

La pleine terre, une notion à préciser dans la planification

1. Contexte

La **pleine terre**, connue des jardiniers depuis longtemps, est un terme employé en **urbanisme**, que l'on retrouve dans **certains Plans Locaux d'Urbanisme** avec des définitions variées. Les PLUs les plus ambitieux introduisent dans leur définition, une **référence à certaines fonctions** assurées par les sols en milieu urbain telles que l'infiltration des eaux pluviales, la production de biomasse végétale ou encore le support de développement de la flore. Certains font même référence à **l'équilibre pédologique** du sol à préserver. La notion de pleine terre est en général présente dans le règlement où l'obligation d'une **surface minimale de pleine terre** en fonction des secteurs et du zonage est prescrite. Cette obligation peut parfois s'accompagner de prescriptions de surfaces minimales éco-aménagées ou surfaces à coefficient de biotope qui intègrent la pleine terre. Cette approche, plutôt **quantitative** basée sur des surfaces minimales, ne prend pas en compte la qualité initiale du sol ni la qualité attendue.

Par conséquent, une vision partagée de la notion de pleine terre dans les PLU, plus qualitative, est nécessaire auprès des acteurs de l'urbanisme et de l'environnement afin de répondre à l'enjeu de maintien des sols fonctionnels en ville (cf. [Note rapide IPR : « La pleine terre : nécessité d'une définition partagée dans les PLU », 2021](#)).

2. Lien potentiel entre des fonctions écologiques et l'épaisseur des sols

Les références bibliographiques ci-dessous sont majoritairement issues du milieu urbain.

2.1 Revue bibliographique sur le lien entre fonctions écologiques et épaisseur des sols

Le sol est « la couche supérieure de la croûte terrestre, transformée par des processus climatiques, physico-chimiques et biologiques, composée de particules minérales, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes vivants, organisée en horizons de sols » (ISO, 2015).

Le sol remplit des **fonctions écologiques**, processus naturels internes aux écosystèmes, issus des interactions entre les composantes biotiques et abiotiques (Leroi, 2019 ; Baptiste, 2019). Ainsi, leur préservation ou leur re-fonctionnalisation contribue à une plus grande résilience des territoires face aux principaux enjeux auxquels les villes doivent faire face.

L'ADEME a défini, à partir de la littérature, des connaissances acquises sur cette thématique et à partir d'entretiens avec différents experts les 8 fonctions des sols suivantes (Blanchart, 2019) :

- stockage, recyclage et transformation des matières organiques,
- support physique stable pour les végétaux,
- rétention, circulation et infiltration de l'eau,
- filtre, tampon et dégradation des polluants,

- habitats pour les organismes du sol et régulation de la biodiversité,
- rétention et fourniture des nutriments pour les organismes du sol et les végétaux,
- contrôle de la composition chimique de l'atmosphère et contribution aux processus climatiques (stockage de carbone par exemple),
- altération et formation du sol.

Seules les fonctions en lien avec l'épaisseur des sols ont été prises en compte :

Les fonctions associées à la régulation du cycle de l'eau (rétention, circulation, infiltration de l'eau et évapotranspiration)

Les sols constituent la principale interface entre l'atmosphère et les masses d'eaux superficielles et souterraines. Ce sont eux – en fonction de leurs propriétés intrinsèques et de leur couverture – qui permettent l'infiltration de l'eau, indépendamment de leur épaisseur. La présence de la macrofaune et de la végétation joue également un rôle clé dans l'infiltration des eaux pluviales (Geissen et al., 2013 ; Xie et al., 2020). Les vers de terre notamment, influencent, en partie, la régulation de l'eau en modifiant la porosité des sols via 1- l'augmentation de la macro-porosité (type galeries) et 2- l'augmentation de la méso- et micro-porosité (type déjections) (Blouin et al. 2013).

A noter que l'infiltration dans le sol peut être limitée par la nature du sous-sol, par exemple la présence de roches massives ou de formations argileuses. Ces facteurs, potentiellement limitants, liés au sous-sol ne sont pas pris en compte dans cette méthode.

Lors des précipitations, toute l'eau ne s'infiltré pas dans les couches les plus profondes pour atteindre le sous-sol et une éventuelle nappe, une partie de cette eau s'évapore directement à l'atmosphère et une autre partie est retenue ou stockée dans la couche supérieure du sol et donc accessible aux racines des plantes. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" ou capacité de rétention maximale qui dépend essentiellement de la texture (granulométrie), de la présence de matière organique et de l'épaisseur du sol. La part de cette eau qui est accessible par les plantes est appelée Réservoir Utile Potentiel (RUP). L'épaisseur de sol pour cette fonction de stockage de l'eau est ainsi importante et complémentaire à d'autres facteurs comme la texture, la porosité ou encore la teneur en matières organiques (Somerville et al., 2020 ; Geissen et al., 2013).

Englobant l'évaporation directe de l'eau du sol et des espaces en eau et de la transpiration des plantes, l'évapotranspiration est particulièrement bénéfique en milieu urbain lors des canicules si la réserve utile le permet. La présence d'une végétation permet en effet de réduire le phénomène d'îlot de chaleur urbain : la végétation « transpire », évaporant l'eau accessible en profondeur dans le sol. La forêt est particulièrement intéressante car il s'agit du mode d'occupation des sols (hors grandes étendues d'eau et zones humides) qui restitue le plus d'eau à l'atmosphère (Lavabre, 2000). Une méta-analyse de la littérature sur l'effet de refroidissement de la végétation dans les zones urbaines a montré qu'en moyenne les zones végétalisées comme les parcs sont 1 °C plus frais que les sites non végétalisés, en raison de la transpiration et de l'ombrage des arbres (Boldrin et al., 2019). L'îlot de fraîcheur dépend aussi du Réservoir Utile Potentiel (RUP) du sol et du potentiel de prospection racinaire permettant à l'arbre de produire une plus grande surface de canopée (Fern Ow et al. 2009).

