



Intégrer la biodiversité, le risque d'exposition et les services écosystémiques dans la revalorisation des zones industrielles

Contraintes et perspectives

Intersol 2024



Usage des sols et aménagement durable

Damage environnemental et Responsabilité environnementale

La Directive 2004/35/CE définit le dommage environnemental comme tout dommage qui :

- affecte de manière significative les **ressources en eau**,
 - telles que définies dans la directive-cadre européenne sur l'eau;
- affecte les **sols** et qui engendre un risque d'incidence négative grave sur **la santé humaine**
- affecte les **espèces protégées et les habitats naturels** et qui a une incidence négative sur **la conservation**
 - telle que définie dans les directives Natura2000 sur la conservation des oiseaux sauvages et des habitats naturels.

En dehors des espaces protégés, la dégradation de la qualité des sols est un dommage environnemental seulement s'il y a une conséquence sur la santé humaine.

➡ **La suppression des risques d'exposition aux polluants est recherchée**
L'évaluation des risques est réalisée à une échelle de temps d'une vie humaine



Santé des sols et services écosystémiques pour les humains

Directive sur la surveillance et la resilience des sols

- Attribuer aux sols un même niveau de protection que l'eau ou l'air → des sols “sains” à l'horizon 2050
- Définit les sols sains, met en place une surveillance des sols, pose les bases d'une gestion durable des sols et de la remediation des sols pollués
- Dans l'idée de la Directive : “Les sols sains présentent un bon état chimique, biologique et physique, de sorte qu'ils peuvent rendre des services écosystémiques vitaux pour les humains et l'environnement »
- De manière « opérationnelle », les sols sains doivent satisfaire à plusieurs critères : des valeurs limites sont fixées pour plusieurs descripteurs, plutôt relatifs à des menaces (ex : taux d'érosion en t/ha/an)

La dégradation de la qualité des sols est appréhendée en termes de menaces pesant sur les services écosystémiques dont l'Homme dépend pour vivre



Une gestion durable des sols est recherchée = à organiser au niveau des plans et programmes, éviter les pratiques à risque



Risques sur la santé humaine des sols dégradés

Gestion du passif industriel

Préservation des sols pour réduire le risque d'exposition aux contaminants

- Réduire une part significative des pollutions,
- Maîtriser les vecteurs de transferts et d'exposition
- Restaurer un état des milieux compatible avec les usages

Zones traitées : concerne les pollutions concentrées avec une optimisation du ratio volume de sol / masse de polluant

Mesures de gestion : pour les aménagements urbains, concerne le plus souvent les pollutions diffuses réparties sur de grandes surfaces et à faible profondeur. Les mesures de gestion sont généralement le recouvrement et/ou l'excavation des sols.

Ecologie et aménagement des territoires

Préservation des sols pour réduire le risque d'exposition au dérèglement climatique et à l'érosion de la biodiversité

- Dépolluer une part significative des sols contaminés,
- Contrôler l'artificialisation des sols
- Restaurer les écosystèmes des sols

Zones traitées : concerne les sols dégradés avec une optimisation du ratio volume de sol / superficie

Mesures de gestion : pour les aménagements urbains, implique le plus souvent la végétalisation et la désimperméabilisation des sols

➡ **Intégration de la désimperméabilisation et de la végétalisation dans les mesures de gestion des sols dégradés / contaminés ?**



La végétalisation à la base de nombreuses fonctions écologiques



Image Credit: Lidiane Miotto/Shutterstock.com



Fonctions écologiques

- Stockage et transformation de la MO (carbone)
- Rétention et fourniture des nutriments
- Contrôle de la composition chimique de l'atmosphère
- Rétention, circulation et infiltration de l'eau
- Contribution aux processus climatiques (température, hygrométrie)
- Habitats d'espèces



Rétention, transformation et élimination des polluants organiques et inorganiques dans l'eau, l'air et les sols



Voies de transfert



Services écosystémiques

- Régulation du climat global et local
- Régulation de la qualité de l'air
- Régulation de la qualité du sol
- Régulation de la qualité des ressources en eau et des inondations
- Intérêts pédagogiques et scientifiques,
- Patrimoine naturel (biodiversité)



Consommation des produits alimentaires
Régulation des eaux pluviales
Intérêts récréatifs
Aménités paysagères



Usage résidentiel



Maîtriser les voies de transfert lors de la désimperméabilisation et de la végétalisation des sols

Réduire les incertitudes sur les niveaux d'exposition pour ne pas majorer excessivement les risques et entraîner des mesures moins favorables à la conservation de la santé des sols



Des incertitudes à plusieurs niveaux :

Scénarios d'exposition considérées
(habitudes alimentaires,...)

