

Journée d'études Chaire Transition foncière

Institut
de la Transition
Foncière

Fondation
Université
Gustave
Eiffel

École d'architecture
de la ville & des territoires
Paris-Est

EIVP
ÉCOLE DES INGENIEURS DE LA VILLE
UNIVERSITÉ DE PARIS EST
ÉCOLE SUPÉRIEURE DU GÉNIE URBAIN

Caisse
des Dépôts
SAFARI

AREP

Construction de sols

le génie pédologique au service de la renaturation des sols urbains et industriels

21 Mars 2024

G. Séré, L. Vidal-Beaudet, C. Schwartz, J.L. Morel



LSE



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

INRAE

GISFI

L'INSTITUT
agro
Rennes
Angers

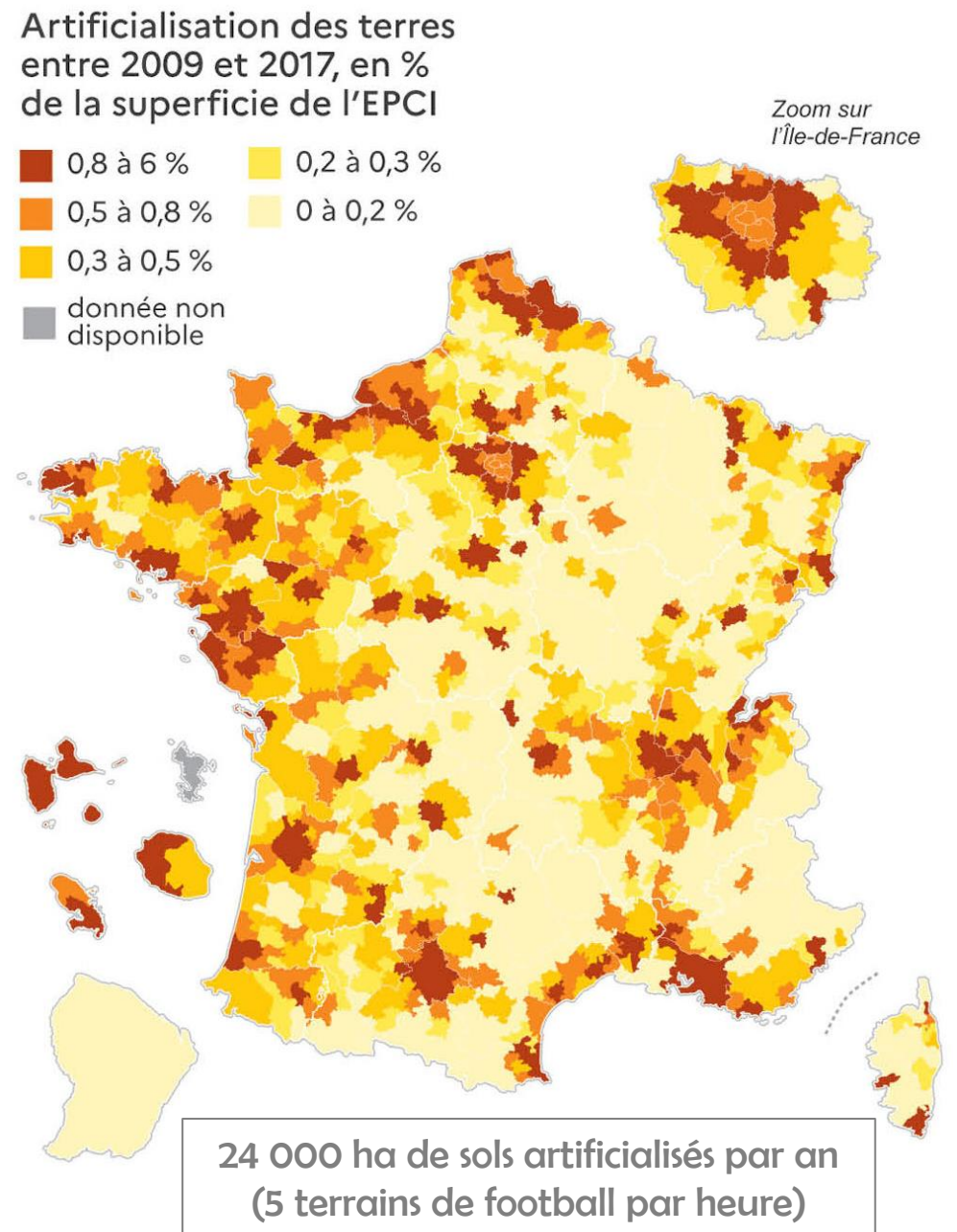


Introduction



Artificialisation des sols

- L'artificialisation est définie dans l'article 192 de la loi Climat et résilience comme "*l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage*"



Manifestations de l'artificialisation des sols

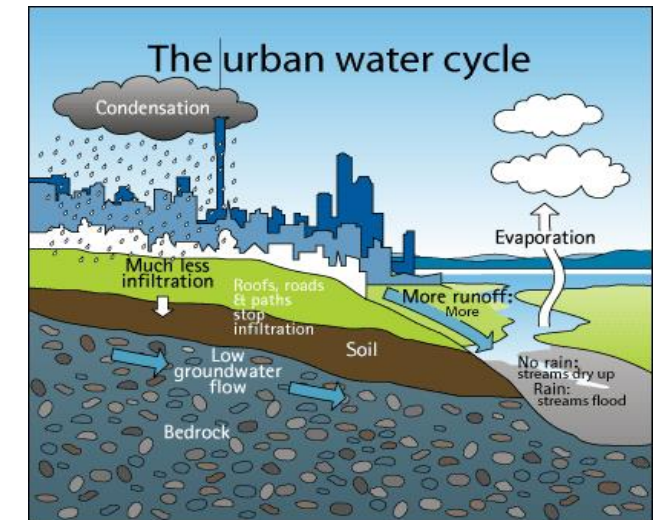
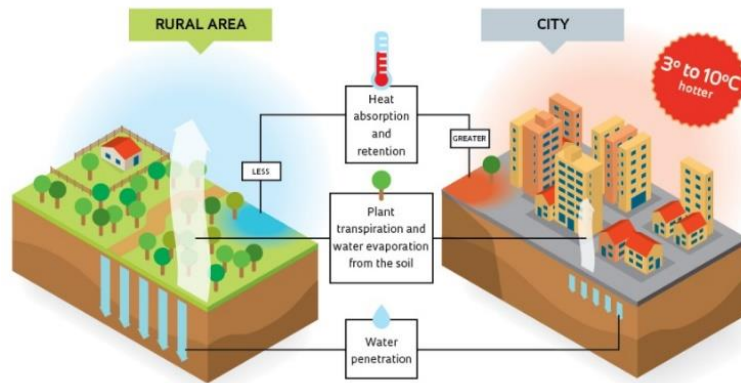
- Décapage des horizons de surface (+ fertiles, + actifs biologiquement)
- Apport / dépôt de matériaux de remblais / de construction / contaminants
- Scellement / imperméabilisation des sols



Importance des fonctions du sol en milieux anthropisés

- Besoin de sols fonctionnels pour répondre aux enjeux environnementaux : *îlot de chaleur urbain, cycle de l'eau, continuités écologiques, production alimentaire, stockage de carbone*

Why the urban heat island effect occurs



Des ressources naturelles pour végétaliser les villes

- La végétalisation pour répondre aux enjeux environnementaux des milieux urbains
- Consommation de ressources naturelles (*i.e.* terre végétale, granulats) extérieures à la ville

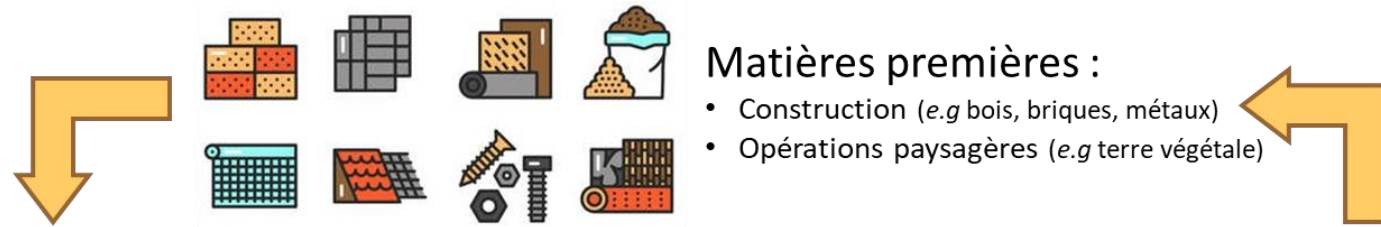


Territoire	Volume terre décapée (m ⁻³ .an ⁻¹)	Prix de la terre transportée & régalée (€.m ⁻³)
France métropolitaine	3 100 000	-
Ile de France	575 000	25
Lyon	8 000	15 à 20
Rennes	13 000	17