La fonction d'habitat pour la biodiversité (en termes d'abondance)

La répartition des organismes du sol qui englobent la microfaune et les micro-organismes (protozoaires, nématodes, bactéries, champignons, algues), la mésofaune (acariens, collembolés, etc.) et la macrofaune (vers de terre, termites, fourmis, larves d'insecte, etc.) varie verticalement dans le

profil de sol, l'abondance étant maximale dans les 25 premiers cm du sol (Frey, 2015). La profondeur de sol peut être révélatrice d'une plus grande diversité des structures des communautés et des réseaux trophiques (Amossé et al., 2016). Dans le cas des technosols, Vergnes et al. (2017) ont montré que les abondances de vers de terre et de fourmis augmentent significativement selon un gradient d'âge quand une couche/horizon de sol organo-minéral, aussi appelée terre végétale, a été ajoutée en surface au préalable. Ce constat n'est pas observé lorsque les sols de surface sont décapés, l'activité microbiologique reste alors significativement réduite (Geissen et al. 2013).

La fonction de production végétale

Le sol est support de végétation dès ses premiers centimètres. Il a une triple fonction vis-à-vis de la plante par l'intermédiaire des racines (Tiercelin, 2008) :

- support physique permettant l'enracinement et la résistance à l'effet du vent,
- réservoir d'eau,
- réservoir de nutriments.

En fonction de chaque type de végétation (herbacée, arbustive, arborée), les besoins en profondeur de sol ne sont pas les mêmes : par exemple, la profondeur du système racinaire de la pelouse est généralement inférieure à 20 cm, les racines les plus profondes d'un arbre sont aux alentours d'1,20 m à 1,50 m, peu de racines dépassent toutefois une profondeur d'1 m (Xie et al., 2020).

La fonction de stockage de carbone

À l'échelle globale, les sols et les forêts stockent, sous forme de biomasse vivante ou morte, 3 à 4 fois plus de carbone que l'atmosphère. L'artificialisation des sols déstocke rapidement et de manière importante le carbone contenu dans les 30 premiers cm du sol, sous l'action des travaux de terrassements et d'imperméabilisation. D'après Geissen et al. (2013), décapier le sol de surface entraîne une diminution de 88 % à 94 % du stock de carbone dans les sols. À l'inverse, le processus de reconstitution du stock carbone à la suite d'un changement d'affectation des sols nécessite plusieurs dizaines d'années.

2.2 Synthèse sur le lien entre des fonctions écologiques et l'épaisseur des sols

Le tableau 2 récapitule le lien entre importance de la fonction et l'épaisseur des sols.

Concernant les fonctions liées à un stock : plus un sol est profond, plus l'indicateur lié à la fonction est important : c'est le cas pour les fonctions de réservoir de biodiversité (biomasse, mesurée en kg/m²), stockage de carbone (kg/m²) et stockage de l'eau (mm/m²) même si, comme vu précédemment, la revue bibliographique a montré que les fonctions de réservoir de biodiversité et de stockage de carbone étaient majoritairement assurées dans les premiers horizons du sol.

Concernant la fonction de flux liée à l'infiltration de l'eau : le sol est un compartiment que l'eau, une fois la capacité au champ atteinte, et modulo les écoulements préférentiels, traverse pour éventuellement aller rejoindre plus ou moins rapidement une nappe phréatique en sous-sol si la nature de ce dernier le permet. La fonction d'infiltration de l'eau peut donc être assurée quelle que soit son épaisseur à condition que les propriétés intrinsèques du sol et du sous-sol soient compatibles avec cette infiltration. La compaction du sol, par exemple, peut être un facteur limitant de cette infiltration.

Concernant les fonctions relatives au compartiment végétal, celles-ci sont avant tout liées au choix d'aménagement fait sur l'espace considéré. La fonction de support de végétation peut être assurée à partir d'une épaisseur de sol limitée de l'ordre d'une vingtaine de cm pour une strate herbacée par exemple jusqu'à une épaisseur d'1,2 m pour une strate arborée (UNEP, 2012).

Pour la fonction d'évapotranspiration, celle-ci peut être également assurée quelle que soit l'épaisseur de sol et le couvert végétal. Toutefois, que ce soit pour la fonction de support de végétation ou d'évapotranspiration, une épaisseur de sol importante va permettre d'accueillir une plus grande diversité de strates végétales (herbacée, arbustive et arborée) et un plus grand stock d'eau et ainsi optimiser ces 2 fonctions.