Détermination de la biodisponibilité des
métaux pour les végétaux

Méthodes de calcul de bioaccessibilité du plomb à
partir des concentrations dans les sols



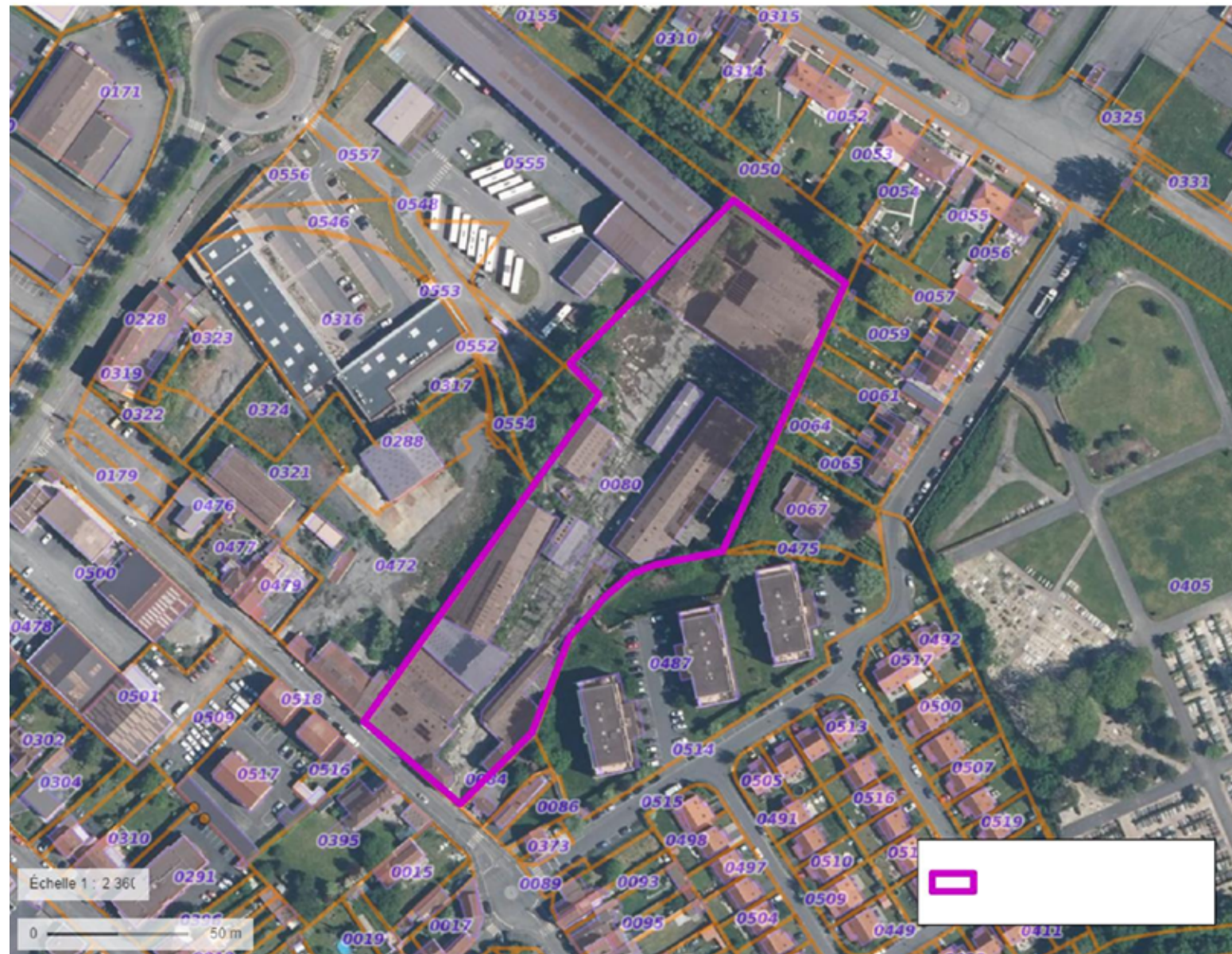


Etude des risques sanitaires dans un contexte résidentiel

Cas d'étude sur une friche industrielle dans un contexte urbain résidentiel

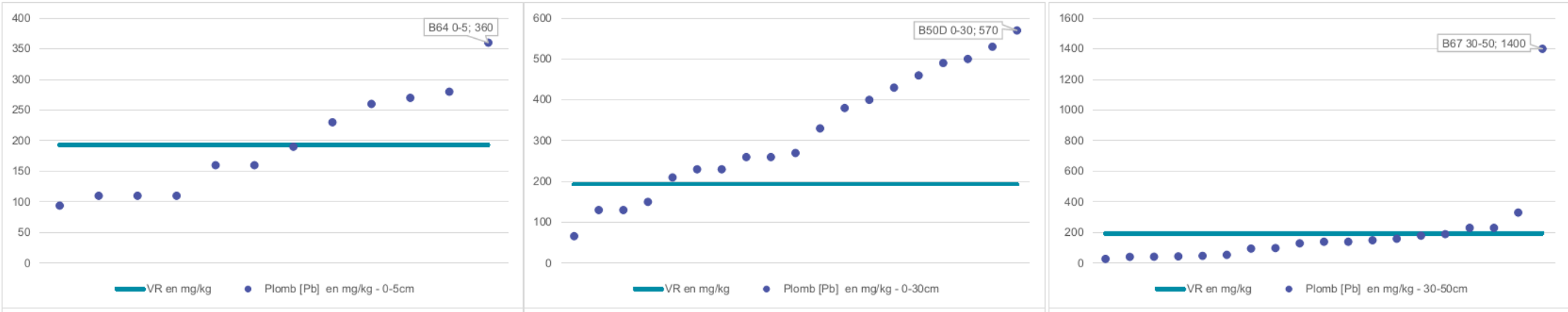
Contexte de l'étude

- Site exploité de 1920 à 1997 :
 - récupération de vieux métaux (batterie, fils électriques, ...)
 - fonderie de plomb, zinc et cuivre
- **2019** : Diagnostic hors-site des sols de surface (0-10cm) et IEM
 - Contamination avérée des sols en bordure immédiate du site principalement en métaux : cadmium, cuivre, **plomb** et zinc
- **2023** : Diagnostic complémentaire afin de **réduire les incertitudes** sur les risques sanitaires



Risques d'ingestion de sol et bioaccessibilité des métaux

Concentrations totales dans les sols



Concentrations en Plomb > au fond géochimique local (valeur INRA NPdC) principalement pour les sols de surface

Essais de bioaccessibilité

Compartiment	Test UBM (normalisé)	Test HCL (simplifié)
Gastrique	entre 46 % et 78,7 % (moyenne de 62,35 %),	entre 76,8 % et 132,7 % (moyenne de 100,81 %)
