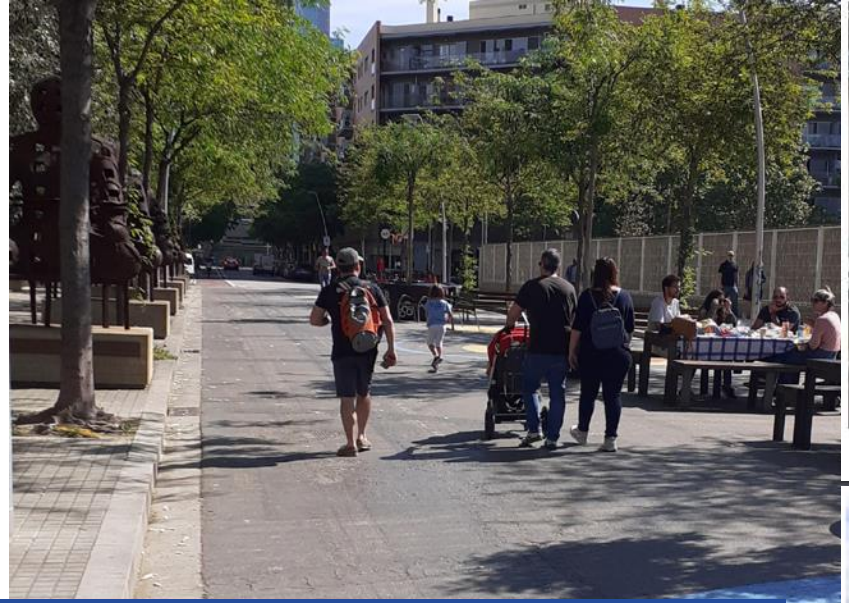


DEsimperméabilisation des
Sols
Services
Ecosystémiques et
Résilience des
Territoires

Du laboratoire au terrain, retour d'expériences d'opérations de descellement de sols dans le cadre du projet DESSERT

Stéphanie Ouvrard, Christophe Schwartz (coord.), Véronique Beaujouan, Federico Broggini, Adeline Bulot, Jean Noël Consalès, Marie Cozzi, Robin Dagois, Hervé Daniel, Pierre David, Mathieu Gontier, Pierre Lasseigne, Maïwenn Lothodé, Jean Christophe Louvet, Alexandre Moret, Ludovic Perridy, Geoffroy Séré, Marlène Teixeira Da Silva,
François Vadepied, Claire Vieillard, Laure Vidal-Beaudet





Voirie, stationnement et trottoir en enrobé, Bourg Sous La Roche (85). / SCE



Travaux sur voirie et sur voie de tram à Nantes (44). / SCE



Imperméabilisation des sols urbains : état des lieux





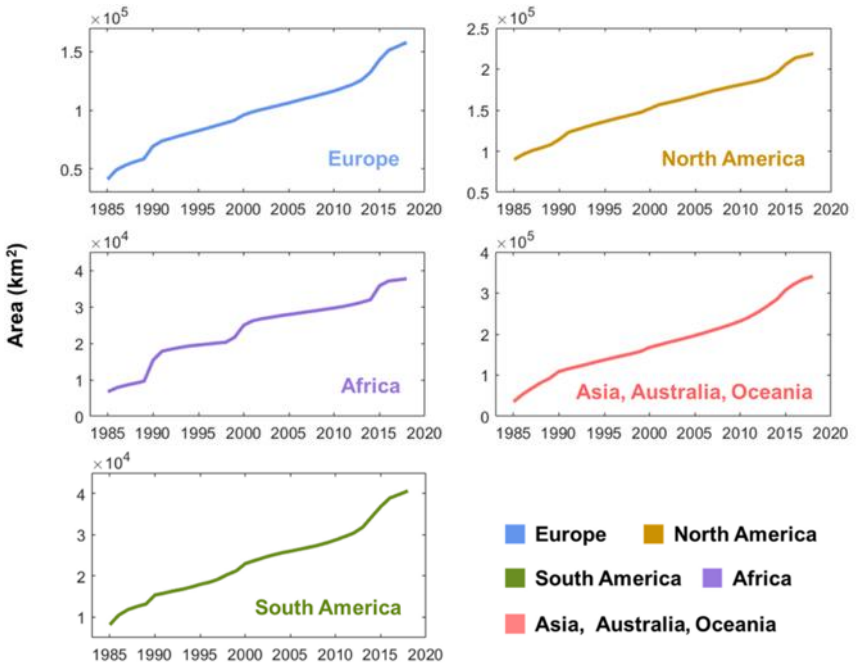
Imperméabilisation des sols : un phénomène croissant



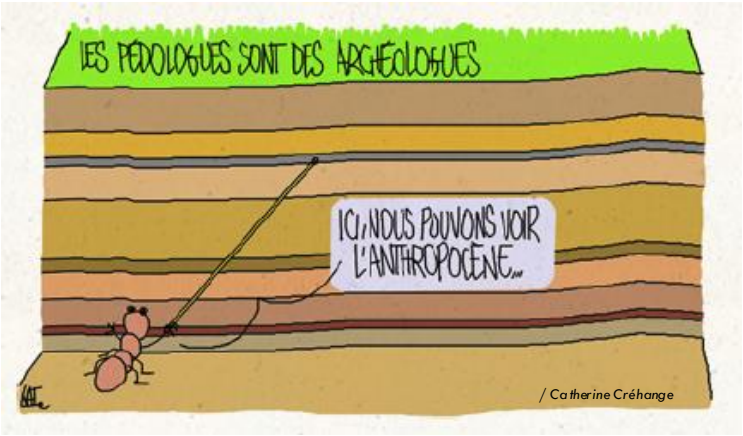
Edward Burtynsky, 'Salt River Pima-Maricopa Indian Reservation / Suburb, Scottsdale, Arizona' (detail), 2011

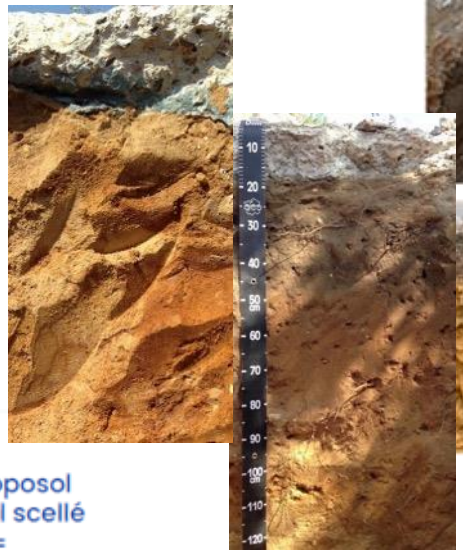


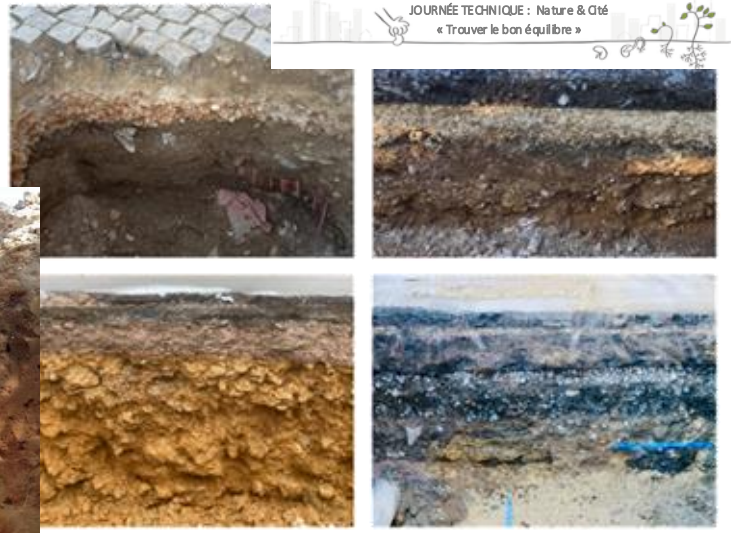
©C Séré



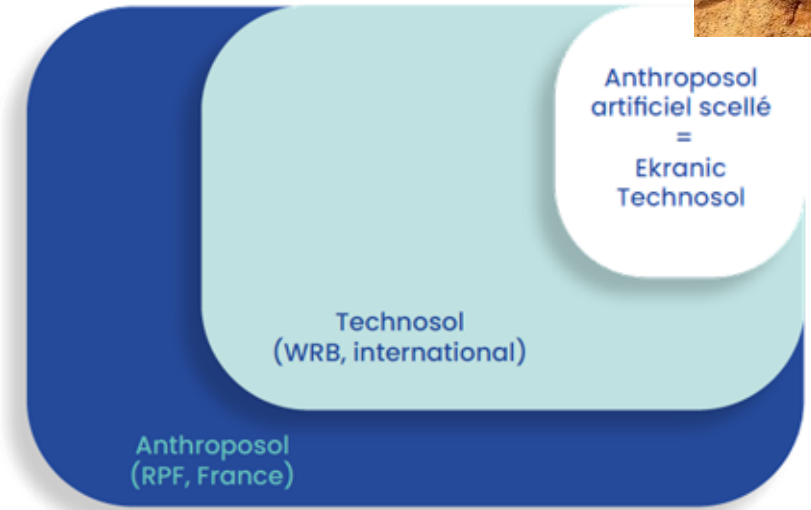
Gong *et al.* (2020)