Tableau 2 : synthèse du lien entre fonctions écologiques et épaisseur de sols

Fonction	Indicateur	Unité	Dépendance à l'épaisseur du sol (z)	
Fonctions exprimant un stock				
Stockage de carbone SC	Masse de carbone (MC)	Kg C/m ²	Directe SC = f(z)	MC = MC_{0-40*} + MC ₄₀₋₈₀ + MC ₈₀₋₁₂₀
Réservoir de biodiversité (abondance) RB	Abondance en organismes (AO)	Nb d'individus/m ²	Directe RB = f(z)	AO = AO_{0-40*} + AO ₄₀₋₈₀ + AO ₈₀₋₁₂₀
Stockage de l'eau SE	Réservoir Utile Potentiel (RUP)	mm d'eau/m ²	Directe SE = f(z)	RUP = RUP ₀₋₄₀ + RUP ₄₀₋₈₀ + RUP ₈₀₋₁₂₀
Fonction exprimant un taux d'infiltration				
Infiltration de l'eau IE	Perméabilité du sol (K)	mm/h	Non IE ≠ f(z)	K = f(propriétés du sol et du sous-sol)
Fonctions relatives au compartiment végétal				
Support de végétation		Sans	Indirecte : en lien avec la strate végétale et la capacité du sol à stocker de l'eau	Herbe : 0-40 cm Arbuste : 40-80 cm Arbre : 80-120 cm
Evapotranspiration	Flux d'eau ascendant à partir du sol et de la végétation	mm d'eau/m ²	Indirecte : en lien avec le type de végétation et la capacité du sol à stocker de l'eau	
Indicateur de capacité de la pleine terre à remplir tout ou partie des fonctions exercées par un sol naturel				
= somme des différentes fonctions	Indicateur global = somme des indicateurs des différentes fonctions exprimés en classe	sans	Directe = f(z)	Optimum atteint pour la tranche 0-120 cm associée à la <u>pleine terre</u> en milieu urbain

*En rouge, horizon le plus important pour la fonction

2.3 La notion de continuité verticale et latérale

La continuité verticale entre sol et sous-sol, c'est à dire l'absence d'interface construite imperméable, permet d'assurer l'infiltration des eaux.

En milieu urbain, la couverture pédologique, est réduite à une mosaïque de sols plus ou moins naturels séparée par des espaces plus ou moins artificialisés, voire imperméabilisés. La continuité latérale de ces sols rend par exemple possible la circulation de l'eau. Derrière cette continuité, se trouve également la notion de « trame brune ». En effet, les organismes présents dans les sols ont des besoins de déplacement pour accomplir leur cycle de vie, se reproduire, se nourrir, échapper à une densité intra-spécifique trop importante, à une qualité de l'habitat moindre, etc. (Mathieu, 2015).

Les arbres et arbustes tirent également avantage de cette continuité en échangeant de nombreux nutriments, via leurs racines et les réseaux de champignons souterrains ou mycorhizes, avec lesquels les arbres vivent en symbiose. Des arbres isolés dans leur fosse sont plus fragiles et moins résistants aux changements (climatiques, maladies, ressources ...) que s'ils partagent un volume de sol commun. Klein et al. 2016 ont notamment montré que les champignons mycorhiziens jouent un rôle de médiateurs et permettent les échanges de carbone entre arbres : jusqu'à 40 % du carbone qui se trouve dans les fines racines d'un arbre peut provenir de la photosynthèse d'un arbre voisin.

2.4 Conclusions et proposition de définition de la pleine terre

Ce travail bibliographique permet de proposer l'hypothèse de travail suivante : « l'épaisseur d'un sol en milieu urbain contribue à sa capacité à remplir tout ou partie des fonctions exercées par un sol naturel et peut en constituer un indicateur pertinent, abstraction faite de ses propriétés intrinsèques. ». La pleine terre, de par sa continuité potentielle de la surface jusqu'au « matériau parental » et de sa continuité latérale, peut être considérée comme un optimum de capacité de sols urbains à remplir tout ou partie des fonctions exercées par un sol naturel.

Ainsi au regard de la définition de l'artificialisation intégrée au projet de loi « Convention Citoyenne pour le Climat », les espaces de pleine terre présents dans le milieu urbain sont considérés comme non artificialisés, dans la mesure où les sols de ces espaces ont possiblement la capacité de remplir tout ou parties des fonctions exercées par un sol naturel.

La pleine terre est un sol urbain en capacité d'exercer tout ou partie des fonctions associées à un sol naturel. Le sol de pleine terre n'a pas forcément d'équivalent en milieu naturel.

La capacité d'un sol à remplir tout ou partie des fonctions exercées par un sol naturel, au-delà des caractéristiques intrinsèques du sol et de son épaisseur, dépend également fortement des usages et pratiques exercés sur ce sol (e.g. tassement, contamination, terrassement) qui constituent des facteurs d'influence majeurs sur les organismes du sol et les fonctions qu'ils assurent (Guilland, 2018).

Ainsi, en milieu urbain, le processus majeur de la pédogenèse est lié à l'homme alors qu'en milieu naturel ce sont les facteurs naturels qui vont influencer (matériau parental, climat, relief, végétation, temps). Dans la suite du propos, l'hypothèse est faite que la majeure partie des sols urbains végétalisés (pelouses, arbres, arbustes), ont fait l'objet d'un aménagement c'est à dire d'une reconstitution ou d'une reconstruction de sols afin de supporter la végétation qu'ils accueillent. Au regard de leur origine essentiellement anthropique, et en l'absence d'autres éléments de caractérisation des sols disponibles en milieu urbain, nous posons l'hypothèse que les sols urbains abritant une végétation peuvent être

associés à l'épaisseur de sol que les professionnels des espaces verts attribuent pour chaque strate de végétation : 0 – 0,4 m : strate herbacée (e.g. pelouse) ; 0 – 0,80 m : strate arbustive ; 0 – 1,2 m : strate arborée.