Gastro-intestinal	entre 21,9 % et 36,8 % (moyenne de 29,35 %)	entre 8,3 % et 13,2 % (moyenne de 10,66 %)

Globalement, le test simplifié surestime la bioaccessibilité gastrique alors qu'il sous-estime la bioaccessibilité gastro-intestinale.



Risques d'ingestion de végétaux contaminés en Plomb et Cadmium

Résultats sur les végétaux

- Peu de potager dans le secteur et des végétaux disponibles dans le secteur d'étude
- Comparaison aux valeurs réglementaires (règlement CE de 2006) pour le Pb et Cd
 - Concentrations jusqu'à 20 fois supérieures pour le plomb

Parcelle				B61				B55
Echantillon				laitue	menthe	rhubarbe	ciboulette	tomate
Date				02/08/2022	02/08/2022	02/08/2022	02/08/2022	19/09/2022
Type		VRR		Légume feuille	Fines herbes	Légume feuille	Fines herbes	Fruit
Paramètres	Unité	Légume feuille	Fruit					
Humidité	%			90,5	59,2	94,8	69,2	92,4
Arsenic (As)	mg/kg			0,195	0,087	<0,002	0,026	<0,002
Cadmium (Cd)	mg/kg	0,1	0,02	0,2	0,05	0,008	0,903	0,005
Chrome (Cr)	mg/kg			1,53	1,48	0,037	0,407	<0,02
Cuivre (Cu)	mg/kg			1,47	24	0,22	3,1	0,754
Mercure (Hg)	mg/kg			0,003	0,005	<0,002	0,004	<0,002
Nickel (Ni)	mg/kg			0,597	1,17	<0,1	0,971	<0,1
Plomb (Pb)	mg/kg	0,3	0,1	7,18	0,55	0,016	0,263	<0,002
Zinc (Zn)	mg/kg			74	165	2,19	397	2,26