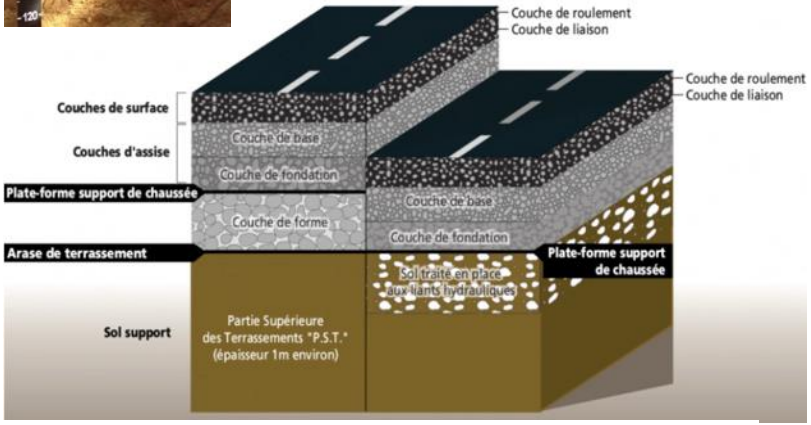




Exemples de profils de sols scellés. / C. Schwartz



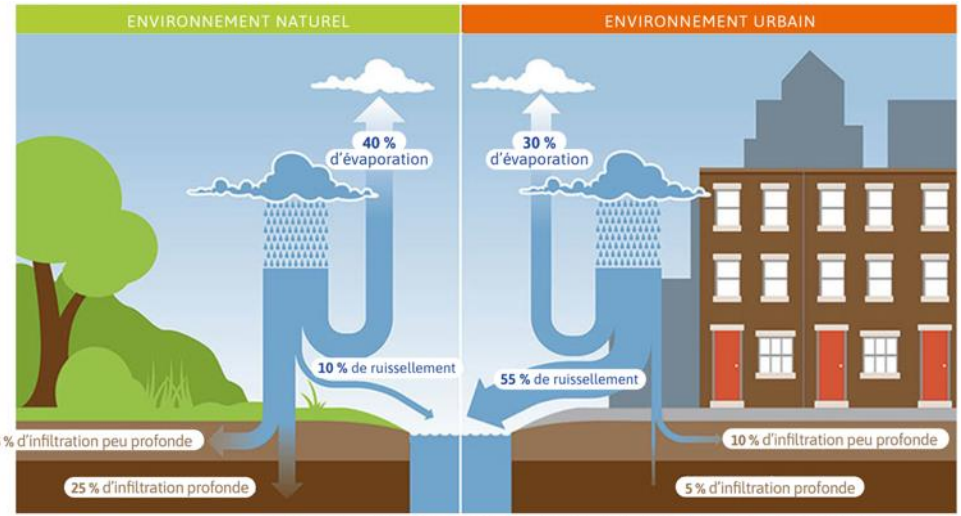
Représentation schématique de la diversité de situations couvertes par les classifications Anthroposol et Technosol et localisation des sols scellés. / Projet DESSERT



Coupe transversale des différentes couches constitutives d'une chaussée. / Cim Béton

Conséquences de l'imperméabilisation

des pertes de fonctions écologiques et de services écosystémiques



Modification du cycle hydrologique induit par l'urbanisation. / Philadelphia Water Stormwater Management Guidance Manual

COMPARTIMENT	CONTRIBUTION	CONSÉQUENCE
chaleur	xx	apparition d'îlots de chaleur
eau	xxx	diminution de la filtration des eaux
	xxx	diminution de la recharge des nappes
	x	augmentation de l'apport d'eau aux surfaces adjacentes
	xx	augmentation du temps d'évacuation de l'eau
	xx	apparition de phénomènes d'anaérobiose (ex : fermentation)
	x	transfert de polluants
	xxx	augmentation du risque de crues éclairs
atmosphère	xx	augmentation des particules en suspension dans l'air
biodiversité	xx	diminution de la biodiversité
	xxx	diminution de la capacité à absorber du carbone
paysage	xx	augmentation de l'érosion de surfaces adjacentes
	x	perte esthétique
	xx	baisse de l'attractivité

De quoi parle-t-on ?

DÉSIMPERMÉABILISATION :

Suppression du matériau de recouvrement imperméable d'un sol ou remplacement de ce dernier par un autre matériau, perméable (Légifrance, 2023), afin d'améliorer, voire restaurer, la perméabilité hydrique d'un sol. La désimperméabilisation des sols contribue, d'une part, à réduire le ruissellement des eaux, et donc le risque d'inondation, et d'autre part à favoriser leur infiltration et ainsi le rechargement des nappes phréatiques (Légifrance, 2023).

DESCELLEMENT (BASÉ SUR CECI ET AL., 2023 ; EUROPEAN COMMISSION, 2012 ; TOBIAS ET AL., 2018) :

Suppression de la fonctionnalité initiale d'un revêtement imperméable (par exemple, enrobé hydrocarboné, béton ou pavés) soit par simple facturation, soit en le retirant et en le remplaçant par une couverture plus perméable. On parle aussi de débitumisation, de déminéralisation, de décroutage, mais uniquement de « desealing » en anglais. L'étape de descellement peut être suivie ou non d'une restructuration du profil du sol avec le remplacement des matériaux sous-jacents, en utilisant les procédés de construction de sols ou de reconstitution du sol (généralement avec de la terre végétale). À la différence de la désimperméabilisation, qui ne vise qu'à rétablir la perméabilité hydrique, le descellement de la surface d'un site peut viser l'amélioration d'autres fonctionnalités du sol, et permettre de développer de nouveaux usages (des espaces verts et/ou des zones de gestion des eaux de pluie). Toutefois, à la différence d'une désartificialisation ou d'une restauration écologique, un descellement ne cherche pas à retrouver un sol non artificialisé.

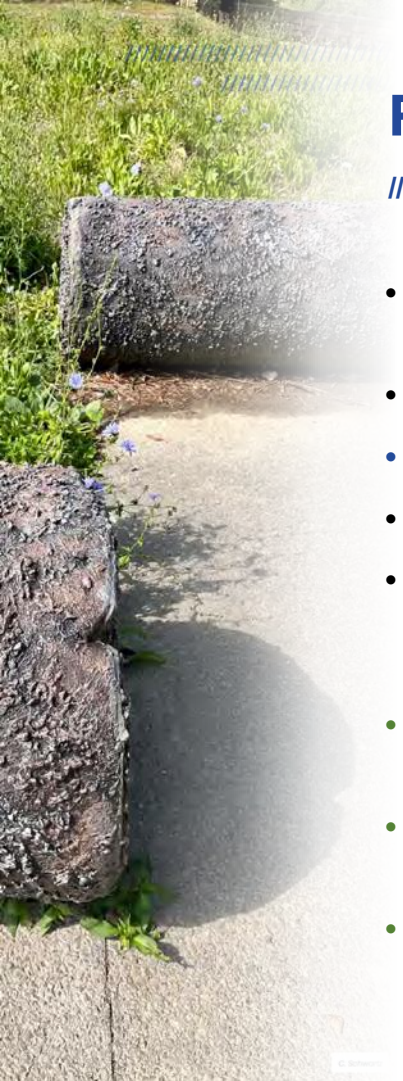
DÉSARTIFICIALISATION OU RENATURATION D'UN SOL :

Actions ou opérations de restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol, ayant pour effet de transformer un sol artificialisé en un sol non artificialisé. (LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant sur la lutte contre le dérèglement climatique et sur le renforcement de la résilience face à ses effets).





