonte/fauche des espaces enherbés, limiter/supprimer l'utilisation de phytosanitaires, favoriser les méthodes de lutte biologique/prophylactique contre les nuisibles, favoriser la restitution organique au sol, éviter tout piétinement et circulations sur les sols fonctionnels.

- **Gérer les eaux pluviales en s'appuyant sur les sols fonctionnels**
  - Favoriser la gestion des eaux pluviales sur des emprises de sols vivants et végétalisés, plutôt que des ouvrages imperméabilisés.
  - Adapter le dimensionnement des ouvrages pour favoriser le développement de végétation hygrophile associée à des sols humides, à forte fonctionnalité de rétention et de filtration biochimique : faibles pentes, secteurs à engorgement récurrent par les eaux pluviales d'occurrence fréquente, etc.

5.3.3 Valoriser les terres excavées issues des terrassements

- **Identifier, trier, stocker les terres excavées**

- Trier les terres de décapage entre horizon de surface organo-minéral, horizon de sous-face, matériau profond plus diversifié (limon argileux, loess, marno-calcaire).
- Stocker les terres distinctement et dans des conditions techniques favorisant la préservation de leurs fonctions : limiter la hauteur de stockage, protéger le stock ou l'ensemencer en cas de stockage supérieur à 6mois, éviter toute circulation sur le stock.
- Encadrer les conditions de réalisation : imposer l'utilisation d'engins à chenilles et le travail en conditions sèches sur sol ressuyé.
- Encadrer les entreprises de travaux et contrôler les itinéraires techniques de terrassement des phases préparatoire jusqu'à la réception des travaux.

- **Reconstituer des sols fonctionnels**
  - Concevoir les sols à reconstituer selon les principes de génie pédologique : dimensionner des sols adaptés aux caractéristiques des sols existants, et aux besoins spécifiques (sols fertiles, filtrants, portants, etc.).
  - Adapter la hauteur et la constitution de chaque horizon pédologique reconstitué :
    - Horizon organo-minéral de surface, favorable à l'infiltration et l'activité biologique
    - Horizon sous-jacent à forte réserve hydrique
    - Horizon profond / fond de forme à capacité de ressuyage et d'enracinement
  - Intégrer des filières d'économie circulaire : amendement organique par mélange de compost de déchets verts, mélanges terre-pierres à partir de grave recyclée, etc.

- **Gérer la ressource en matériaux pédologiques**
  - Anticiper les besoins volumiques des sols à reconstituer en fonctions des ressources en matériaux issus des excavations nécessaires pour les bâtiments, voiries et réseaux
  - Prévoir le phasage et les emprises de stockage ou d'amélioration des terres adaptées au calendrier général des aménagements et aux contraintes techniques, aménager une plateforme dédiée, permettant d'éviter toute dispersion des zones de stockage et favorisant la traçabilité des terres.
  - Adapter l'ordonnancement des opérations pour la préfiguration de sols fonctionnels, la végétalisation anticipée de certaines emprises, etc.

- Valoriser les matériaux fertiles excédentaires sur d'autres projets d'aménagement afin de transférer ses fonctions environnementales, dans une démarche compensatoire. En particulier, la mutualisation et la coordination avec des projets projets situés dans la première couronne francilienne et dépourvus de ressource pédologique pour produire leurs aménagements paysagers constitue une opportunité d'économie circulaire des terres, véritable alternative à l'évacuation des excédants en ISD ou l'utilisation en simples remblais peu fonctionnels d'un point de vue environnemental.

6 Conclusion

Le diagnostic pédologique mené sur l'emprise de la ZAC du Triangle de Gonesse est basé sur des investigations réalisées entre janvier et avril 2018 associant caractérisation de profils pédologiques, analyses agronomiques en laboratoire, mesures d'infiltration, évaluation de bioindicateurs. Il met en évidence les principales tendances suivantes, retranscrites en cartographies thématiques :

- Critères physiques : des sols assez homogènes sur l'emprise de la ZAC, à dominante limono-argileuse, assez profonds, peu caillouteux, avec une légère tendance à la battance en surface et la compacité en sous-face ;
- Critères hydriques : des sols à forte réserve utile, légèrement hydromorphes en profondeur, à perméabilité variable en surface, mais présentant des capacités de ressuyage suffisantes ;
- Critères chimiques : des sols à teneurs élevés en éléments nutritifs et forte disponibilité, à pH neutre à basique ;
- Critères biologiques : des sols à teneur modérée en matière organique en surface, majoritairement sans couvert végétal permanent, avec une minéralisation modérée facilitée par la présence d'un couvert permanent ;
- Une variabilité spatiale cohérente avec les données bibliographiques et issue de la géologie et du micro-relief :
    - Calcisols / calcosols en partie Est / Sud-Est : sols calcaires assez peu évolués
    - Brunisols / Néoluvisols / Luvisols en partie Ouest et Nord : sols plus profonds, plus évolués

7 sous-fonctions environnementales des sols sont évaluées à l'état initial selon une méthodologie adaptée au contexte et basée sur 24 paramètres pédologiques, permettant de définir des indicateurs synthétiques de 0 (fonction nulle) à 4 (fonction élevée). Les fonctions environnementales des sols du triangle de Gonesse sont par ordre décroissant de niveau à l'état initial :

- Fertilité potentielle pour la production de biomasse
- Fertilité potentielle comme support de trame verte
- Capacité d'infiltration des eaux pluviales
- Rétention hydrique du sol
- Filtration biochimique des polluants
- Biodiversité du sol
- Stockage de carbone organique

La comparaison avec l'état projeté après aménagements met en évidence une perte de fonctionnalité de -5% à -50% selon les fonctions, principalement due aux surfaces imperméabilisées (bâti, voiries) et la perte de surfaces fonctionnelles. La valorisation des sols sur les emprises végétalisées du projet permet de limiter la perte de fonctionnalité, en particulier sur les sous-fonctions de stockage du carbone, de filtration biochimique et de biodiversité du sol, par l'amélioration de la matière organique des sols et la mise en place d'un couvert végétal pérenne et plus diversifié, intégrant le cycle de l'eau.

Des mesures d'évitement et de réduction des impacts sont proposées pour l'intégration à la conception et la réalisation de projet :

- Protéger des emprises de l'imperméabilisation et du terrassement ; améliorer les sols préservés ;
- Mettre en place un couvert végétal adapté ; gérer durablement les sols et le couvert végétal ; gérer les eaux pluviales en s'appuyant sur les sols fonctionnels ;
- Identifier, trier, stocker les terres excavées ; reconstituer des sols fonctionnels ; gérer la ressource en matériaux pédologiques.