Conclusions

Réduire les incertitudes dans les calculs de risques semble peu réaliste dès lors que l'ingestion de sol ou de végétaux est considéré

- La prise en compte des végétaux uniquement présents chez les riverains ainsi que la bioaccessibilité n'ont pas permis de réduire les indices de risques calculés :
 - BA gastrique moyenne = 62% : DJE ajustée d'un facteur de 1,2
 - BA gastro-intestinale moyenne = 29% : DJE ajustée d'un facteur de 0,5
- **La qualité des milieux n'est pas compatible avec les usages considérés**
- **Mesure de gestion pour rendre compatible l'usage des sols avec un usage récréatif** (profiter d'un espace vert privé tout en favorisant les services écosystémiques en ville et améliorer le cadre de vie) :
 - Interdiction de produire des denrées alimentaires sur certaines parcelles
 - Mesures d'hygiène
 - Et ... le recouvrement de certaines parcelles !





Améliorer les services
écosystémiques malgré les
contraintes sanitaires initiales

Cas d'étude sur le réaménagement d'une friche industrielle dans un contexte urbain résidentiel

Contexte de l'étude

- Ancien site industriel (25 240 m²) : fabrication de pièces mécaniques pour l'industrie automobile
- Pollutions diverses dans les sols et les eaux souterraines : nickel, HCT, PCB, COHV
- > conversion en usage tertiaire et résidentiel
- EQRS → préconisations de construction, interdiction d'implanter des potagers
- **Pour autant, le sol est potentiellement la source d'autres services écosystémiques**



Mesures de gestion des pollutions

Délimitation des pollutions

- **Des pollutions concentrées**
- Dans les sols : 4 zones délimitées avec impacts en surface principalement en HCT
- zone 1 avec impact en profondeur en HCT et PCB



**Excavation et traitement hors site (biocentre)
des 4 zones de 0 à 3 m de profondeur
(creusement des sous-sols) > 2118 t
Confinement sous bâtiment de la zone 1
profonde (2300 t)**

Carte de répartition des HCT et PCB : HCT > 800 mg/kg et PCB > 1 mg/kg de 0 à 8 m



Mesures de gestion des pollutions

Délimitation des pollutions

- **Des pollutions concentrées**
- Dans les sols : 4 zones délimitées avec impacts en surface principalement en HCT
- zone 1 avec impact en profondeur en HCT et PCB



**Excavation et traitement hors site (biocentre)
des 4 zones de 0 à 3 m de profondeur
(creusement des sous-sols) > 2118 t
Confinement sous bâtiment de la zone 1
profonde (2300 t)**

- **Des pollutions diffuses**
- Présence de traces de COHV dans les remblais
- Dans les eaux souterraines : impact faible mais généralisé en solvants chlorés