Fondements du projet DESSERT



Principaux objectifs de DESSERT

- poser un **cadre méthodologique** de **l'étude des sols (des)scellés** à différentes échelles
- apprendre de **retours d'expériences** **d'opérations de descellement de sols**
- **expérimenter au laboratoire et sur le terrain** **pour acquérir nos propres références**
- démontrer la **faisabilité du retour de sols scellés vers un état pluri-fonctionnel**
- proposer un **guide d'aide à la conception du descellement** à l'attention des concepteurs, des aménageurs et des gestionnaires

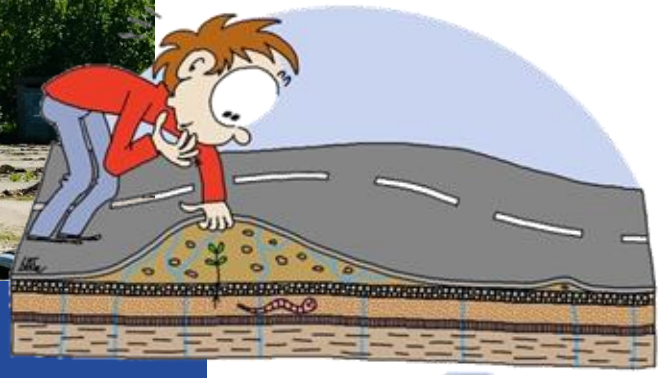
- **pour une prise en compte accrue de la ressource Sol dans les nouveaux projets ou les projets de renouvellement urbain**
- **en se fondant sur une écologie renforcée des paysages urbains en prenant en considération le développement de corridors écologiques**
- **pour participer à la régulation de nombreux enjeux environnementaux** *(régulation des inondations, biodiversité, qualité des eaux)* **et socio-économiques** *(investissements à long terme, qualité de vie des habitants)*



Un consortium construit pour favoriser d'indispensables regards croisés :

un laboratoire vivant





/ Catherine Créhange

Approches expérimentales du descellement
du labo au terrain



Les enjeux des approches expérimentales

Objectifs en lien avec l'économie circulaire

- Réutiliser des matériaux de voiries désimperméabilisées (granulats)
- Limiter le recours à la terre végétale
- Evaluer les fonctions du sol après descellement



Une double approche expérimentale

- Expérimenter sur le terrain et au laboratoire
- Acquérir ses propres références

ESSAIS EN CONDITIONS DE LABORATOIRE



Dispositif de culture en serre sur substrats incorporant ou non des enrobés concassés.
(1) 11 jours après semis de ray-grass (23/05/22), (2) 18 jours après semis (30/05/22). / C. Vieillard

SITES PILOTES DE TERRAIN

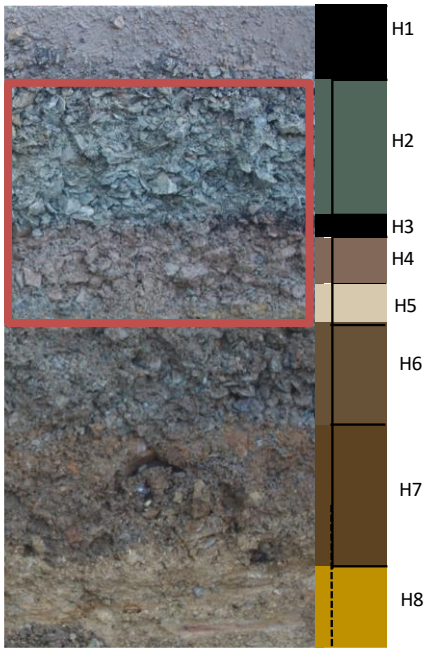


De gauche à droite : profils de sols scellés, vues aériennes des sites et mise en place des pilotes de terrain.
(haut : Angers / R. Dagois ; milieu : Nancy / C. Schwartz ; bas : Cannes / S. Ouvrard)

PROFILS DES SOLS SCELLES

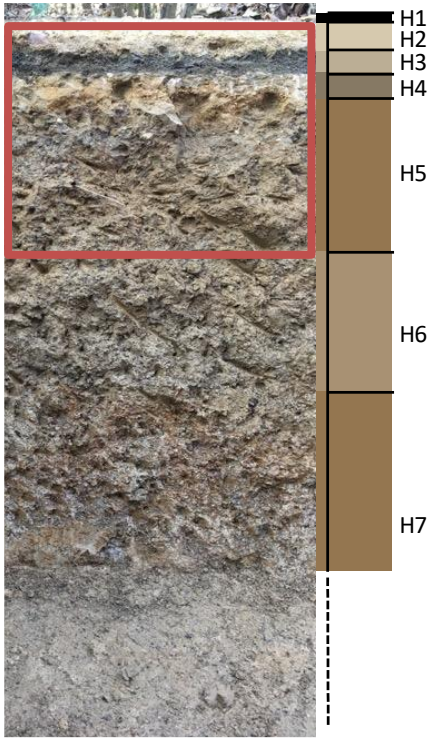
Angers A-SBA

parking



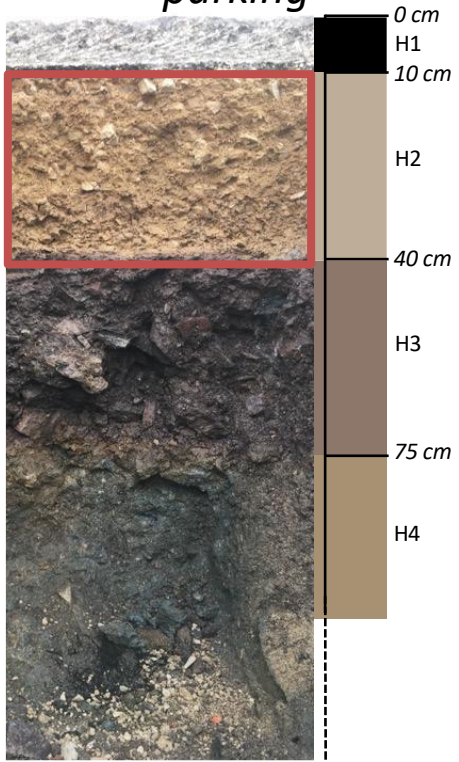
Nancy N-PSM

allée parc urbain



Cannes C-LBO

parking



30 cm - granulats étudiés / horizons remaniés

H2 – H6/H5 : horizons apportés, compactés, (très) riches en EG
H7…/H6… : horizons naturels tronqués

H2 – H4 : horizons apportés, compactés, très riches en EG

Qualité et fonctionnement des substrats descellés en CONDITIONS CONTROLEES

- Evaluer pour les matériaux d'origine anthropique les enjeux de contamination
- Evaluer la réutilisation potentielle de granulats ou d'enrobé concassé en mélange
- Evaluer le développement du végétal dans un support de culture constitué de matériaux anthropiques

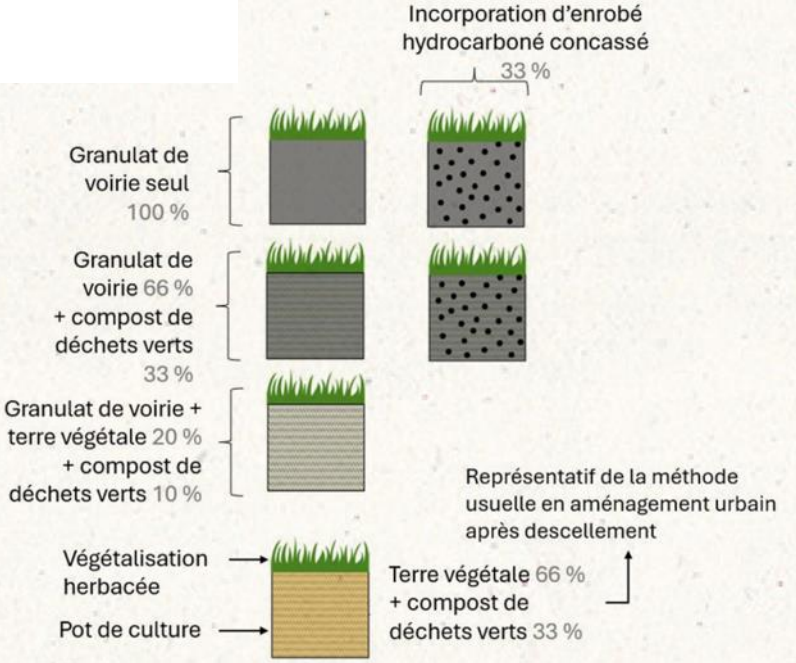


C. Vieillard, 2024

ESSSAIS EN CONDITIONS DE LABORATOIRE



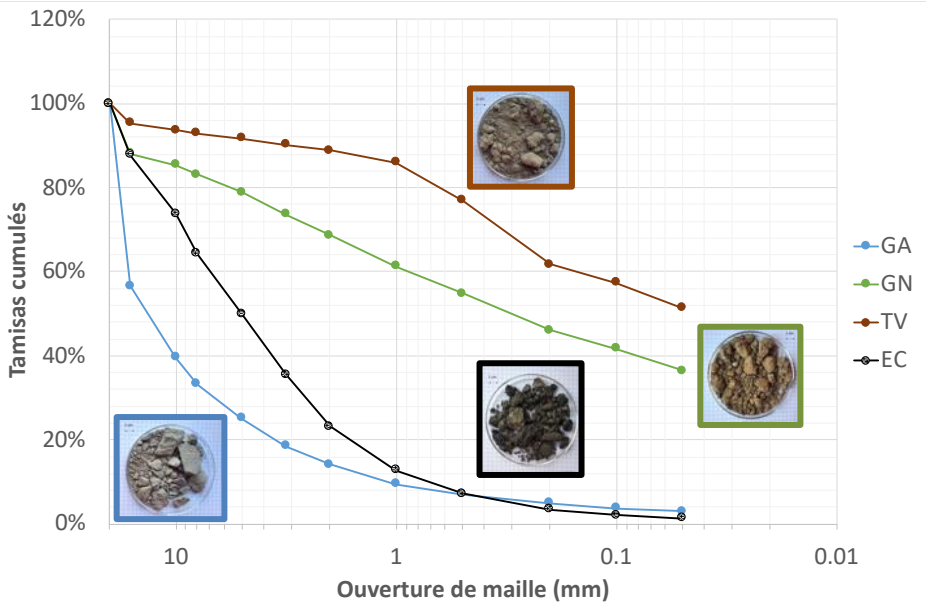
Exemple de pot de culture du suivi sous serre