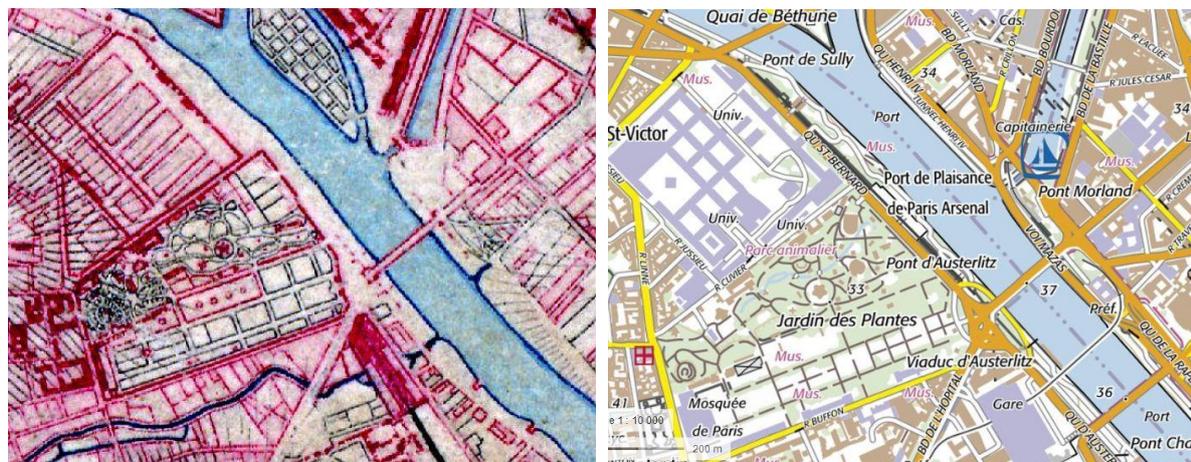
L'indicateur de « **capacité des sols urbains à remplir tout ou partie des fonctions exercées par les sols naturels** » est ainsi basé sur des classes d'épaisseur de sol identifiées à partir du type de végétation en place. La pleine terre, représentative de l'optimum, est associée à une épaisseur d'1 m à 1,20 m.

Dans les espaces de pleine terre, la continuité entre le sol et le sous-sol doit être assurée. Les sols sur dalles ne sont donc pas de pleine terre.

Sont considérés comme de pleine terre, les sols (péri)urbains dits relictuels, fragments de la couverture pédologique initiale formée sous le contrôle des seuls facteurs naturels, (e.g. certains parcs ou jardins) et ceux créés par l'homme de longue date et reconnus pour exercer certaines fonctions (jardins familiaux, etc..). Leur identification est faite sur la base de la connaissance de l'histoire de ces espaces verts par les collectivités.

A titre d'exemple, les deux extraits de carte ci-dessous présentent le jardin des plantes à Paris, espace relictuel en 1830 et aujourd'hui.

Figure 1 : Représentation du jardin des plantes de Paris en 1830 (Carte de l'Etat-Major de 1820-1866) et aujourd'hui (Carte IGN du Géoportail).



À noter que les notes issues de cette méthode indirecte ne doivent pas être comparées à celles acquises en milieu rural à partir des données associées au Référentiel Régional Pédologique (RRP) développées dans le projet MUSE (cf. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-muse-integrer-multifonctionnalite-sols-documents>). Les deux méthodes pourront se croiser sur la frange péri-urbaine.

Nous proposons aussi que les collectivités dans leurs nouveaux aménagements s'assurent de la « qualité » des nouveaux sols mis en place et réalisent le diagnostic de leur patrimoine afin de compléter cette première approche.

3. Vers une méthodologie de représentation cartographique d'un indicateur de capacité d'un sol à remplir tout ou partie des fonctions exercées par un sol naturel

Sur la base des éléments précédents, plusieurs types de données sources peuvent être utilisées pour la représentation spatiale de l'indicateur de « capacité des sols urbains à remplir tout ou partie des fonctions exercées par les sols naturels » :

➤ **Soit des données satellitaires biophysiques renseignant sur la couverture du sol (= état de surface) :**

- Les **couches du taux d'imperméabilisation du sol** issues du Programme européen « Copernicus HR Imperviousness » permettent de représenter de manière cartographique :
 - les espaces totalement couverts ou scellés caractérisés par un taux d'imperméabilisation très important que l'on peut assimiler à une « absence » de sol de surface ;
 - les espaces de sol ouverts caractérisés par un taux d'imperméabilisation nulle à faible que l'on peut assimiler à une « présence » potentielle de sol.
- Les **couches du pourcentage de couvert arboré** du programme européen « Copernicus HR Tree Cover Density » permettent de représenter de manière cartographique la couverture arborée d'un sol. Ainsi, la couverture arborée maximale est associée, au regard de la revue bibliographique précédente, à l'optimum de pleine terre.

Ces couches sont disponibles sur l'ensemble du territoire métropolitain, il est alors possible de les croiser afin d'obtenir une notation de type 0 pour les sols scellés, de 2 pour les sols arborés et une note intermédiaire de 1 pour les sols perméables végétalisés non arborés.

D'autres bases de données peuvent également être utilisées, comme par exemple la **base de données nationale OCS-GE** (Occupation du Sol à Grande Echelle) qui sera, à terme, une base de données pour la description de l'occupation du sol de l'ensemble du territoire métropolitain et des départements d'outre-mer. L'OCS-GE permet, entre autres, d'identifier la couverture du sol et notamment les différentes formations arborées, arbustives et sous-arbrisseaux et herbacées.

À noter qu'en Ile-de-France, l'OCS-GE n'étant pas encore disponible, la couche « hauteur de végétation » de l'Agence Parisienne d'Urbanisme (APUR) peut être utilisée.