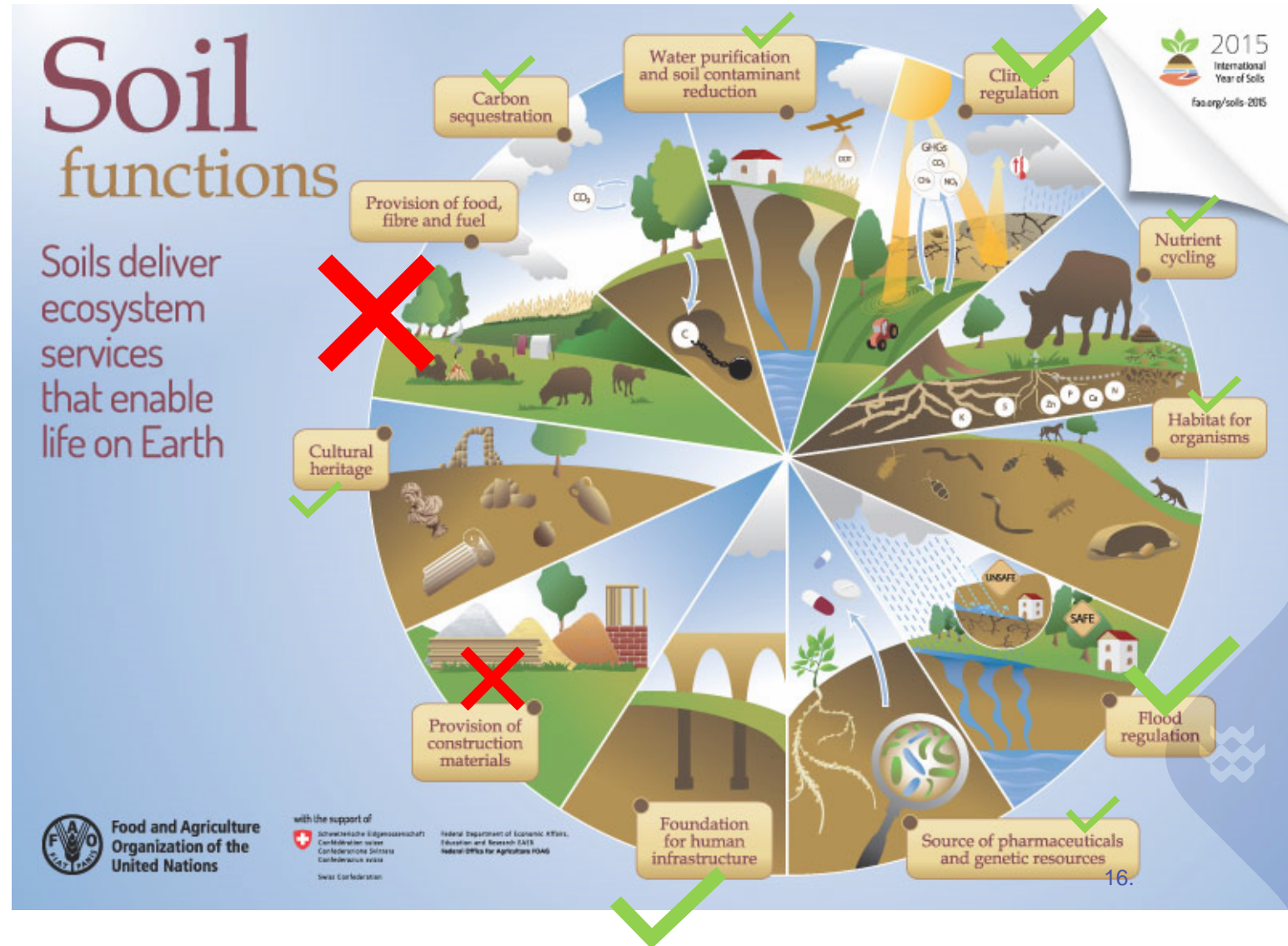


**Dispositions constructives : épaisseur de la
dale, ventilation, hauteur sous plafond des
sous-sols**



Améliorer les (nombreux) services écosystémiques possibles

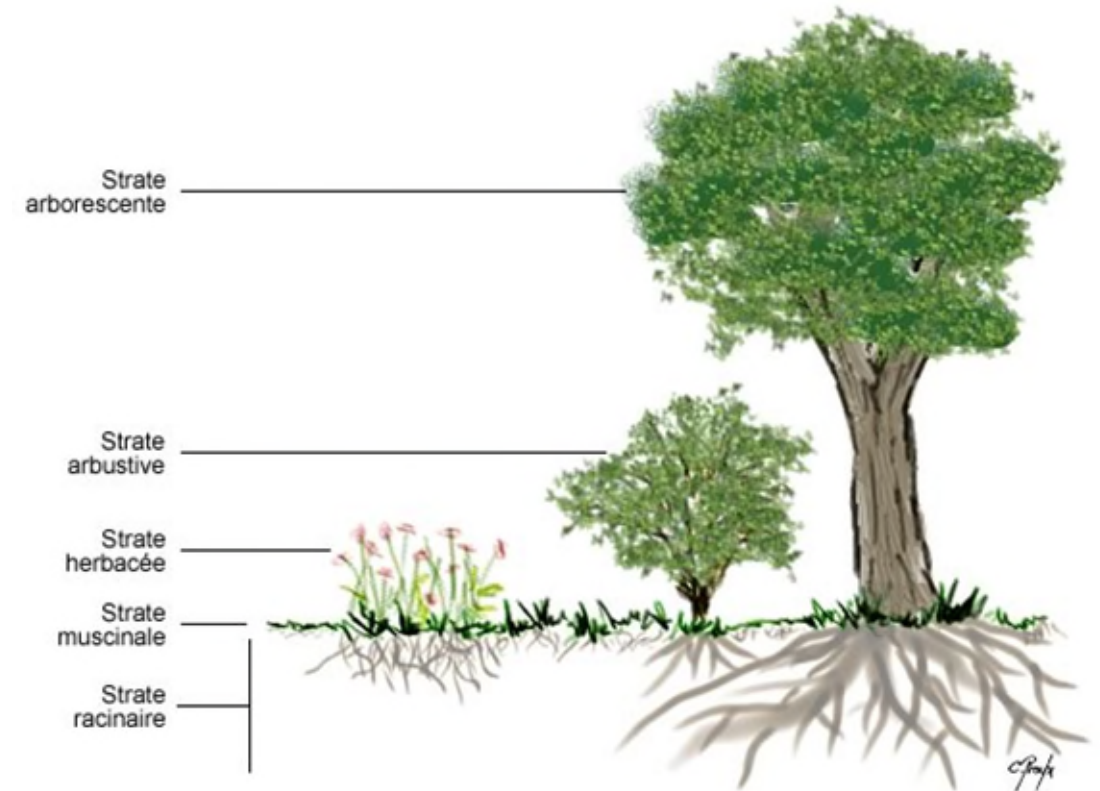
- **Support de construction** : programmation en adéquation avec les besoins de la cité
- **Héritage culturel** à préserver (façade historique)
- Plusieurs services écosystémiques améliorés grâce à la **désimperméabilisation** de 9 780 m² et **l'implantation d'espaces verts** :
 - Régulation des eaux pluviales
 - Régulation du micro-climat (îlot de fraîcheur)
- Et la restauration des sols **comme habitat de biodiversité** grâce à l'application de la démarche Eviter – Réduire - Compenser



Démarche Eviter – Réduire - Compenser