Matériaux utilisés en génie pédologique et modalités de formulation de substrats testés en conditions contrôlées incorporant ou non des enrobés concassés. / C. Vieillard

Caractéristiques physico-chimiques des matériaux



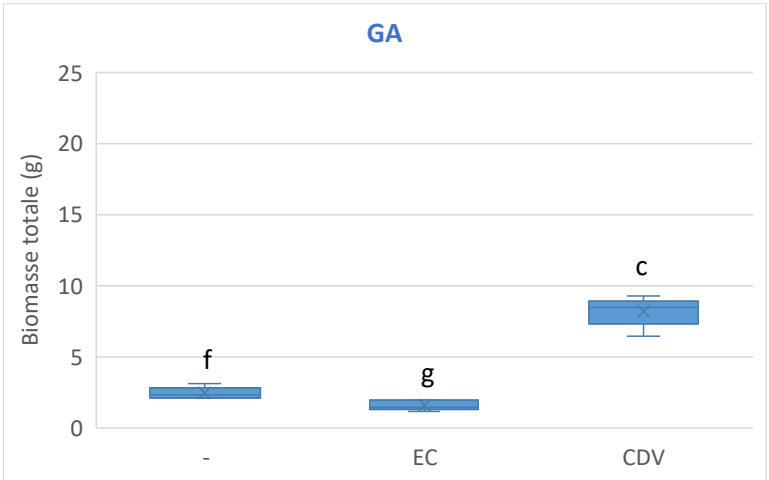
Matériaux	Fraction > 2 mm (%)	pH	C_{org} (g kg^{-1})	P_{olsen} (g kg^{-1})	CEC (méq kg^{-1})
GA	84	8,8	7,8	0,006	29
GN	27	8,3	5,9	0,024	81
TV	10	6,6	15,3	0,022	76
EC	90	8,7	-	-	-
CDV	-	9,5	274	7,31	-

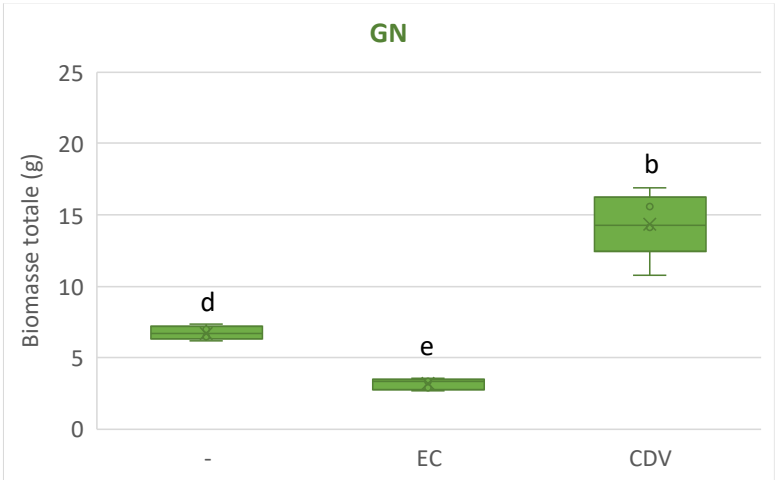
- Les teneurs en ET des matériaux anthropiques ne dépassent pas les seuils fixés
- Fertilités physique et chimiques faibles des substrats : **GA**, **GN** et EC
  => formulation de mélanges avec apport de matière organique (CDV)

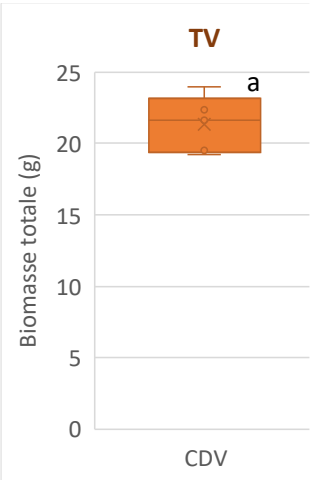
Développement du végétal 33 jours après le semis

	-	EC	CDV	TV + CDV
GA				
GN				

Production de biomasse à l'issue de la culture

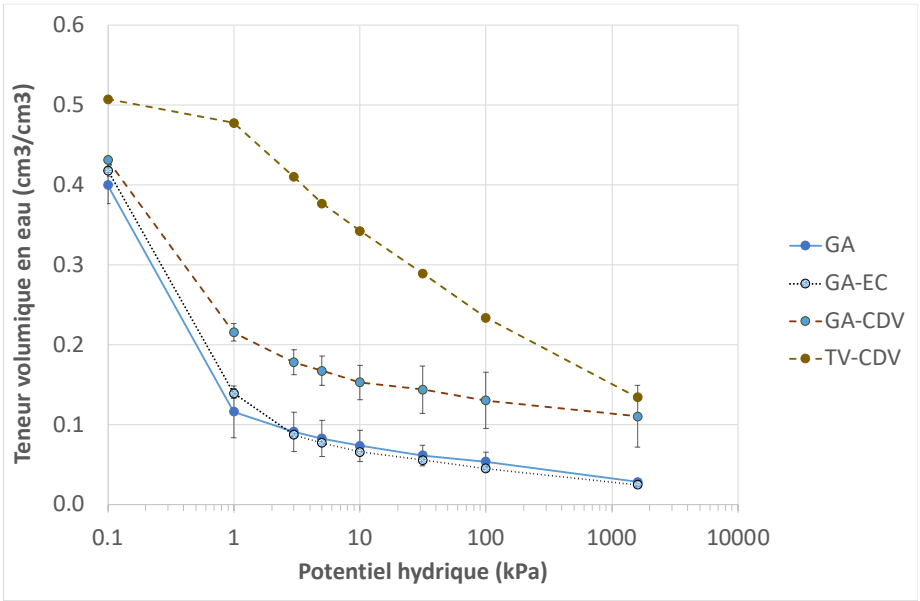


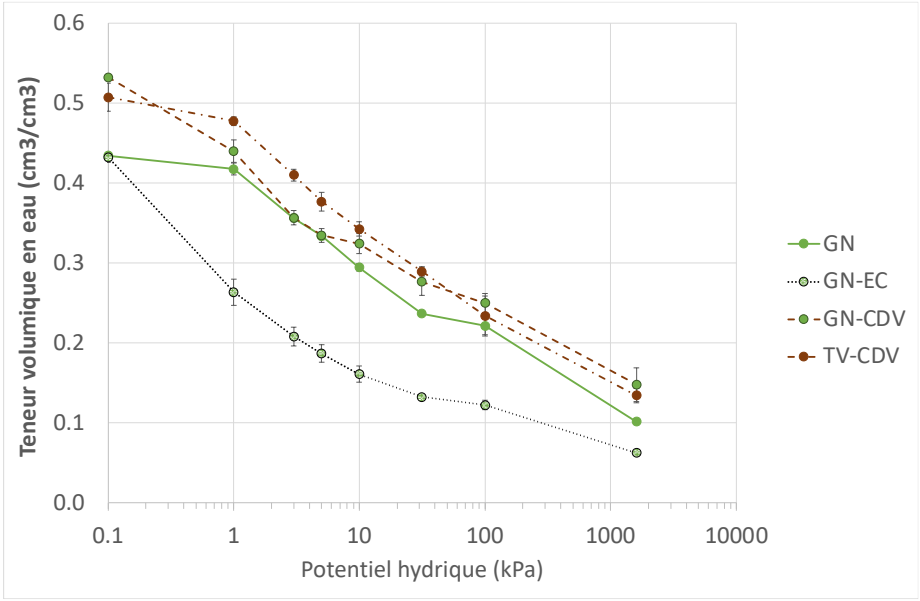




- **GN** plus fertile que **GA**
- Apport de matière organique favorise le développement du ray grass
- Pas de contamination des eaux de recyclage
- Pas d'excès de sel