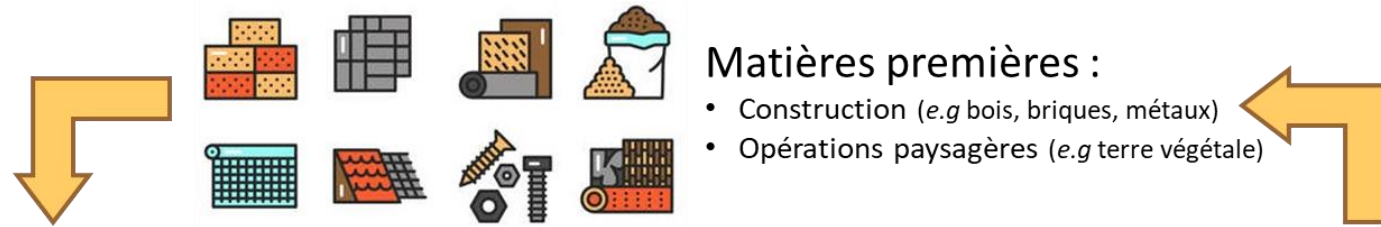
Approche



Développer l'économie circulaire des matériaux

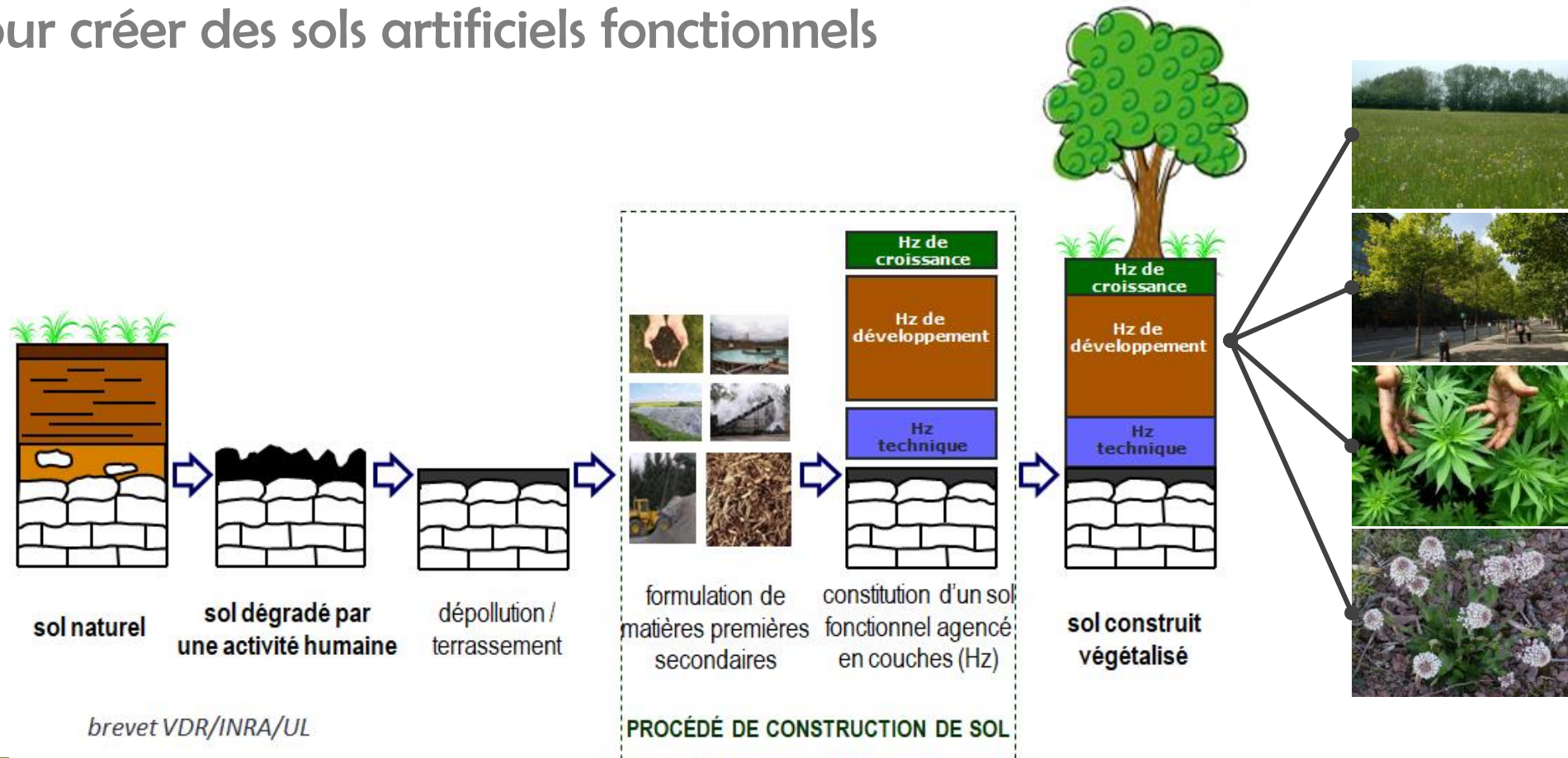


Développer l'économie circulaire des matériaux



Génie pédologique - construction de Technosol

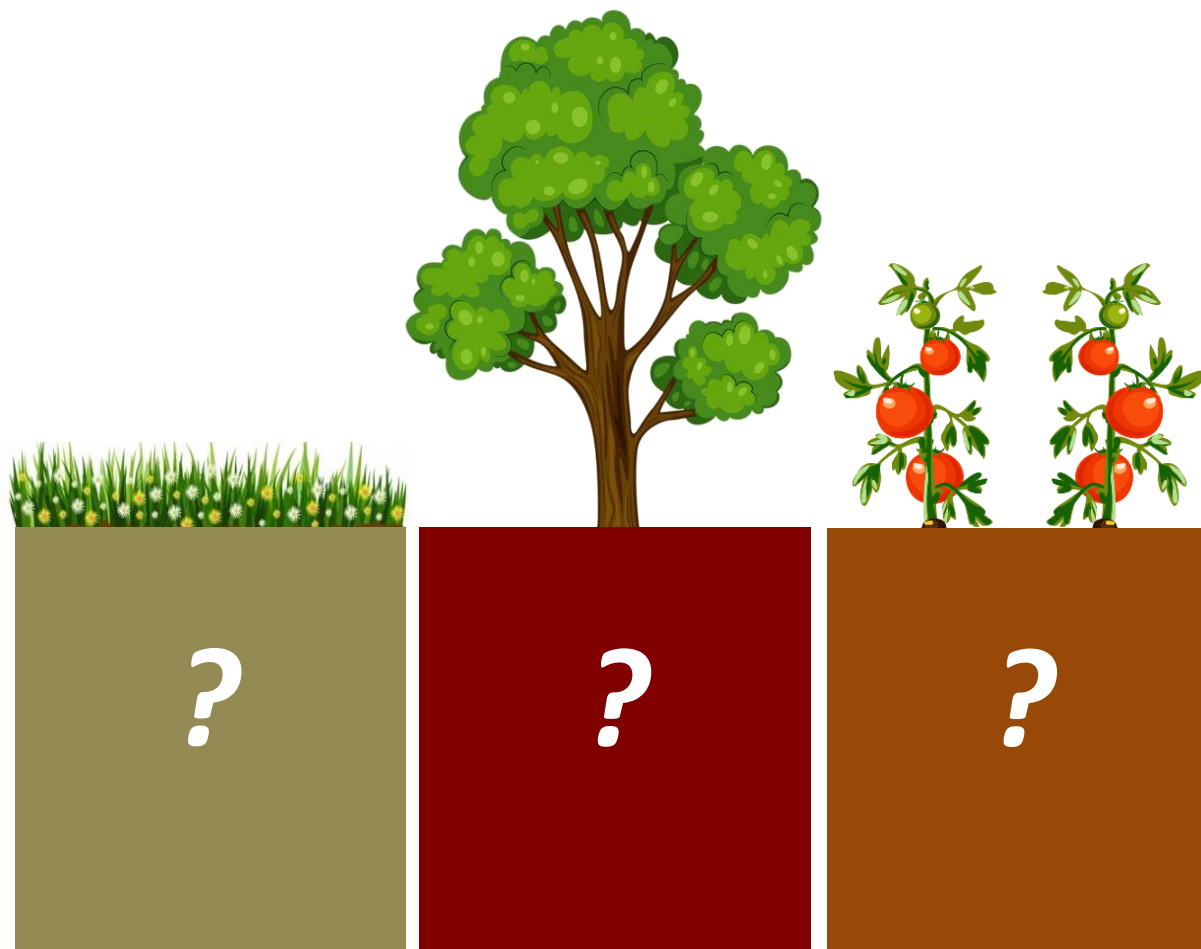
- S'inspirer de l'organisation et du fonctionnement des sols naturels pour créer des sols artificiels fonctionnels