Favoriser le retour de la biodiversité en ville

- **Etat initial** : absence d'espèce végétale de valeur patrimoniale ou protégée. très peu d'espaces verts, aménagés pour leur facilité d'entretien avec des espèces horticoles communes des jardins. probable présence d'espèces animales communes sur le site
- **Mesures favorisant le retour de la biodiversité en ville** :
 - Planter une palette végétale de qualité : préférer des **espèces indigènes, et mellifères**
 - Installer des **strates végétales diversifiées** : mousses – herbes – arbustes – arbres
 - Construire des **micro-habitats pour la faune** (fonctions de refuges, de reproduction, d'hibernation, de nourrissage)



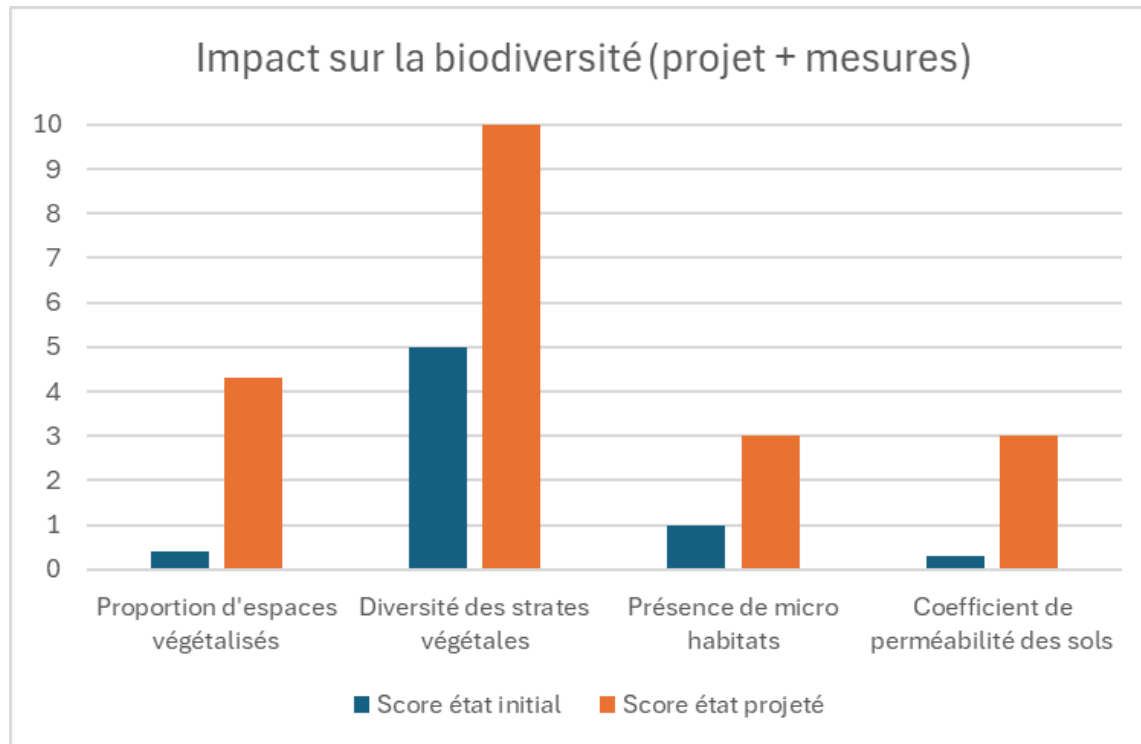
credit illustration : lamaisondalzaz.wordpress.com