Tableau 3 : Caractéristiques des données biophysiques :

Représentation	Origine	Données	Application	Couverture	Mise à jour
Taux d'imperméabilisation	Copernicus	Paramètre biophysique Indice NDVI	Raster 10 m X 10 m	France entière	3 ans (2015)
Taux de couvert arboré	Copernicus	Paramètre biophysique Indice NDVI	Raster 10 m X 10 m	France entière	3 ans (2015)
Occupation du sol – Grande Echelle	IGN	Couverture du sol - Formations	Vecteur (1/2 500)	A terme : France entière – pas encore sur IDF	3 ans
Hauteur de végétation	APUR	Paramètre biophysique Indice NDVI	Raster 15 m X 15 m	Paris Proche Couronne	?

Ce type de données « brutes », peu remaniées, présente l'avantage de fournir une image de la couverture du sol selon un maillage systématique, à une échelle relativement fine (pixel de 10m X 10m), sur tout le territoire national. Les données Copernicus peuvent servir à représenter les extrêmes de profondeur de sols : 0 m et 1,2 m. Associées aux cartes des hauteurs de végétation réalisées par l'APUR en Ile-de- France ou à terme, par l'OCS-GE sur l'ensemble du territoire, ces données permettraient d'approcher la capacité des sols à remplir tout ou partie des fonctions exercées par le sol naturel des sols en milieu urbain.

➤ **Soit des données liées à la couverture ou aux usages des sols :**

Mode d'Occupation du Sol (MOS) : le gradient d'épaisseur de sol peut être cartographié en fonction du type d'occupation du sol : par type de poste est attribuée une épaisseur de sol à dire d'expert. Cette méthode s'inspire de l'indicateur BioMOS (Liénard, 2019) qui permet de calculer, pour un territoire déterminé (ou un poste d'occupation du sol), un « niveau de biotopes » qui reflète la potentialité des espaces, ou habitats présents sur ce territoire, en termes d'accueil de biodiversité. Le calcul se fait grâce à des facteurs de pondération attachés à des typologies d'espaces.

Tableau 2 : Caractéristiques des données d'occupation du sol :

Représentation	Origine	Données	Application	Couverture	Màj
MOS	Divers en fonction des régions	Postes d'Occupation du sol	Vecteur 1/5 000	Divers en fonction des régions	Divers en fonction des régions

Les données du MOS Ile-de-France (Institut Paris région) par exemple ont l'avantage d'être mises à jour régulièrement depuis 1982 et de descendre à une échelle assez fine sur tout le territoire francilien (1/5 000^e). Le MOS IDF présente jusqu'à 81 postes d'occupation du sol.

Cependant, il s'agit de données en base vecteur, dépendant de l'objet observé, qui homogénéise la variabilité présente dans cet objet contrairement aux données biophysiques. De plus, certains types d'occupation du sol ne permettent de prévoir les hauteurs de végétation et donc les épaisseurs de sol potentielles. C'est le cas par exemple du poste d'occupation du sol « Parcs et jardins » qui peut recouvrir différents types de végétation comme la pelouse, des arbustes ou des arbres.

4. Limites de la méthode

Quelques limites se dégagent de cette approche indirecte du bon fonctionnement des sols par leur épaisseur et la hauteur de végétation associée :

- tous les sols en milieu urbain n'ont pas fait l'objet d'un aménagement ou d'une reconstitution/reconstruction de sol : c'est le cas notamment des sols relictuels pour lesquels il est proposé une approche complémentaire,
- les sols ne sont pas toujours utilisés au maximum de leurs potentialités notamment en termes de plantations, inversement, la végétation implantée n'est pas forcément adaptée et risque donc de végétrer ou disparaître notamment si le sol présente d'autres contraintes majeures ou rédhibitoires autre que l'épaisseur (par ex. le pH, la toxicité, etc.),
- les emprises de végétation du couvert arboré produit par le programme Copernicus sont équivalentes à une vue aérienne ce qui signifie que la superficie considérée inclut également la couronne des arbres donc surestime la superficie de sol à disposition des racines.

Cette méthode est un 1^{er} essai d'approche de la capacité des sols en **milieu urbain à remplir tout ou partie des fonctions exercées par les sols naturels**. Elle permet de dégager de grandes tendances sur la qualité des espaces qui devront être confirmées (ou non) à un niveau local par le biais notamment de mesures de terrain.

5. Conclusion

La pleine terre est une notion déjà présente dans certains documents de planification, dont les définitions peuvent intégrer, en fonction de l'ambition de la collectivité, une référence aux fonctions des sols. Une proposition de définition est proposée dans le cadre de ce rapport.

Généralement, le terme de pleine terre est employé dans le règlement par la collectivité afin d'imposer un taux minimal de surface de pleine terre lors de construction de zones pavillonnaires ou zones d'activités par exemple. Cette approche, plutôt quantitative, ne permet pas de prendre en compte le bon fonctionnement des sols si ce n'est à travers la qualité paysagère et la plantation d'arbres parfois exigée dans les documents de planification.

Aujourd'hui, aucune base de données ne rend compte directement de la capacité de sol urbain à remplir tout ou partie des fonctions exercées par un sol naturel, contrairement au milieu rural et péri-urbain où une approche de la multifonctionnalité des sols par le biais des référentiels régionaux pédologiques (RRP), programme coordonnée par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, et des données associées est possible.

En milieu urbain, il est proposé, sur la base de la littérature scientifique, que la capacité de sol urbain à remplir tout ou partie des fonctions exercées par un sol naturel soit approchée de manière indirecte par des classes d'épaisseur des sols. L'hypothèse de travail principale étant que la plupart des sols en milieu urbain ont fait l'objet d'une reconstitution ou d'une reconstruction de sol en fonction des strates de végétation prévue dans le projet d'aménagement. La pleine terre représente un optimum de fonctionnement des sols urbains, associée à une épaisseur d'environ 1 m à 1,2 m.