La construction d'un Technosol

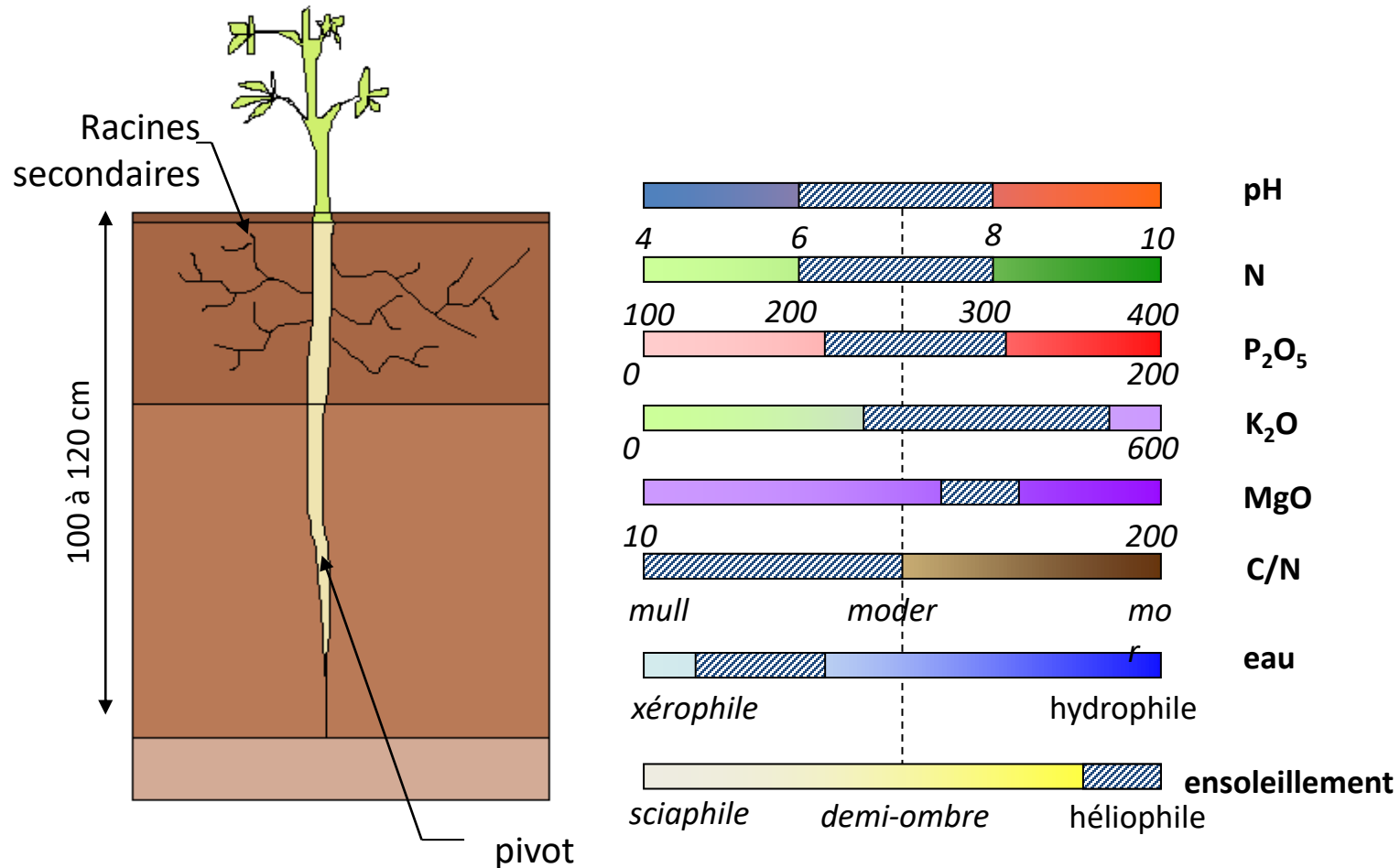


Un sol idéal pour un usage donné



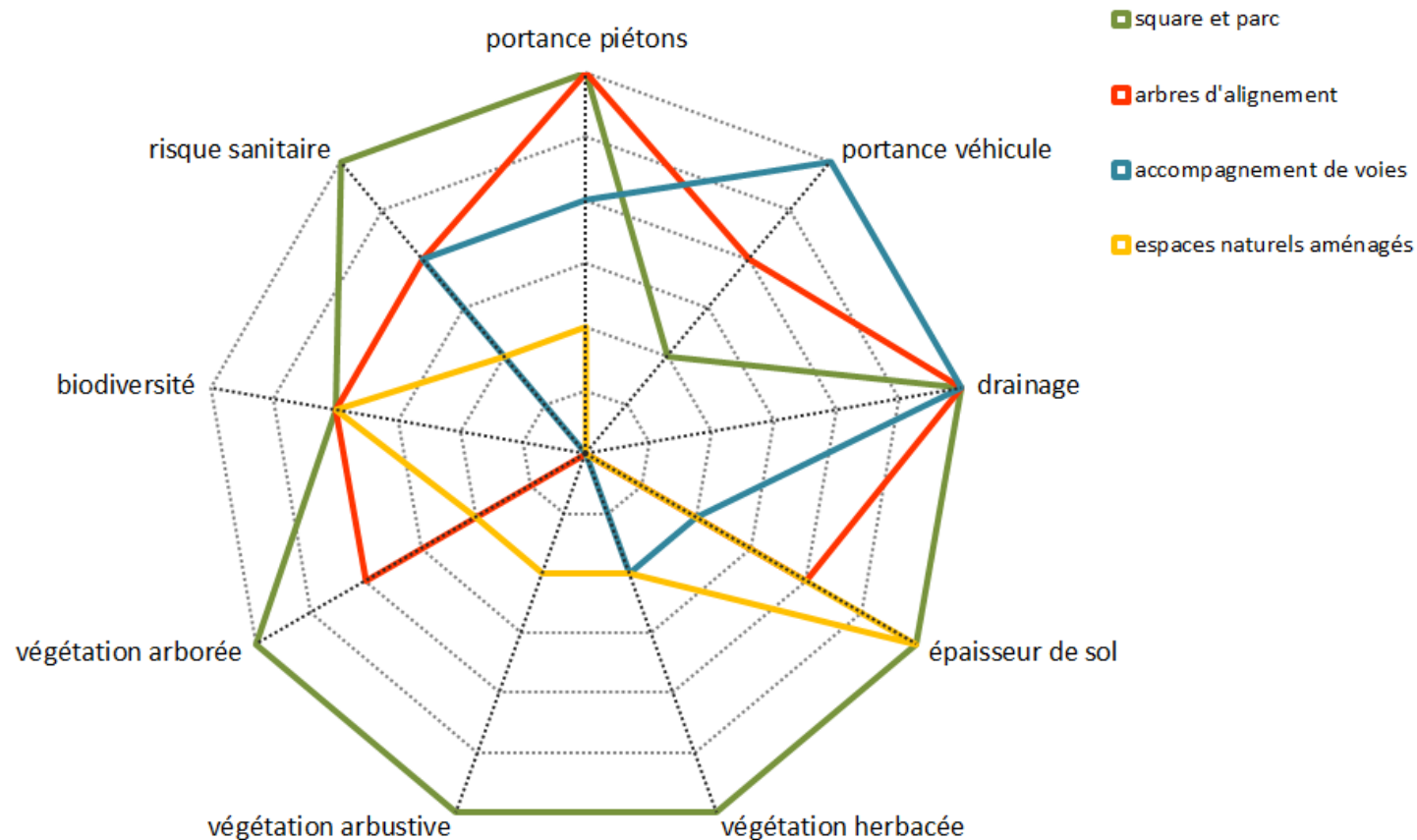
Un sol idéal pour un usage donné

- Adapter les propriétés des sols au végétal



Un sol idéal pour un usage donné

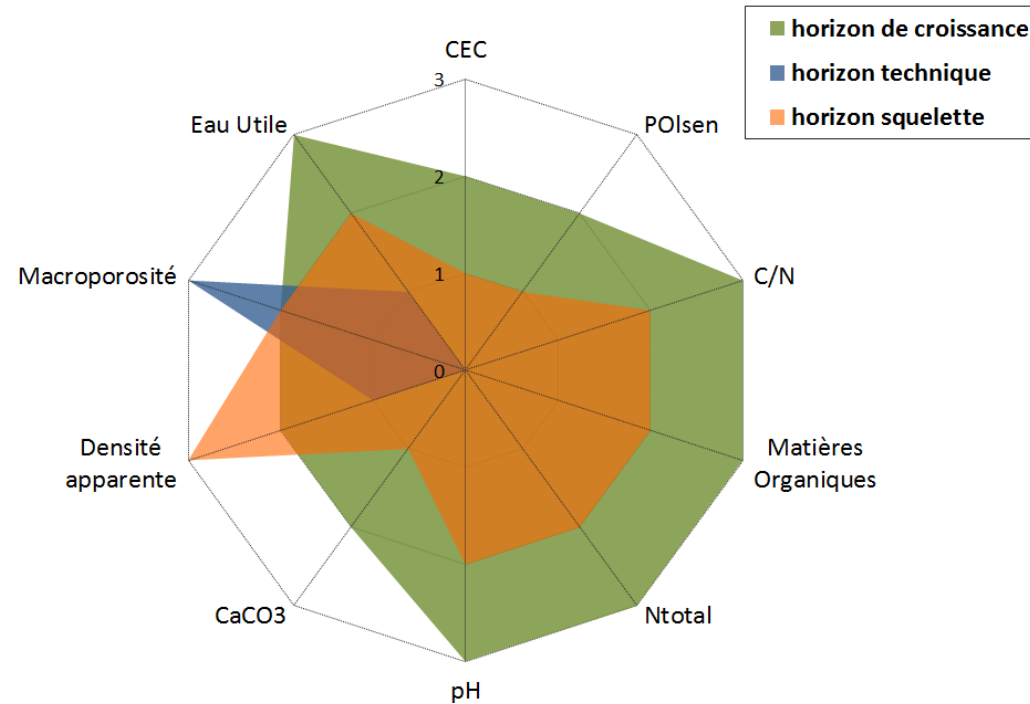
- Adapter les propriétés des sols au végétal
- Adapter les niveaux de fonctions aux usages des sols