Capacité de rétention en eau des matériaux et mélanges





- Capacité de rétention en eau : **GA** < **GN**
- Incorporation d'EC pas de modifications significatives pour GA et ↘ pour GN
- Ajout de CDV ↗ la capacité de rétention en eau

Bilan de l'essai en conditions contrôlées



	Granulat	Granulat + enrobé	Granulat + compost	Terre + compost
Fourniture d'eau	+(+)	+	++(+)	+++
Fourniture de nutriments	+(+)	+	++(+)	+++
Support de biomasse	+(+)	+	++(+)	+++

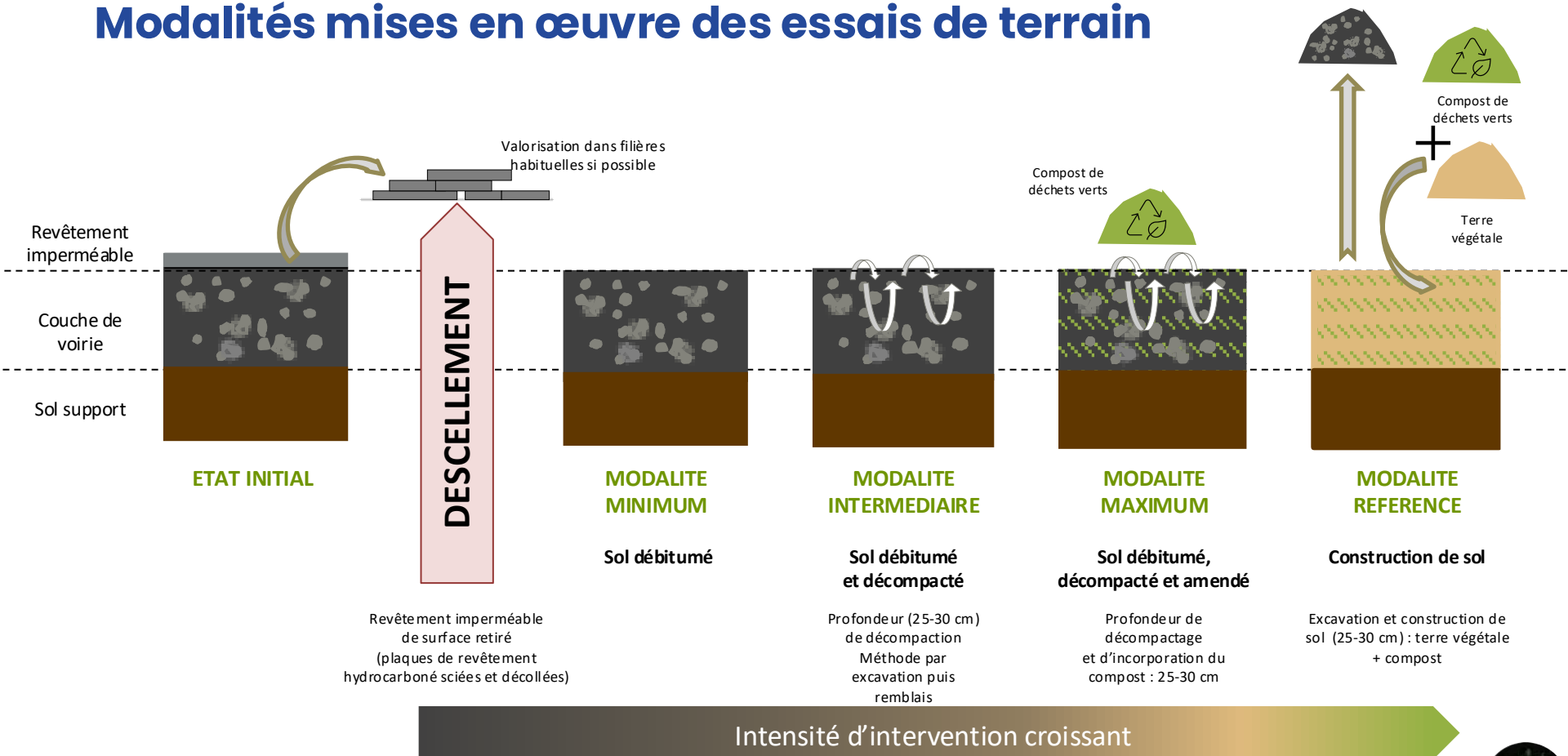
- Les modalités de génie pédologique déterminent la capacité du sol descellé à être multifonctionnel
- Granulats de voiries descellées et enrobé bitumineux : pas de risque sanitaire et environnemental
- Granulats ↘ la capacité de rétention en eau et la fertilité chimique → développement herbacé insuffisant
- Meilleure reprise de croissance herbacée de granulats avec compost

Qualité et fonctionnement des sols descellés en CONDITIONS *IN SITU*

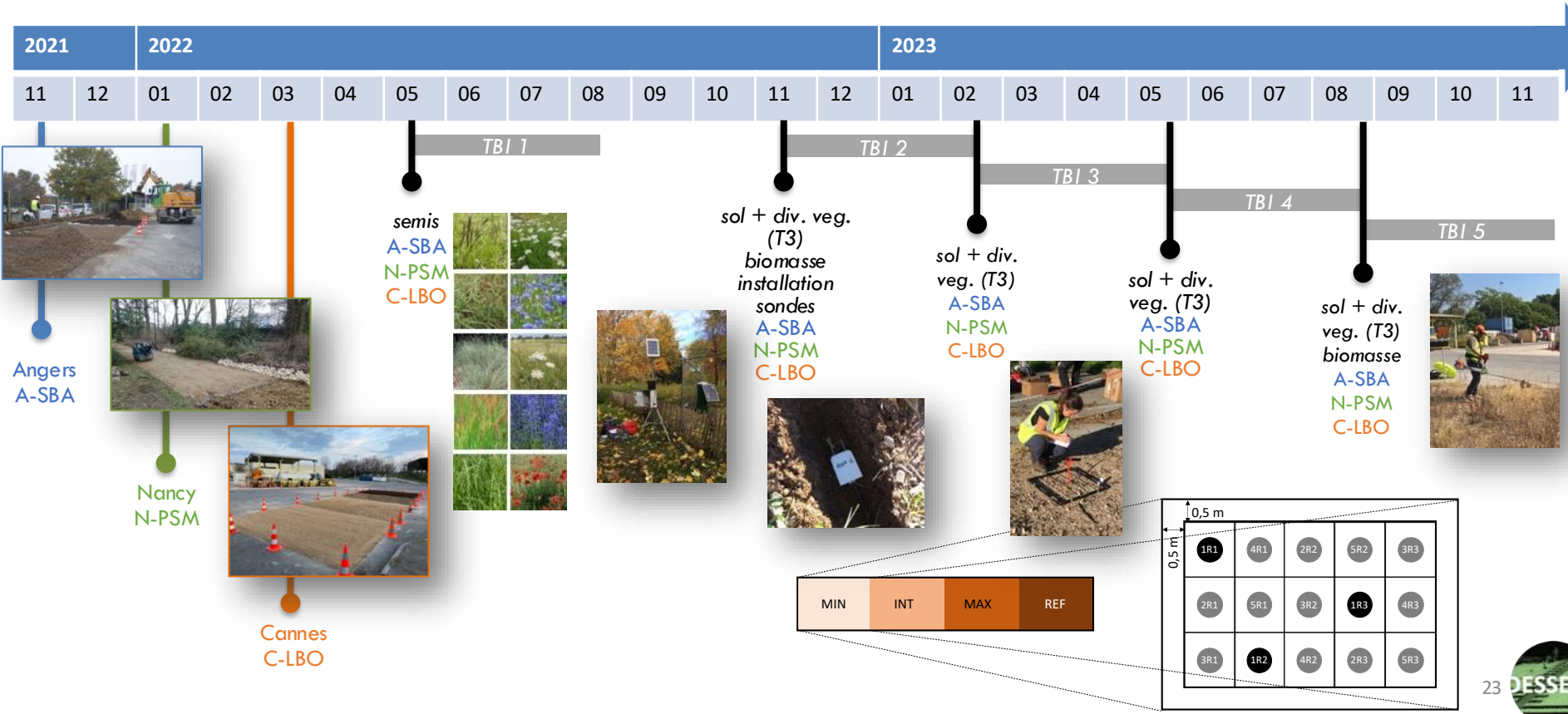
- Mise en œuvre du génie pédologique
- Evaluer les effets des matériaux pédologiques sur la fonctionnalisation des sols
- Evaluer les effets du climat
- Evaluer l'effet du temps sur le développement du végétal dans un support de culture constitué de matériaux anthropiques