La représentation graphique de cet indicateur de bon fonctionnement des sols pourra être réalisée de préférence par le biais de données « aériennes » biophysiques renseignant sur la couverture du sol et son état de surface.

Annexe I : bibliographie

Amossé, J., Dozsa-Farkas, K., Boros, G., Rochat, G., Sandoz, G., Fournier, B., Mitchell, E., Le Bayon, R-C., (2016). Patterns of earthworm, enchytraeid and nematode diversity and community structure in urban soils of different ages. *European Journal of Soil Biology*, Volume 73, March–April 2016, p. 46-58.

Biotope, Baptiste, F. (2019). Fonctions et Services écosystémiques rendus par les sols. Présentation dans le cadre de l'atelier ADEME du 12/06/2019. (Non disponible)

Blanchart, A., Calvaruso, C., Eglin, T., Pierart, A. Grand, C., (2019). Méthodologies d'évaluation des fonctions et des services écosystémiques rendus par les sols, Synthèse séminaire du 12 juin 2019, INRA Orléans. 31 pages.

Blouin, M., Hodson, M., Delgado, E., Baker, G., Brussard, L., Butt, K., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J., Cluzeau, D., et Brun, J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services: Earthworm impact on ecosystem services. *European Journal of Soil Science* Volume 64, Issue2, April 2013, Pages 161-182.

Boithias, L., Marseille, F. 2019. Quelle prise en compte des sols dans les documents d'urbanisme ? Rapport d'études Cerema. 126 p.

Boldrin, D., Leung, A.K, Benghough, A.G., Jones, H.G. (2019). Potential of thermal imaging in soil bioengineering to assess plant ability for soil water removal and air cooling. *Ecological Engineering*, Volume 141, December 2019, 105599.

Fern Ow, L., Ghosh, S., Lokman, M., Yusol, M., (2019). Growth of *Samanea saman*: Estimated cooling potential of this tree in an urban environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 41, May 2019, Pages 264-271.

Frey S.D., 2015. The Spatial Distribution of Soil Biota. In *Soil Microbiology Ecology and Biochemistry*, 4th ed., p.223–244. Elsevier Inc.

Geissen, V., Wang, S., Oostindie, K., Huerta, E., Zwart, K., Smit, A., Ritsema, C., Moore, D., (2013) Effects of topsoil removal as a nature management technique on soil functions. *CATENA*. Volume 101, February 2013, Pages 50-55.

Gobat, J-M., Aragno, M., et Matthey, W. (2003). Le sol vivant. Bases de pédologie – Biologie des sols. 2e éd. revue et augmentée. Coll. Gérer l'environnement. Les Presses polytechniques et universitaires romandes.

Guilland, C., Maron, P-A., Damas, O., et L. Ranjard (2018). La biodiversité des sols urbains au service des villes durables. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 25.

ISO, 2015. Norme NF ISO 11074 Qualité du sol - Vocabulaire [www document].

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil quality : a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, p.4–10.

Klein, T., Siegwolf, R., Körner, C. (2016). Belowground carbon trade among tall trees in a temperate forest. *Science*. Vol. 352, Issue 6283, pp. 342-344.

Lavabre, J., Andréassian, V., (2000). Eaux et Forêts. La forêt, un outil de gestion des eaux ? Cemagref Éditions, 2000. 116 p.

Leroi, T. (2019). Projet MUSE. Intégrer la multifonctionnalité des sols dans la planification urbaine - Application sur le territoire de Nantes Métropole. (Non disponible), 143 p., rapport de stage de l'ENTPE, encadrement BRGM.

Li, A., Tan, X., Wu, W., Liu, H., Zhu, J., (2017) Predicting active-layer soil thickness using topographic variables at a small watershed scale. PLoS ONE 12(9): e0183742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183742>

Lénard, S., Clergeau, P., Thomachot, M., Rigail, P., Vincent, J-M., Boret, D., (2009). DREIF. Intégrer la biodiversité dans les projets d'aménagement : qualifier les espaces pour contribuer aux choix d'aménagement.

Mathieu, J., (2015). Biodiversité et syndrome de dispersion dans les communautés de macrofaune du sol. Habilitation à diriger des recherches. Spécialité écologie. Université Pierre et Marie Curie.

Somerville, P., Farrell, C., May, P., Livesley, S., (2020). Biochar and compost equally improve urban soil physical and biological properties and tree growth, with no added benefit in combination. Science of the Total Environment, Volume 706, 1 March 2020, 135736.

Tiercelin, J-R (2008). L'eau et les espaces verts. LAVOISIER / TEC ET DOC. 143 p.

Union Nationale des Entreprises du Paysage (2012). P.C.1-R0 : Travaux des sols, supports de paysage – Caractérisation, amélioration, valorisation et reconstitution. Règles professionnelles. 57 p.

Vergnes, A., Blouin, M., Muratet, A., Lerch, T., Mendez-Millan, M., Rouelle-Castrec, M., Dubs, F., (2017). Initial conditions during Technosol implementation shape earthworms and ants diversity. Landscape and Urban Planning 159, (2017), p.32–41.

Xie, C., Cai, S., Yu, B., Yan, L., Liang, A., Che, S., et al. (2020). The effects of tree root density on water infiltration in urban soil based on a Ground Penetrating Radar in Shanghai, China. Urban Forestry & Urban Greening, Volume 50, April 2020, 126648.