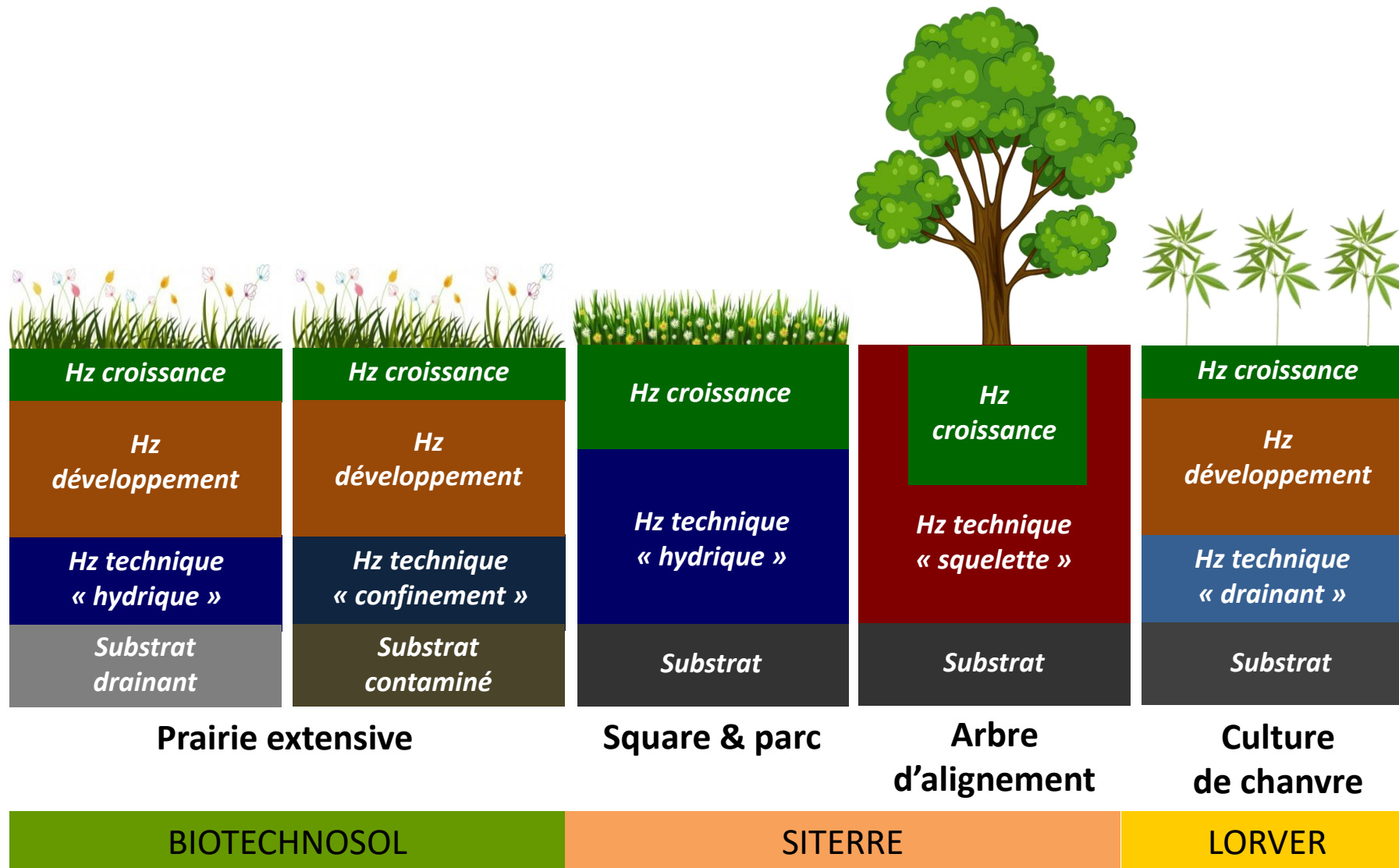
Un sol idéal pour un usage donné

- Adapter les propriétés des sols au végétal
- Adapter les niveaux de fonctions aux usages des sols
- Définir les valeurs optimales des propriétés des sols

	source	unité	Note	gammas de valeurs	interprétation
CEC	Martin et Nolin, 1991	méq.100g ⁻¹	0	< 12	faible
			1	12 à 25	modéré
			2	25 à 40	élevé
			3	> 40	très élevé
P Olsen		g.kg ⁻¹	0	< 0,04	faible
			1	0,04 à 0,08	modéré
			2	0,08 à 0,12	élevé
			3	> 0,12	très élevé
C/N		-	0	< 6 ou > 15	défavorable
			1	6 à 8 ou 12 à 15	peu favorable
			2	10 à 12	assez élevé
			3	8 à 10	optimal
M.O.	Rémy & Martin-Lafèche, 1974	g.kg ⁻¹	0	< 10	très faible
			1	10 à 40	faible
			2	> 100	élevé
			3	40 à 100	optimal
N _{total}		g.kg ⁻¹	0	< 2	très faible
			1	2 à 10	faible
			2	> 20	élevé
			3	10 à 20	optimal
pH	NF ISO 10390, Référentiel Pédologique Français	-	0	< 5,5 - > 8,5	défavorable
			1	5,5 à 6,5	à risque
			2	7,5 à 8,5	peu favorable
			3	6,5 à 7,5	optimal
CaCO ₃	NF ISO 10693	g.kg ⁻¹	0	> 500	défavorable
			1	250 à 500	à risque
			2	< 10 ou 50 à 250	peu favorable
			3	10 à 50	optimal

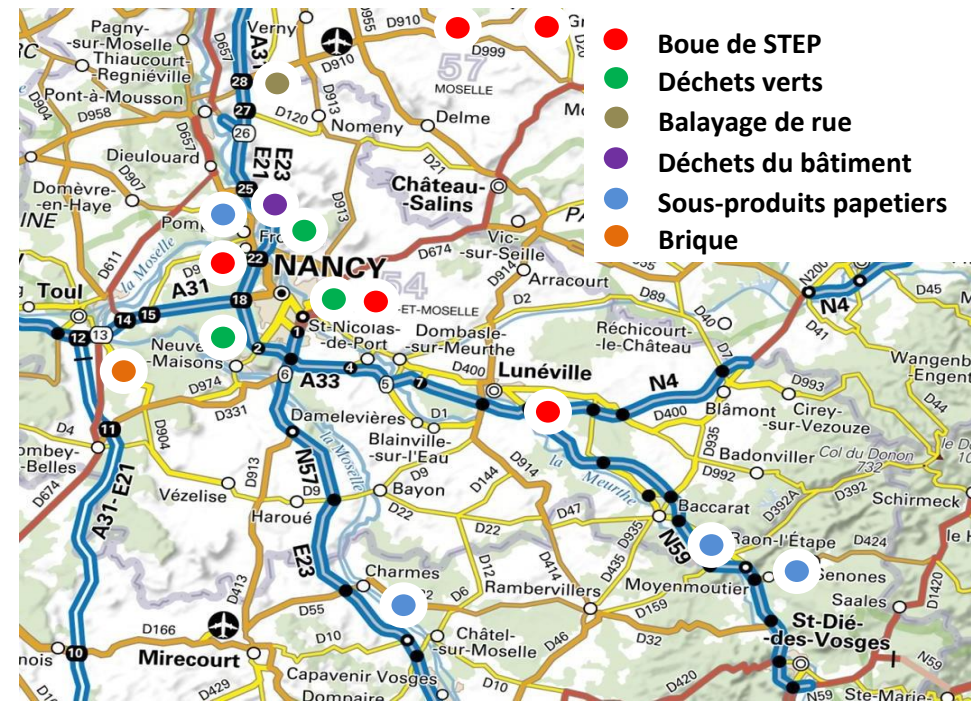


Un sol idéal pour un usage donné



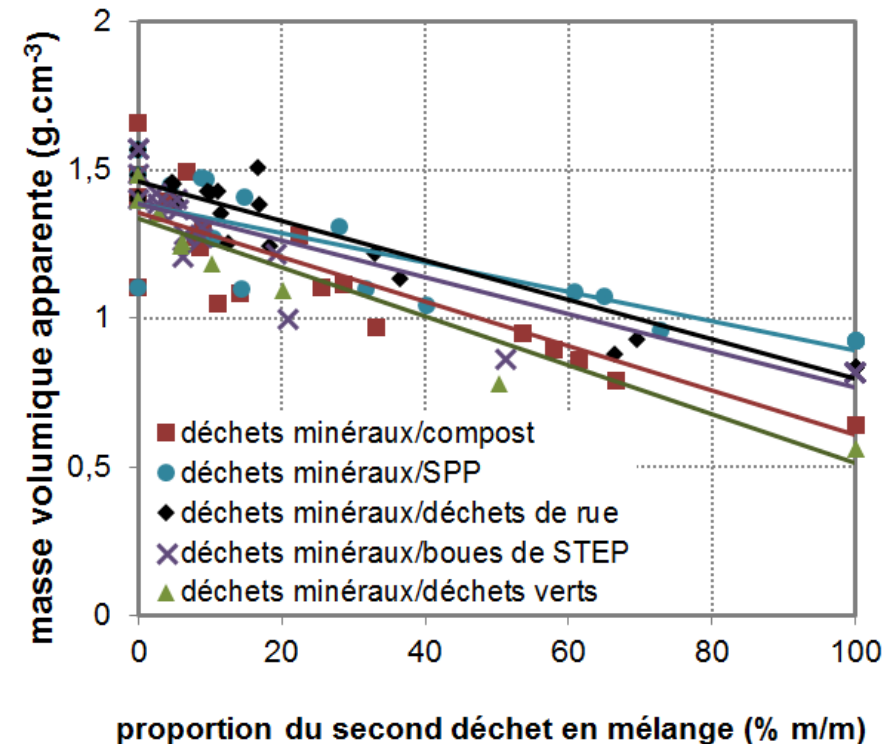
Identification des gisements de sous-produits

- Sélectionner des déchets et sous-produits pertinents (toxicité, état, fertilité, disponibilité, éloignement)