Modalités mises en œuvre des essais de terrain



Suivi des essais de terrain, échantillonnages, analyses



Evolution du couvert végétal à Angers















Evolution du couvert végétal à Angers























Evolution du couvert végétal à Angers



Sol descellé
Modalité minimale



Sol descellé
+ décompacté
Modalité intermédiaire

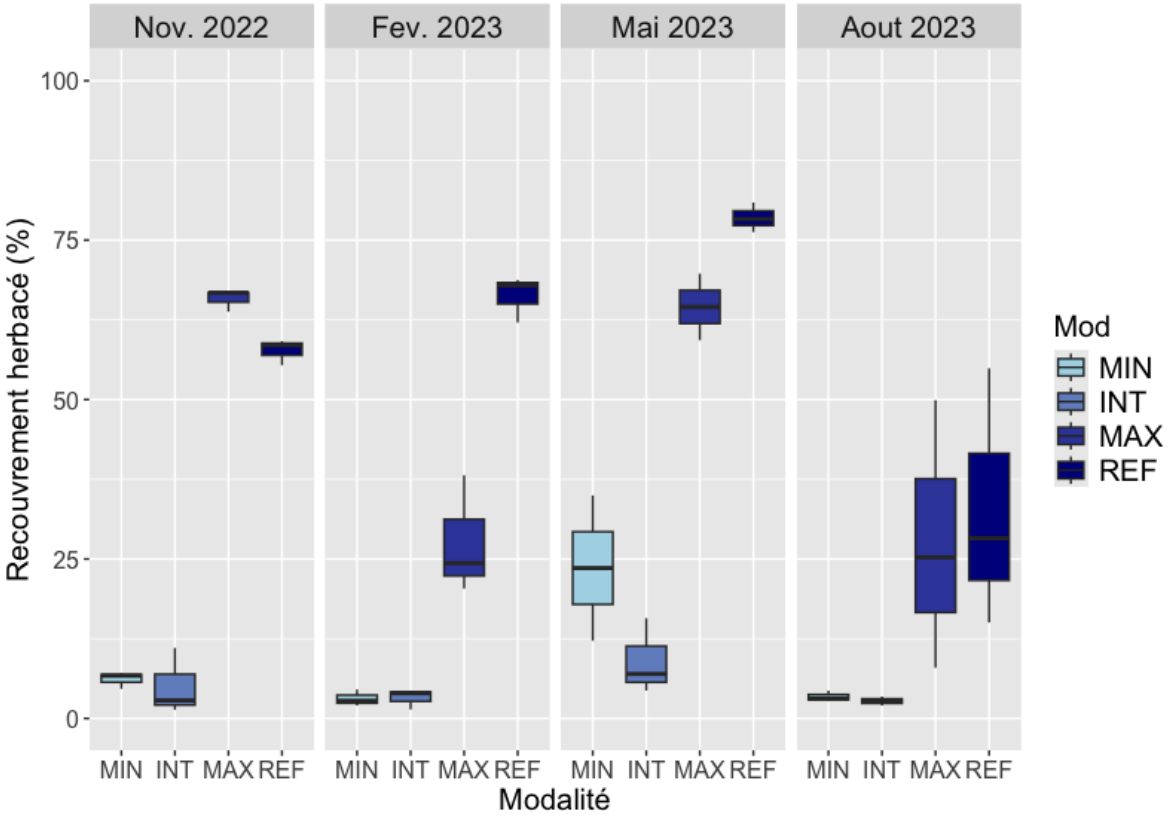


Sol descellé
+ décompacté
+ amendé
Modalité maximale



Sol construit
Modalité
de référence

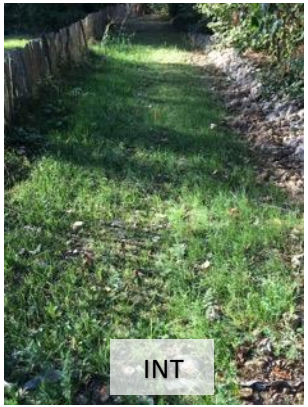
Évolution des sols sous influence de facteurs naturels et anthropiques



Evolution du couvert végétal à Nancy



















Evolution du couvert végétal à Nancy









26/04/2023

Evolution du couvert végétal à Nancy



Sol descellé
Modalité minimale



Sol descellé
+ décompacté
Modalité intermédiaire

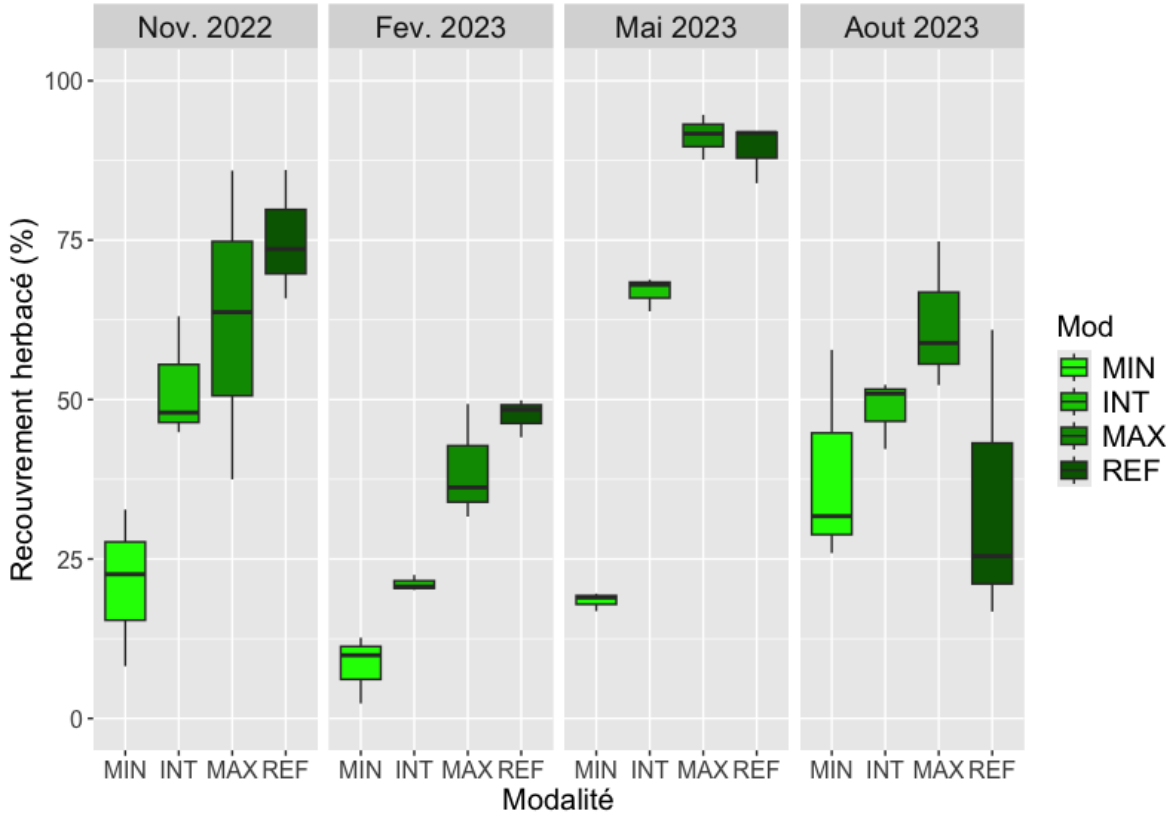


Sol descellé
+ décompacté
+ amendé
Modalité maximale



Sol construit
Modalité
de référence

Évolution des sols sous influence de facteurs naturels et anthropiques



Quatre (anthropo)séquences de sols. Exemple du site pilote du Parc Sainte-Marie, Nancy. / C. Schwartz