Démarche Eviter – Réduire - Compenser

Calcul d'indicateurs mesurant l'impact du projet et des mesures sur la biodiversité

- Score à l'état initial et l'état projeté**



Méthode interne basée sur l'outil développé par AgroParisTech : Biodi(V)strict®

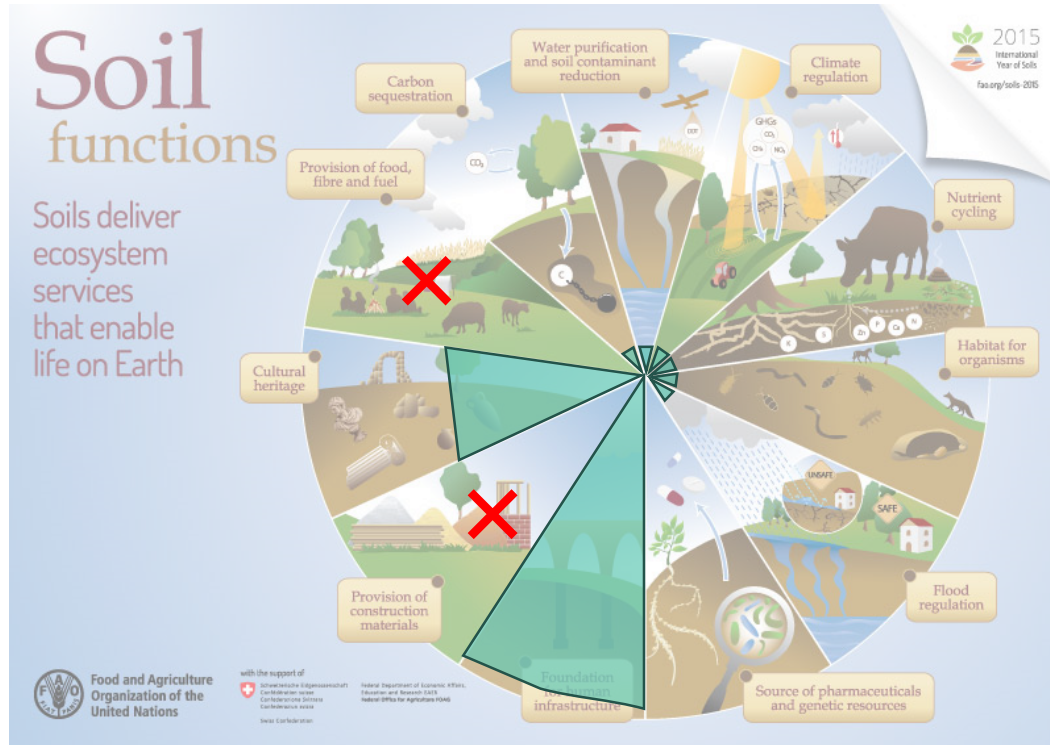
*Proportion d'espaces végétalisés mesurée sur photographie aérienne / plan
Diversité des strates, présence de micro habitats évaluée sur site et sur projet paysager
Coefficient de perméabilité des sols basé sur étude de gestion des eaux pluviales*