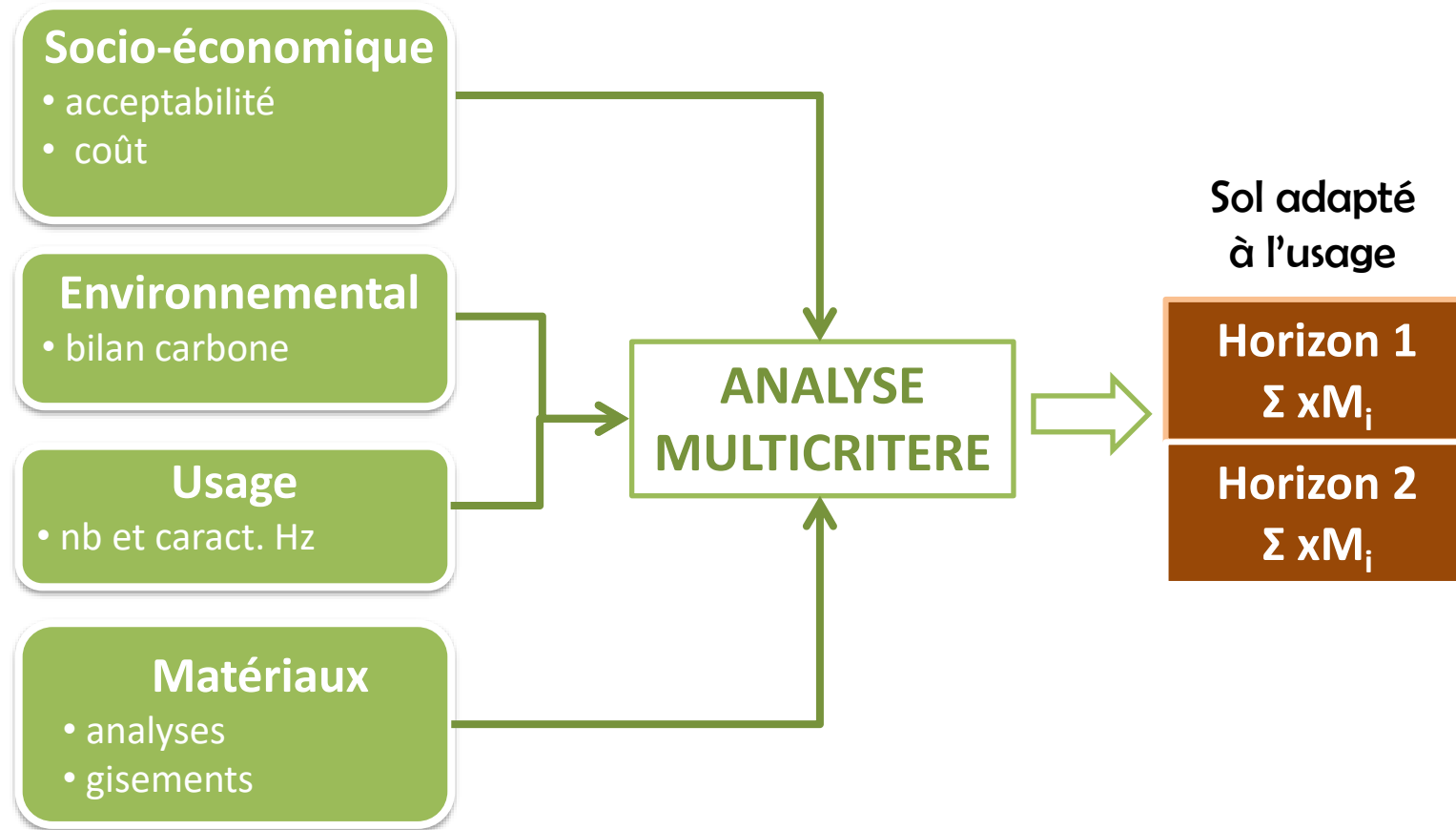
Formulation des sous-produits

- Pour se rapprocher des sols optimaux / usage attendu :
 - Trouver les solutions techniques de préparation / mélange
 - Modéliser les propriétés des mélanges



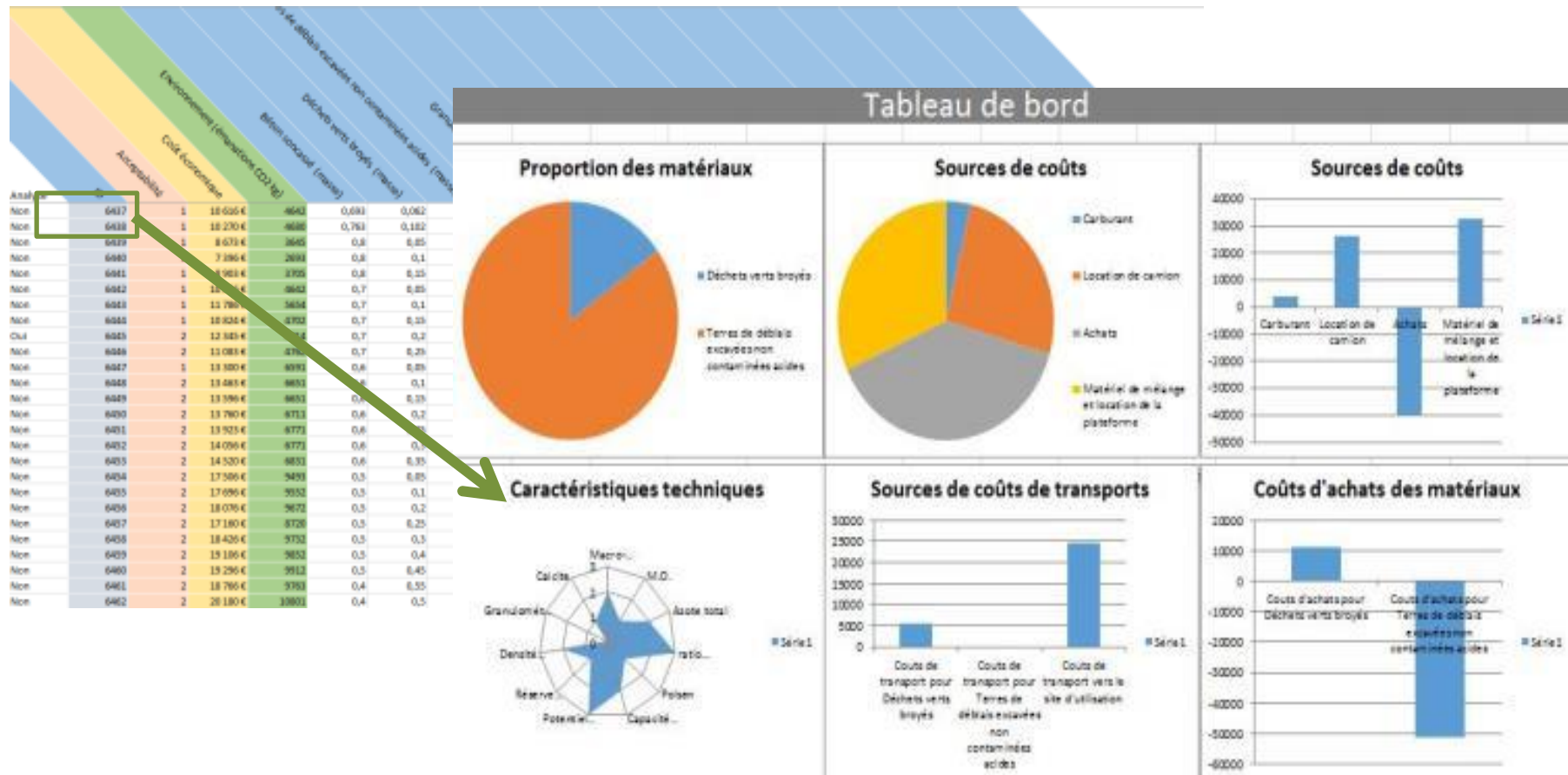
Prise en compte de multiples critères pour trouver une solution optimale

- Le poids des différents critères peut varier d'un projet à l'autre



Version bêta d'un outil d'aide à la décision Siterre

- Proposer une liste hiérarchisée de mélanges de matériaux



Les fonctions écosystémiques assurées par des sols construits



Recyclage de déchets et sous-produits

- 2 parcelles de sols construits pour une surface de 2,5 ha – *Lorver*:
 - 17 000 t (6 800 t.ha⁻¹) de terres bioremédiées
 - 10 500 t (4 200 t.ha⁻¹) de boue de papeterie
 - 3 200 t (1 280 t.ha⁻¹) de sédiments de dragage
 - 400 t (160 t.ha⁻¹) de compost de boue urbaine



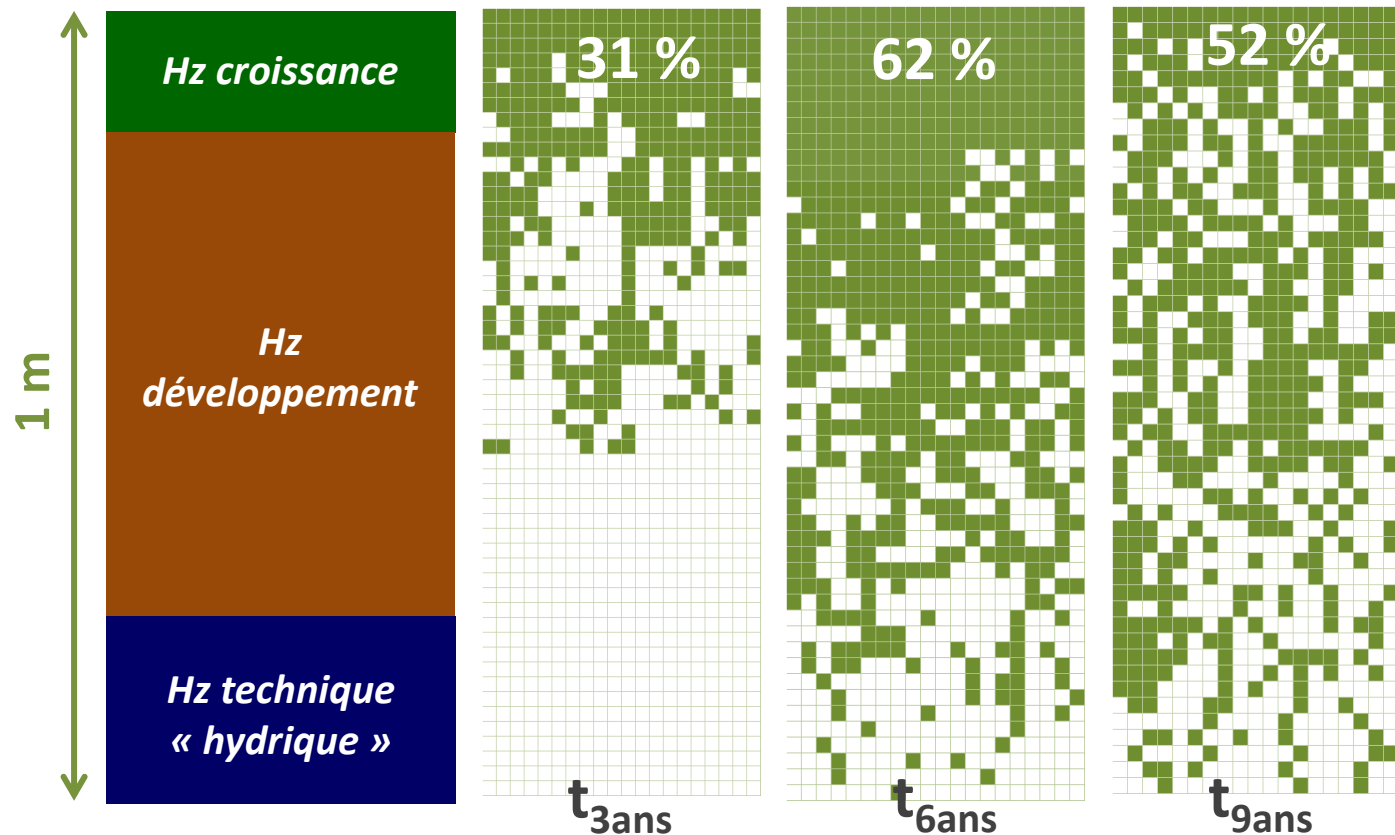
Développement de la végétation (1/2)