Evolution du couvert végétal à Cannes









Evolution du couvert végétal à Cannes























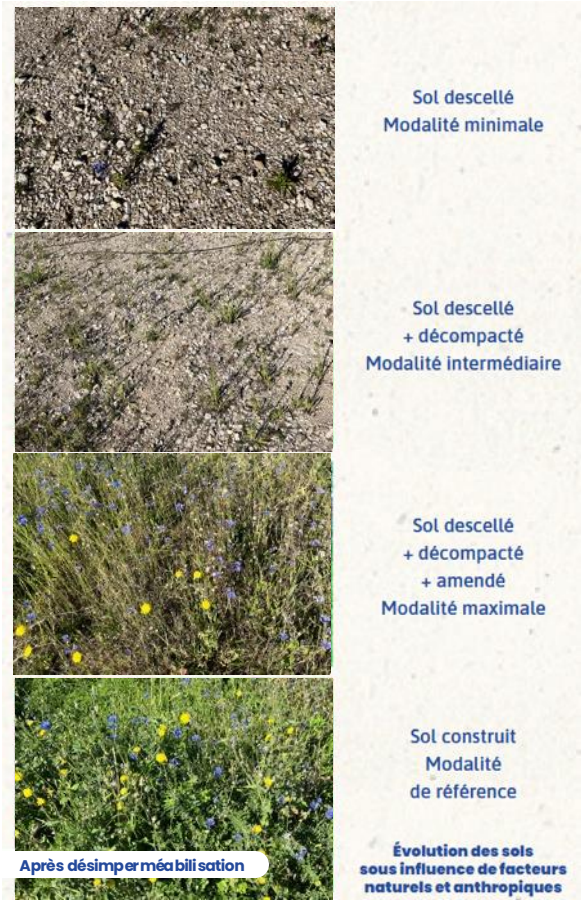


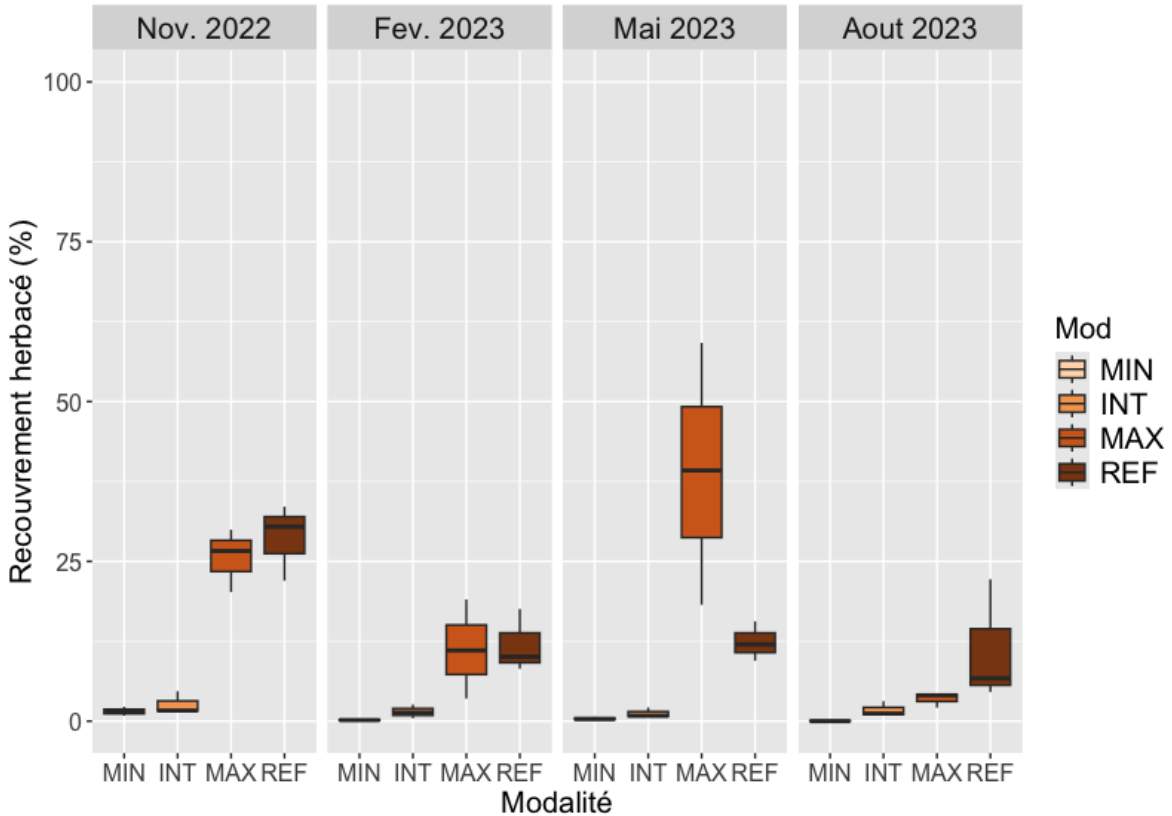






Evolution du couvert végétal à Cannes

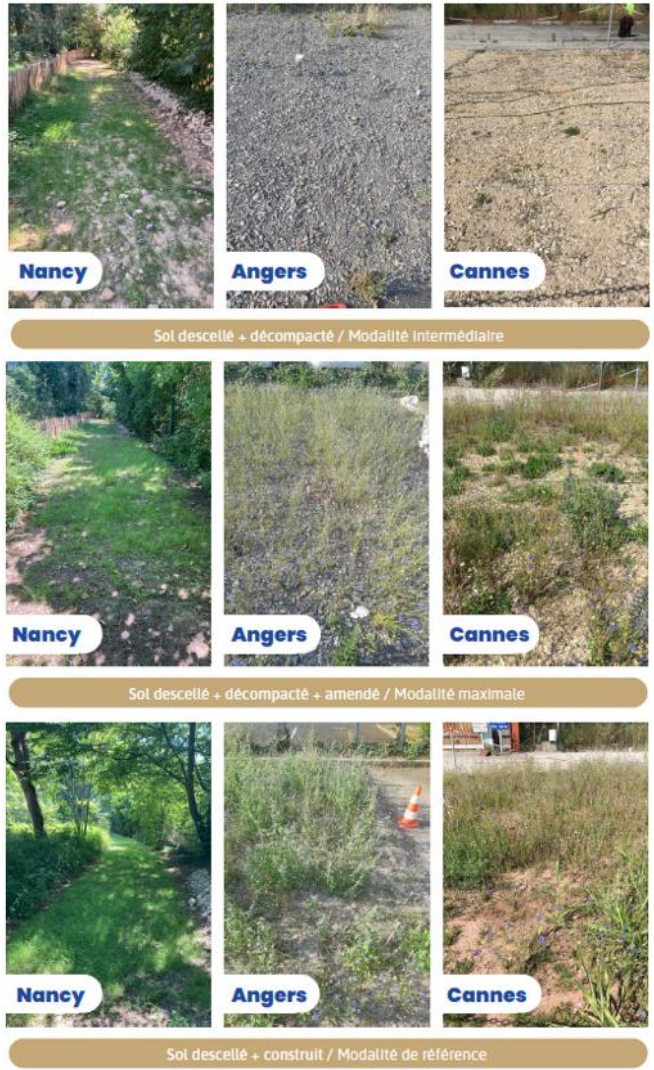




Bilan du développement du couvert végétal en fonction

- des sites

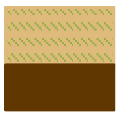
- des modalités de descellement



- variations interannuelles
- disparités fortes entre sites et modalités à moduler avec la diversité spécifique
- pour tous les sites,
  - fort recouvrement des modalités ayant eu un apport de compost ;
  - production de biomasse effective ;
  - retard pour Cannes lié aux conditions climatiques
- environnement du site descellé (intensité de fragmentation) et nature du sol en place relativisent l'effet de l'apport de compost (cas du site de Nancy)

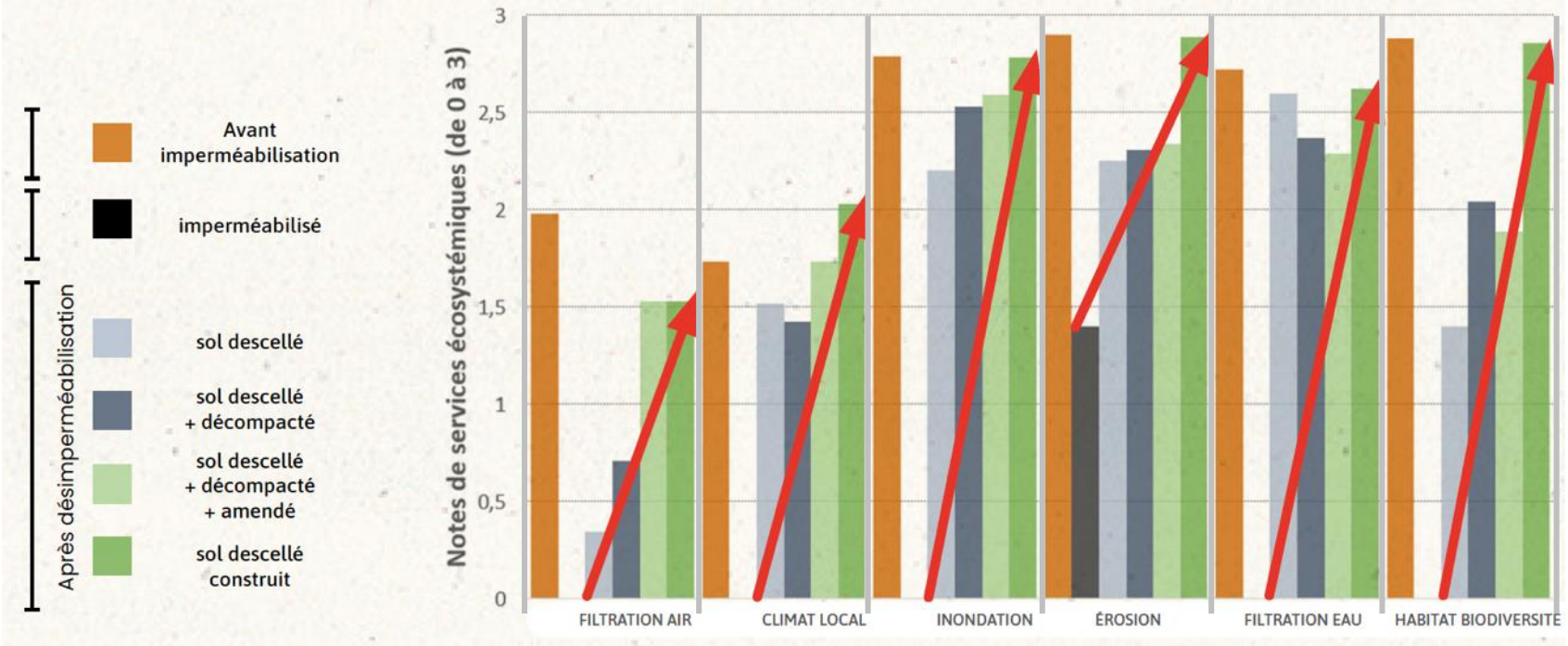
(observations Angers & Nancy juillet 2022 ; Cannes mai 2023). / C. Schwartz