Indicateurs ramenés sur 10, 10 correspondant à un site à l'état naturel et riche en biodiversité

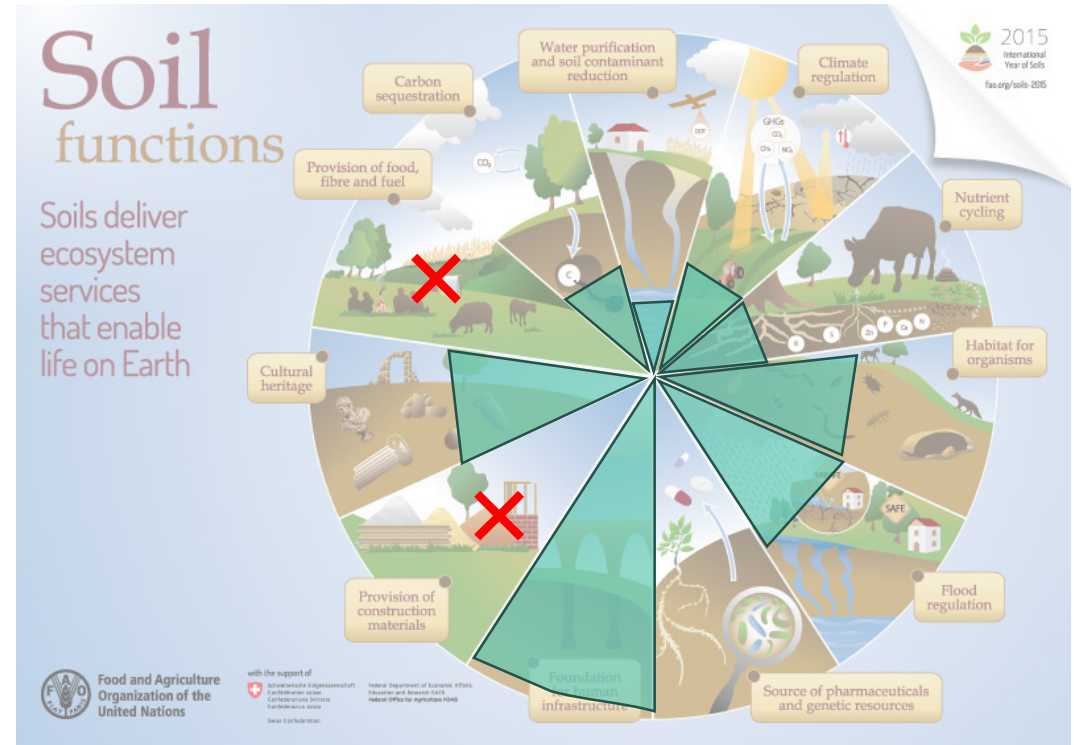


Certains services empêchés mais un bénéfice malgré tout :

Avant projet



Après projet



Une gestion des risques à long termes qui passe par un arbitrage entre enjeux écologiques et enjeux sanitaires

Une démarche à l'échelle du site qui passe par :

1. Le zonage des usages
2. L'identification des services à privilégier en fonction des usages
3. La gestion des pollutions concentrées sur des volumes de sols réduits en accord avec la méthodologie des SSP
4. **La gestion des pollutions diffuses réparties sur de larges surfaces** en accord avec les réglementations d'urbanisation nationales et locales (PLU, SCoT, SDAGE...)
... et qui peut impliquer d'adapter le zonage des usages (cf. point 1) !
5. La détermination de mesures favorisant la biodiversité et l'apport d'amendement organique et/ou d'agent texturant des sols



Et qui devrait se traduire à l'échelle du territoire, par une planification urbaine définissant un zonage des usages mais surtout l'identification des enjeux écologiques qui y sont associés





Julie Estival
j.estival@tauw.com

Sébastien Kaskassian
s.kaskassian@tauw.com

Alexiane Godain
a.godain@tauw.com

François Lefèvre
f.lefèvre@tauw.com

Manon Pasteur
m.pasteur@tauw.com

Tristan Larcher
t.larcher@tauw.com

Julien Caboche
j.caboche@tauw.com

Mathieu Dorchies
m.dorchies@tauw.com