- Implantation progressive de la prairie - *Biotechnosol*



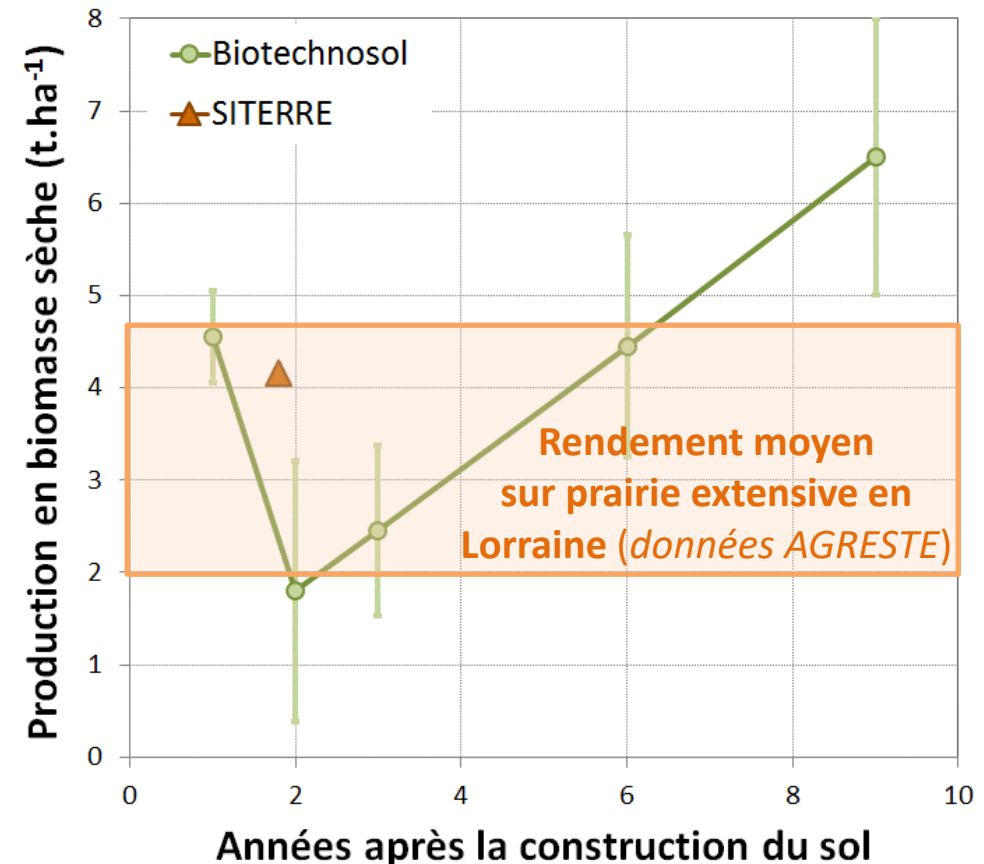
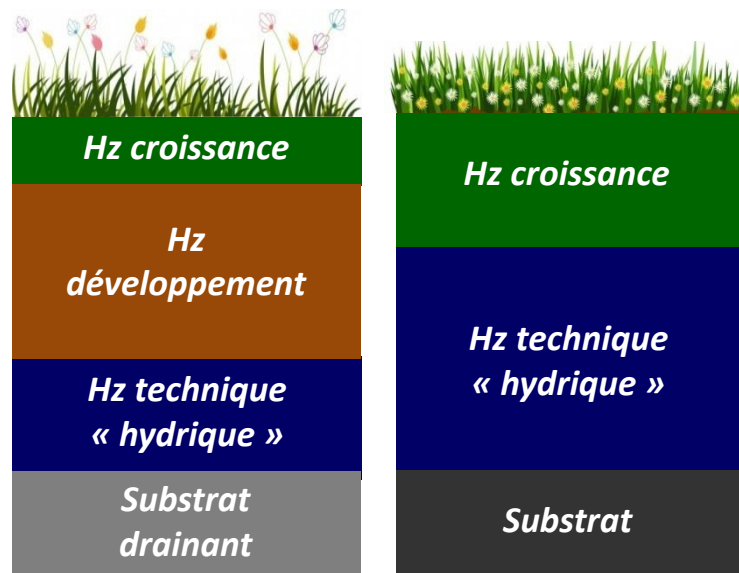
Développement de la végétation (1/2)

- Implantation progressive de la prairie - *Biotechnosol*
- Développement racinaire progressif



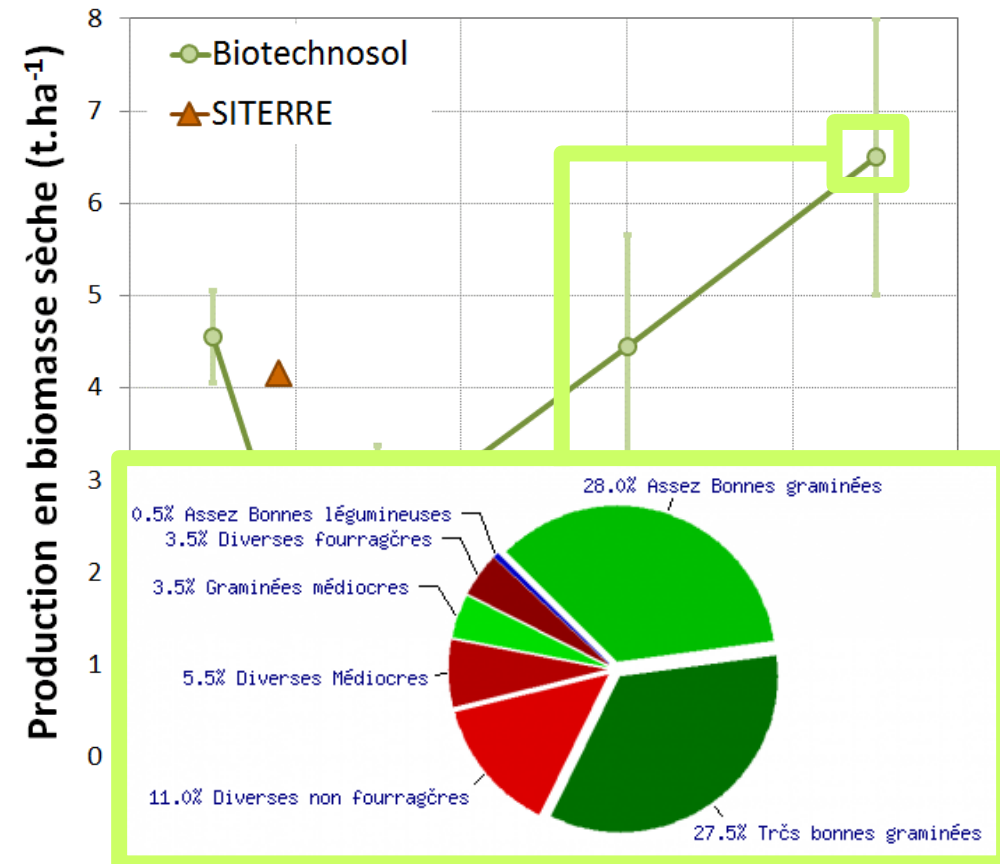
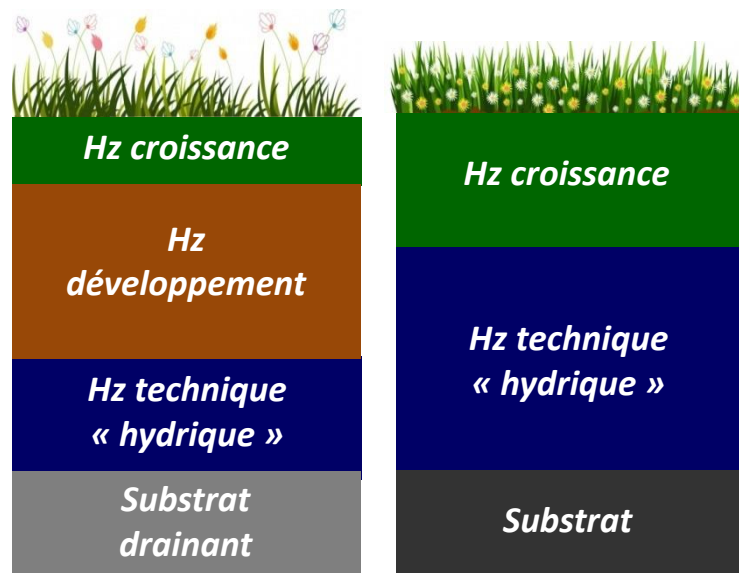
Développement de la végétation (2/2)