Bilan de l'essai en conditions *in situ*

	Granulat non décompacté		Granulat décompacté		Granulat + compost		Terre + compost
		≈		<		≈	
							
Rétention en eau	+				++(+)		+++
Régulation thermique	+				++(+)		+++
Fertilité chimique	+				++(+)		+++
Biomasse	+				++		+++
Couvert	+				++(+)		+++
Diversité végétale	++				++		++
Cycle de la matière organique	+(+)				++(+)		++(+)

- Les fonctionnalités de granulats amendés sont comparables à celles d'une terre amendée
- Les sols descellés développent des fonctions de sols efficaces pour la production de biomasse

GAIN DE FONCTION ET SERVICES RENDUS PAR LES SOLS APRES DESCELLEMENT

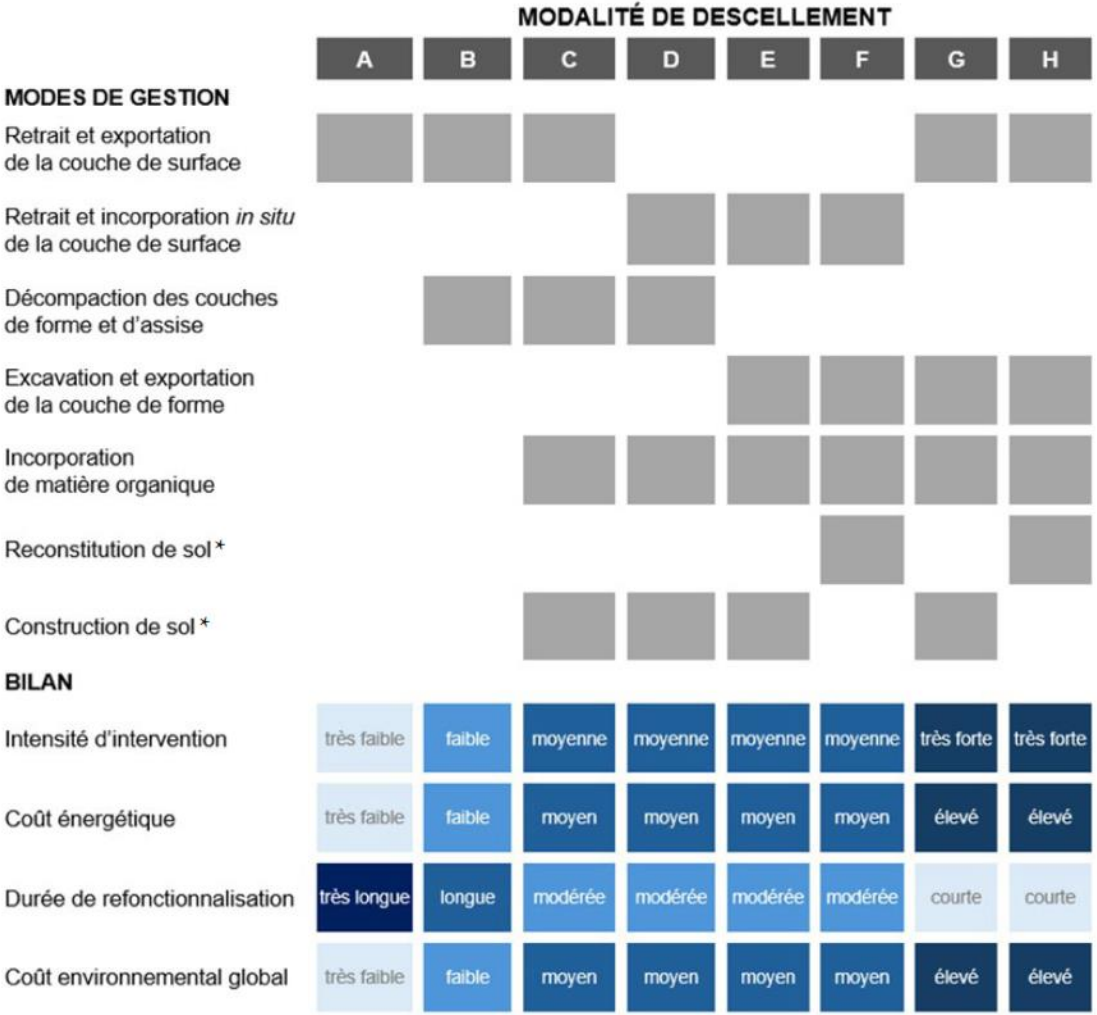


/ M. Clesse, G. Séré, C. Schwartz

- Destisol : OAD visant à évaluer des scores *(note de 0 à 3)* de SE rendus par les sols et leurs couvertures
- exemple d'application de Destisol aux modalités de désimperméabilisation de l'essai DESSERT de Nancy
- Evaluation des services écosystémiques rendus selon l'intensité d'intervention

Blanchart et al., 2018 ; Séré et al., 2024

ADAPTER SA STRATÉGIE DE DESCELLEMENT



intensité des modes de gestion lors d'opérations de descellement des sols urbains : une analyse coûts-bénéfices

- *fonctionnalités satisfaisantes des granulats amendés comparables au sol construit*
- *le génie pédologique favorise la construction de sol en économie circulaire*
- ***laisser du temps au temps ! et mobiliser l'énergie solaire…***
- ***poursuivre les essais sur le long terme***





Sommaire

Fondements du projet DESSERT 5
- **Projet DESSERT** 6
  - Contexte 6
  - Objectifs 6
  - Application et valorisation 7
- **Préambule** 9

Imperméabilisation des sols urbains : état des lieux 11
- **Sols urbains : définitions et enjeux** 12
- **Diversité des sols imperméabilisés** 14
- **Composition des sols imperméabilisés** 16
- **Conséquences de l'imperméabilisation** 18
  - Impacts sur le fonctionnement biologique et le développement des végétaux 18
  - Impacts sur les cycles hydrologiques 18
  - Impacts sur le fonctionnement thermique 19
  - Impacts sur le risque de contamination 19
  - Vue d'ensemble des impacts sur le fonctionnement des sols 19
- **Aménagement et scellement des sols** 22
  - Artificialisation des sols et étalement urbain 22
  - Construction de bâti 22
  - Installation de revêtements de voirie 23
  - Compaction 24
  - Colmatage de surfaces perméables 24

Pourquoi desceller ? 25

Contexte réglementaire et opérationnel 26
  - Cadre réglementaire 26
  - Prise en compte des sols par le biais des dynamiques européennes 26
  - ZAN, vers un objectif de neutralité 26
  - Cadre tangible au sein des documents d'urbanisme 28
- **Restaurer les fonctions des sols** 30
- **Renaturation : point sur le projet de DESSERT** 32
  - Essais en conditions de laboratoire 32
  - Sites pilotes de terrain 33
  - Adapter l'intensité d'intervention au contexte pédoclimatique 35
  - Gain de fonctions et de services rendus par les sols après descellement 37
  - Évolution des sols dans le temps 38

Comment desceller ? 39
- **Comprendre les étapes d'un projet** 40
- **Concevoir et étudier le projet** 44
  - Diagnostic (DIA) 44
  - Avant-projet (AVP) 47
  - Rappel des trois hypothèses de descellement 49
- **Choisir les entreprises** 52
  - Projet et Dossier de consultation des entreprises (PRO-DCE) 52
  - Transition études-travaux 53
- **Réaliser les travaux** 54
  - Réaliser un état zéro pré-travaux 54
  - Définir le planning et le stockage 54
  - Suivi et état réalisé 55
  - Inviter à nouveau les services gestionnaires 55
- **Gérer les sols descellés** 57
  - Outils et pratiques 57
  - Différents types de gestion 57
  - Adapter sa stratégie de descellement 62

Pour aller plus loin 63
- **Conclusion** 64
- **Quelques définitions** 66
- **Bibliographie** 68

Traduction des acquis du projet DESSERT dans un guide d'aide à la conception