Annexe II : définitions de la pleine terre issues des PLU de 15 collectivités

PLU de Sèvres

<https://www.sevres.fr/cadre-de-vie/urbanisme/plan-local-durbanisme>

Un espace vert est considéré comme de pleine terre lorsqu'il n'existe pas d'ouvrage projeté dans les tréfonds. Sont inclus les espaces accessoires contribuant à l'aménagement desdits espaces et jardins (notamment les passages piétons dallés, bassins, pergolas). Sont exclus les rampes et les chemins d'accès. Les espaces végétalisés sur dalle ne sont pas comptabilisés dans les espaces verts de pleine terre. Il en va de même des espaces végétalisés situés dans l'emprise au sol des constructions telle que définie par le présent règlement.

PLUm de Nantes Métropole

<https://plum.nantesmetropole.fr/home.html>

Un espace non construit peut être qualifié de pleine terre si :

- son revêtement est perméable ;
- sur une profondeur de **10 mètres de profondeur** à compter de sa surface, il ne comporte que le passage éventuel de réseaux (électricité, téléphone, internet, eaux potables, usées, pluviales) ;
- il doit pouvoir recevoir des plantations.

Les aires de stationnement et leurs accès sont exclus des surfaces de pleine terre.

PLU de Paris – PLU de Goussainville

http://pluenligne.paris.fr/plu/sites-plu/site_statique_46/index_plu.html

<http://www.ville-goussainville.fr/cadre-de-vie/urbanisme/plu/plu-approuve>

Un espace est considéré comme de pleine terre lorsque les éventuels ouvrages existants ou projetés dans son tréfonds ne portent pas préjudice à l'équilibre pédologique du sol et permettent notamment le raccordement de son sous-sol à la nappe phréatique.

Les ouvrages d'infrastructure profonds participant à l'équipement urbain (ouvrages ferroviaires, réseaux, canalisations...) ne sont pas de nature à déqualifier un espace de pleine terre. Les locaux souterrains attenants aux constructions en élévation et en dépendant directement, quelle que soit la profondeur desdits locaux ne permettent pas de le qualifier de pleine terre.

PLU de Nogent / Marne

<https://ville-nogentsurmarne.com/cadre-de-vie/urbanisme/plu/>

Un espace libre/non construit ne peut être qualifié de « pleine terre » que s'il répond aux conditions cumulatives suivantes :

☑ Son revêtement est perméable ;

☑ sur une profondeur de **3m à compter de sa surface**, il ne comporte que le passage éventuel de réseaux (électricité, téléphone, internet, eau potable, eaux usées ou pluviales) ;

☑ il peut recevoir des plantations.

Les aires de stationnement sont exclues des surfaces de pleine terre

PLU Maisons Alfort

<https://maisons-alfort.fr/votre-cadre-de-vie/urbanisme-et-amenagement/plan-local-durbanisme/>

Un espace est considéré comme de pleine terre lorsqu'il n'existe aucune construction en sous-sol, ni en surplomb, à l'exception des débords de toiture, des modénatures et oriels.

Plu Clermont-Ferrand

<https://clermont-ferrand.fr/plu-approuve-le-4-novembre-2016>

La pleine terre (PLT) est une terre végétale en relation directe avec les strates du sol naturel. Sont également comptabilisés les espaces en eau ou liés à l'infiltration naturelle des eaux de ruissellement.

PLU Malakoff

<https://www.malakoff.fr/299/cadre-de-vie/urbanisme-a-malakoff/plan-local-d-urbanisme.htm#c2397>

Est considéré comme jardin en pleine terre toute surface non réservée au stationnement et à ses circulations permettant une infiltration naturelle des eaux pluviales. Les jardins en pleine terre peuvent comporter des terrasses en bois et des allées perméables sans fondations lourdes.

Plui-H de Toulouse Métropole

<https://www.toulouse-metropole.fr/plan-local-d-urbanisme-intercommunal-habitat/>

Espaces de terre meuble engazonnés et plantés, libres de toute construction en surface comme en sous-sol. Ils peuvent comprendre les cheminements piétons, parvis, etc ... s'ils sont traités de manière perméable. Ils ne comprennent pas les aires de stationnement et leurs surfaces de circulation, les piscines, etc ...

NB : Les espaces de pleine terre des documents graphiques de détails du règlement permettent certains modes d'occupation du sol définis par le règlement.

PLUi-HD du Grand Chambéry

<https://www.grandchambery.fr/2624-les-documents-du-plui-hd.htm#par28594>

Un espace libre ne peut être qualifié de « pleine terre » que s'il répond aux conditions cumulatives suivantes :

- son revêtement est perméable ;

- sur une profondeur de 3 m à compter de sa surface, il ne comporte que le passage éventuel de réseaux (électricité, téléphone, internet, eau potable, eaux usées ou pluviales) ;
- il peut recevoir des plantations.

PLU Samois-sur-Seine

www.pays-fontainebleau.fr/le-plan-local-durbanisme-plu/

Un espace est considéré comme de pleine terre lorsque les éventuels ouvrages existants ou projetés n'entravent pas le raccordement de son sous-sol à la nappe phréatique. Les ouvrages d'infrastructure profonds participant à l'équipement urbain (ouvrages ferroviaires, réseaux, canalisations...) ne sont pas de nature à déqualifier un espace de pleine terre. Les locaux souterrains attenants aux constructions en élévation et en dépendant directement, quelle que soit la profondeur desdits locaux ne permettent pas de le qualifier de pleine terre.

Les espaces de pleine terre devront être végétalisés en surface.