- Des rendements comparables à des analogues naturels (prairie) - *Biotechnosol & Siterre*



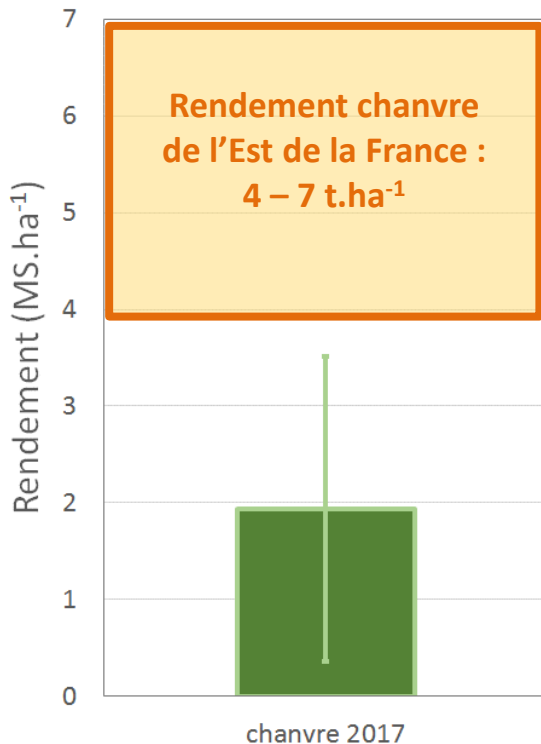
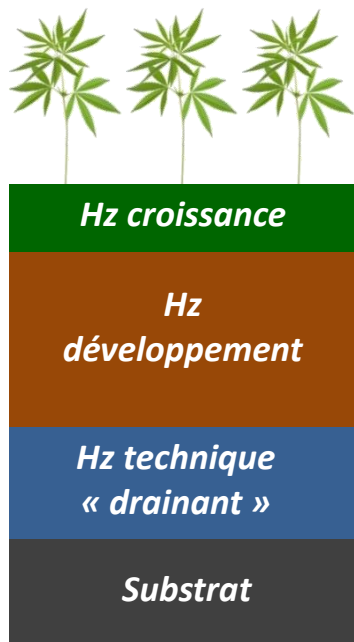
Développement de la végétation (2/2)

- Des rendements comparables à des analogues naturels (prairie) - *Biotechnosol & Siterre*



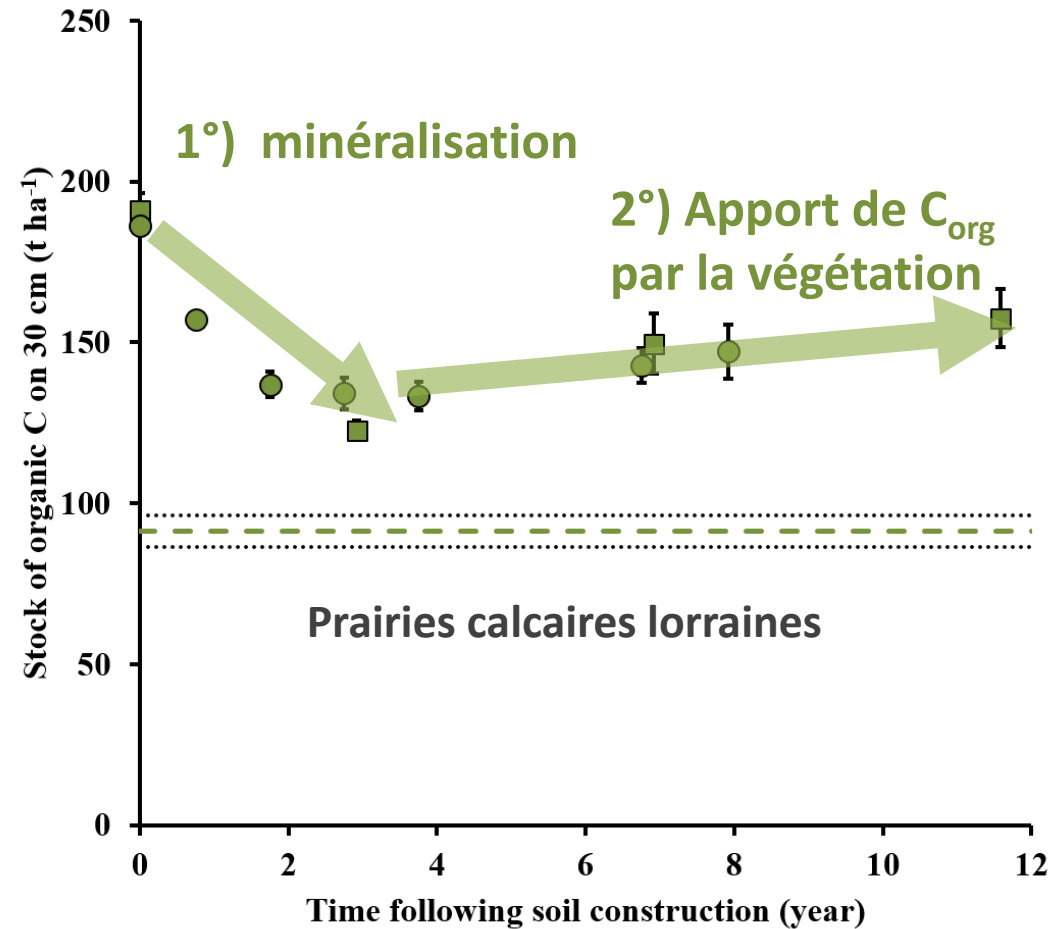
Développement de la végétation (2/2)

- Des rendements comparables à des analogues naturels (prairie) - *Biotechnosol & Siterre*
- Un développement contrasté du chanvre - *Lorver*