PLU Cadaujac

www.mairie.cadaujac.fr

Un espace peut être qualifié d'espace de pleine terre s'il n'est le support d'aucun aménagement autre que les aménagements propres aux jardins et espaces verts, ni d'aucune construction, aussi bien au-dessus du sol qu'au-dessous du niveau du sol naturel sur **une profondeur de 10 mètres**. Il peut en revanche être traversé par des réseaux techniques aériens ou souterrains. Sont considérés comme espaces de pleine terre, toutes les surfaces liées aux jardins et espaces verts qui sont maintenues ou reconverties en terre et qui ne sont pas situées sur des constructions (dalle, toit...). Les places de stationnements et les aires de manœuvre ne peuvent être considérées comme espaces de pleine terre. Dans le cas des secteurs à plan de masse institués par le règlement, les obligations en matière de pleine terre ne s'appliquent pas aux terrains couverts.

PLU Rosny-sous-Bois

<https://www.rosnysousbois.fr/amenagement-urbain/le-plan-local-durbanisme/>

Sont considérés comme espaces de pleine terre les espaces libres non bâtis ni en surface ni en sous-sol permettant la libre infiltration des eaux pluviales. Tout espace surplombé d'une terrasse ou d'un balcon n'est pas comptabilisé dans la superficie des espaces de pleine terre. Tout espace vert de pleine terre surplombé d'une terrasse ou d'un balcon : □ n'est pas comptabilisé dans la superficie des espaces de pleine terre, □ est comptabilisé au titre des espaces végétalisés complémentaires avec un coefficient modérateur de 0,8. Les aires de stationnement extérieures et leurs accès et les espaces de circulation des véhicules motorisés ne sont pas comptabilisés dans la superficie des espaces végétalisés (de pleine terre ou complémentaire).

PLU de Métropole Européenne Lille

<https://documents-plu2.lillemetropole.fr/Accueil.html>

Les espaces verts de pleine terre correspondent aux surfaces libres de tout revêtement ou infrastructure et pouvant accueillir des plantations de tout type. Ces espaces ont vocation à être qualitatifs, plantés et paysagés.

Les espaces libres de toute construction et de tout aménagement et installation technique liés aux constructions (stationnement, accès, édicules,...) doivent faire l'objet d'un aménagement végétalisé qualitatif et/ou être arborés.

PLU-H de Lyon Métropole

<https://www.grandlyon.com/services/plu-h-sur-internet.html>

La pleine terre est constituée d'un espace végétalisé, ne pouvant comporter dans son sous-sol que :

- des canalisations, drains, lignes ou câbles ;
- des ouvrages d'infrastructure publique, ainsi que les outillages, équipements ou installations techniques directement liés à leur fonctionnement et à leur exploitation ;
- des murs de soutènement et enrochements

La surface totale en pleine terre est réalisée :

- d'un seul tenant pour au moins ses deux tiers. Toutefois, alors même qu'ils ne sont pas comptabilisés dans la surface de pleine terre, les cheminements piétons ne sont pas considérés comme constituant une interruption dudit tenant, dès lors qu'ils sont réalisés avec des matériaux assurant la perméabilité de leur emprise ;
- et chacune de ses parties présente une largeur minimale de 4 mètres.

La référence de la règle ci-avant est la surface de pleine terre issue de l'application exclusive du coefficient de pleine terre fixé au chapitre 3 paragraphe 3.2.1 du règlement de la zone considérée. En revanche, dans la zone URm2, à l'exception des secteurs de cette zone, seul est pris en considération le coefficient de pleine terre graphique.

En outre, les espaces de pleine terre constituent des éléments structurants de la composition d'ensemble du projet.

Annexe III : tableau synthétique des définitions issues des 15 PLU

Le tableau ci-dessous présente l'analyse de 15 PLU dans lesquels la définition de pleine terre était donnée (cf. définitions en fin de document). Ok = compatible avec la pleine terre / Non = non compatible avec la pleine terre / Case blanche = non précisé dans la définition

Termes présents dans la définition de la Pleine Terre	Sèvres	Nantes	Paris	Goussainville	Nogent/Marne	Maisons-Alfort	Clermont	Malakoff	Toulouse	Chambéry	Saumoises/Seine	Cadaujac	Rosny/Bois	Lille	Grand Lyon	Total
Ouvrage en surface (aucun)						ok							ok	ok		2
Ouvrage en surface (allée perméable, pergolas, bassins, terrasses en bois)	ok							ok	ok			ok				4
Ouvrage en surface (accès, rampes, aire stationnement, dalle)	Non				Non							Non	Non			4
Ouvrage en sous-sol (aucun)									ok				ok			2
Ouvrage en sous-sol (réseaux)		ok	ok	ok	ok						ok	ok			ok	6
Ouvrages en sous-sol (locaux, fondations)			Non	Non							Non					3
Perméabilité, en lien avec nappe phréatique		ok	ok	ok	ok		ok	ok	ok		ok		ok		ok	9
Lien avec sol naturel							ok			ok						2
Services/fonctions (plantations)		Pl.			Pl.						Pl.			Pl.	Pl.	4
Epaisseur, profondeur en m		10			3							10				3

Projet MUSE financé par l'Ademe



Citation du livrable :

Branchu P., Marseille, F., Béchet B., Bessière J.-P., Boithias L, Duvigneau C., Genesco P., Keller C., Lambert M.-L., Laroche B., Le Guern C., Lemot A., Métois R., Moulin J., Néel C., Sheriff R. (2022). MUSE. Intégrer la multifonctionnalité dans les documents d'urbanisme. 184 pages

Partenaires :