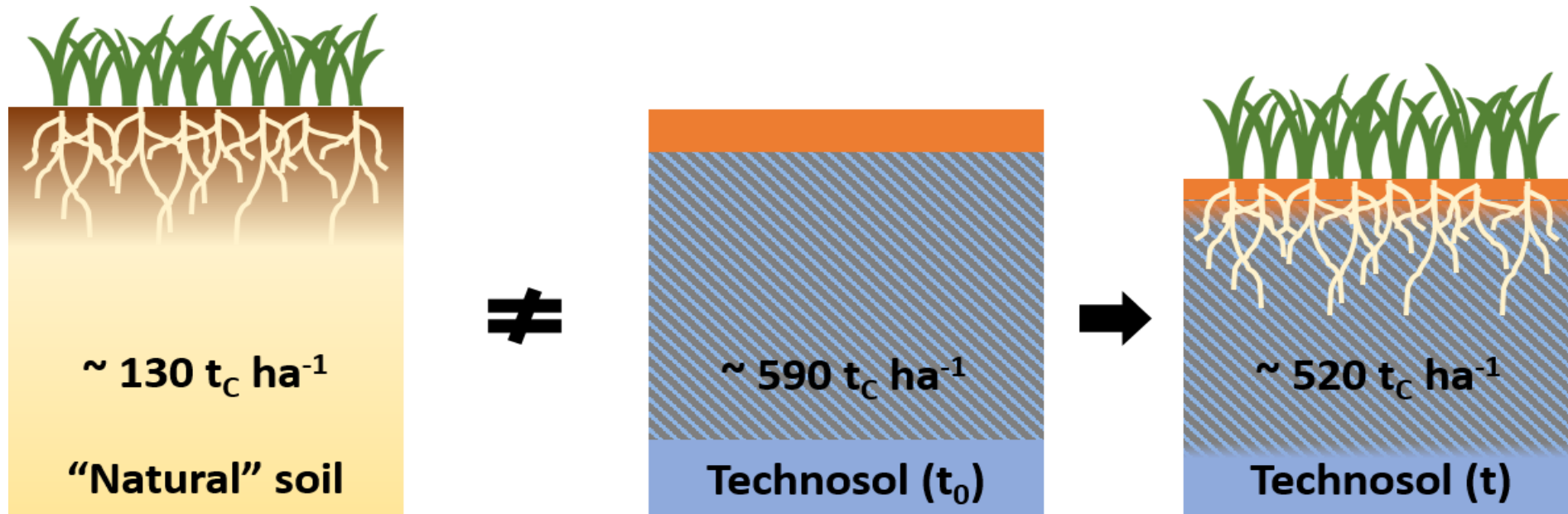
Stockage de carbone

- Une dynamique en deux temps du stock C_{org} - *Biotechnosol*



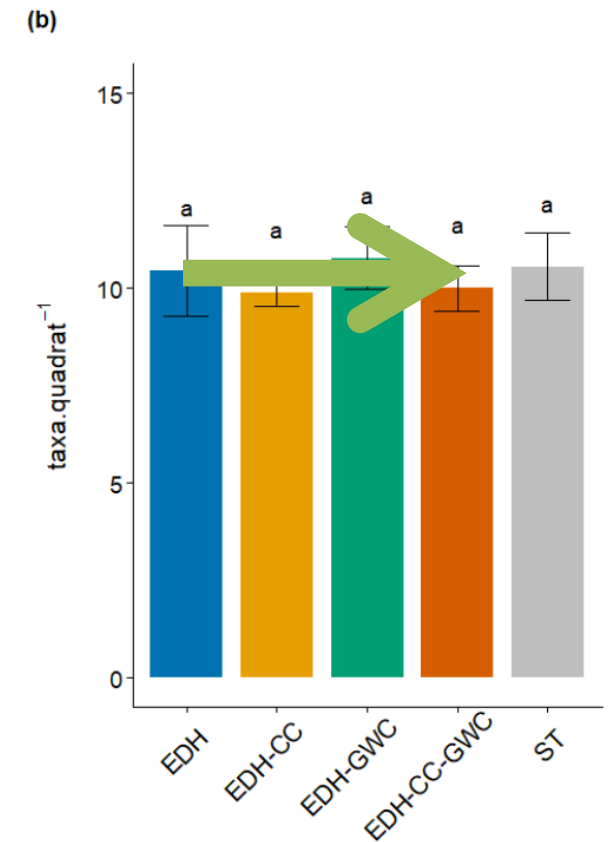
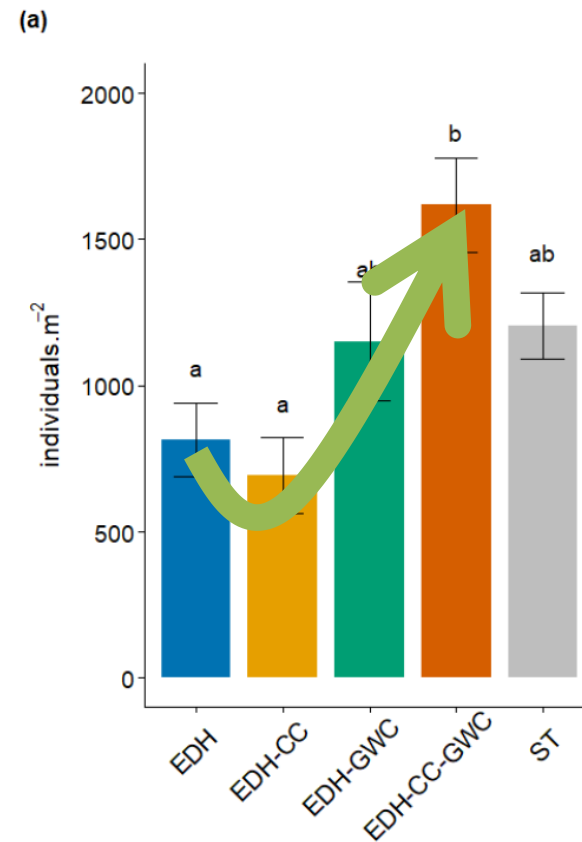
Stockage de carbone

- Une dynamique en deux temps du stock C_{org} - *Biotechnosol*
- Stock $C_{\text{org}} >$ analogue naturel sous prairie



Habitat pour la biodiversité (1/2)

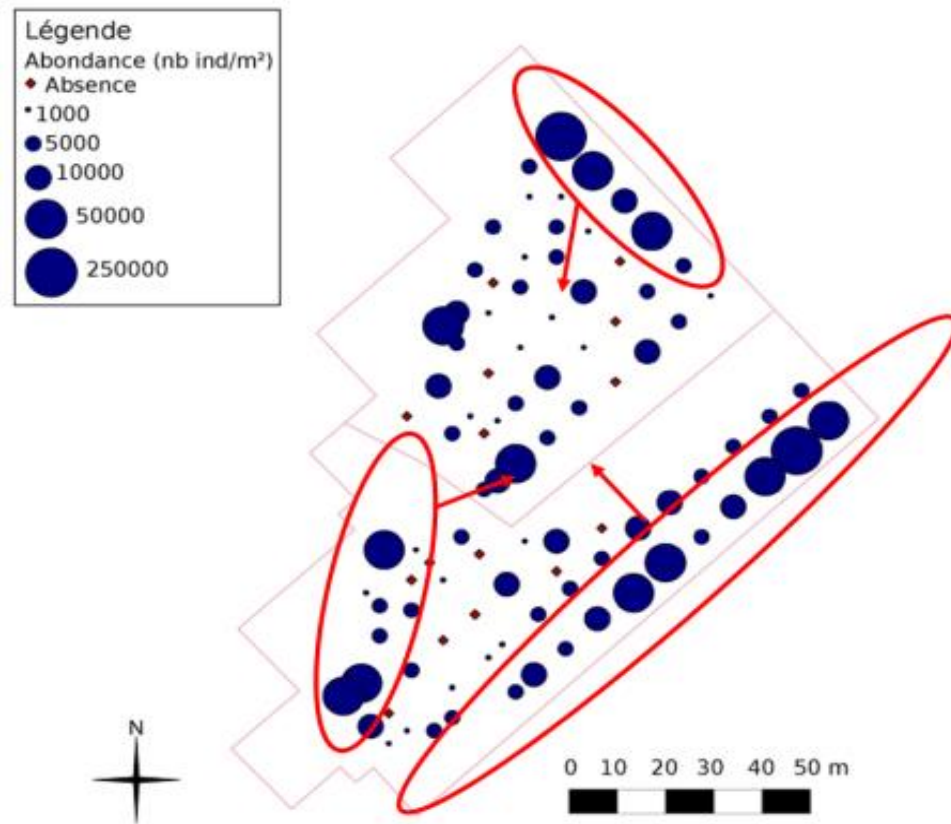
- Effets de l'apport de béton concassé (CC) et de compost (GWC) sur la diversité et l'abondance de la macrofaune du sol



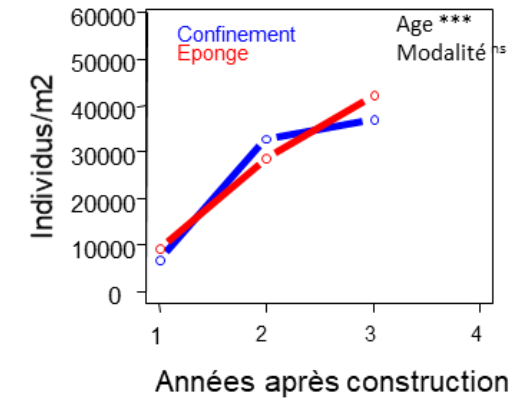
Habitat pour la biodiversité (2/2)

- Colonisation spontanée, variable et centripète de Technosols construits

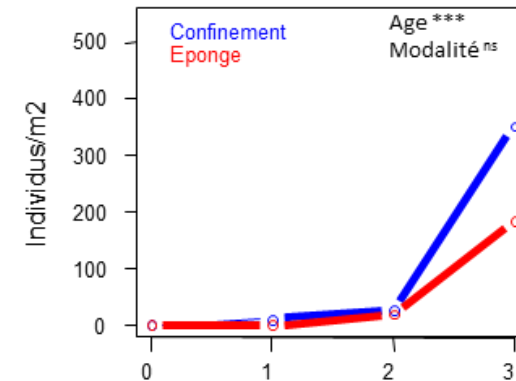
Abondance des collemboles hémi-édaphiques



Abondances (Collemboles)



Abondances (Lombriciens)

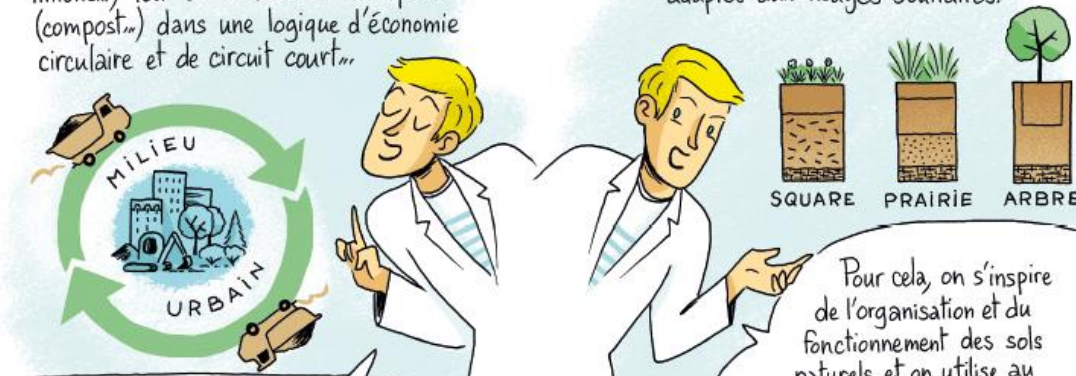


Conclusion

Heureusement, grâce au **GÉNIE PÉDOLOGIQUE** des solutions existent!

Tout d'abord, on peut réutiliser des terres de chantier (terre végétale, limons...) tout en améliorant leur qualité (compost...) dans une logique d'économie circulaire et de circuit court...

... et on peut également fabriquer des sols artificiels fonctionnels adaptés aux usages souhaités.



Des plateformes logistiques proposent aujourd'hui dans certaines régions de tels matériaux.

Pour cela, on s'inspire de l'organisation et du fonctionnement des sols naturels et on utilise au maximum des déchets de la ville : déchets verts, remblais, briques concassées, bois d'élagage, boues, compost...

Construire des sols à façon



- Un Technosol construit est capable d'assurer des services écosystémiques de manière comparable à un sol naturel
- Le génie pédologique permet d'assurer la refunctionalisation / renaturation d'espaces dégradés
- Des solutions potentiellement économiquement avantageuses
- Une contribution aux enjeux environnementaux spécifiques des milieux urbains et industriels
- Une approche nouvelle – au moment de la conception du sol – de la fertilité

Créer des sols fertiles

Du déchet à la végétalisation urbaine

Coordonné par
Olivier Damas
et Anaïs Coulon

Préface de Nicolas Hulot et Claire Chenu

EDITIONS
LE MONITEUR

Soils within Cities

Global approaches to their sustainable management

Editors: M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt,
P. Charzyński, R.K. Shaw

IUSS Working Group SUITMA



C CATENA



International Union of Soil Sciences

Merci de votre attention !

