



Le sol, une opportunité pour l'environnement

L'ingénierie pédologique au service de la préservation de la ressource en sol

Gaylord Erwan MACHINET, Yann THOMAS

Paris, 07 septembre 2021

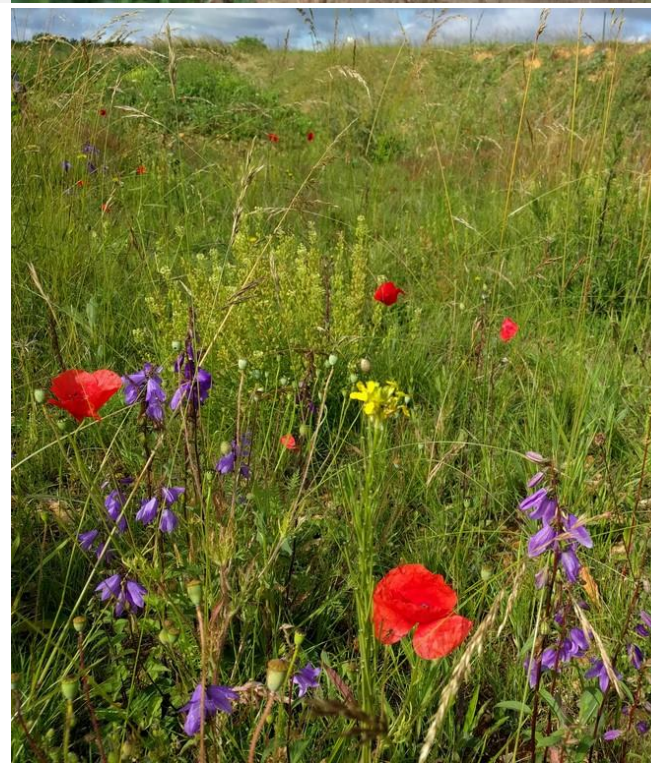
1



Microhumus : nos activités sur les sols

Ingénierie pédologique
&
Gestion des sols dégradés et pollués par
phytomanagement

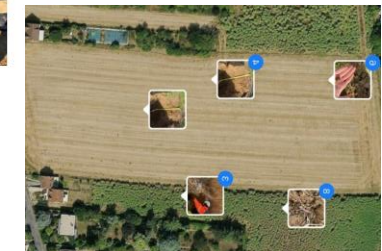
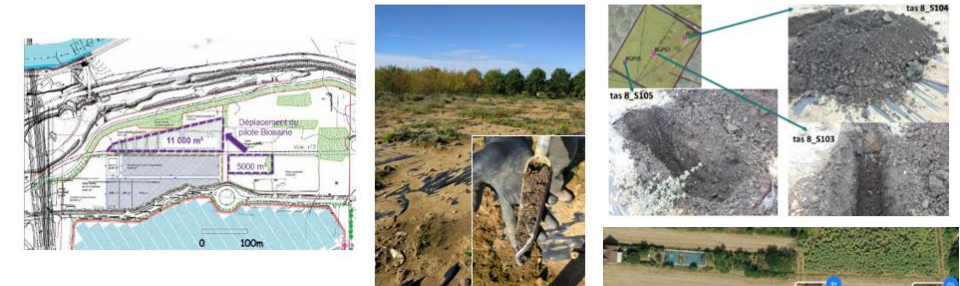
- **Formulation d'amendements**
- **Amélioration** des sols agricoles
- **Refonctionnalisation** de sols en milieux arides désertiques
- **Restauration** de sols sur friches industrielles
- **Création de sols** sur friches à base de matériaux inertes
- **Réhabilitation** de carrière
- **Formulation de terre végétale**
- **Gestion par phytomanagement** des sols pollués



Microhumus, en quelques mots

Leader en restauration et phytoremédiation des sols

- En activité depuis 2007
- Actif dans 3 pays européens + Références au Moyen Orient
- Programmes de R&D
- Plus de 160 sites références en BtoB de l'étude au suivi de chantier





Plan

4

*“L’ingénierie pédologique
au service de la préservation de la
ressource en sol”*

- Introduction :
 - **Le sol : une ressource essentielle non renouvelable à préserver**
- Procédé SubsTer® :
 - **Ingénierie de formulation de terre végétale NF U44-551 sur plateforme**
- Procédé OptimSitu® :
 - **Restauration de sols dégradés in situ (prairie sèche calcaire sur carrière)**

Les sols remplissent plusieurs **fonctions** vitales d'importance environnementale et socio-économique

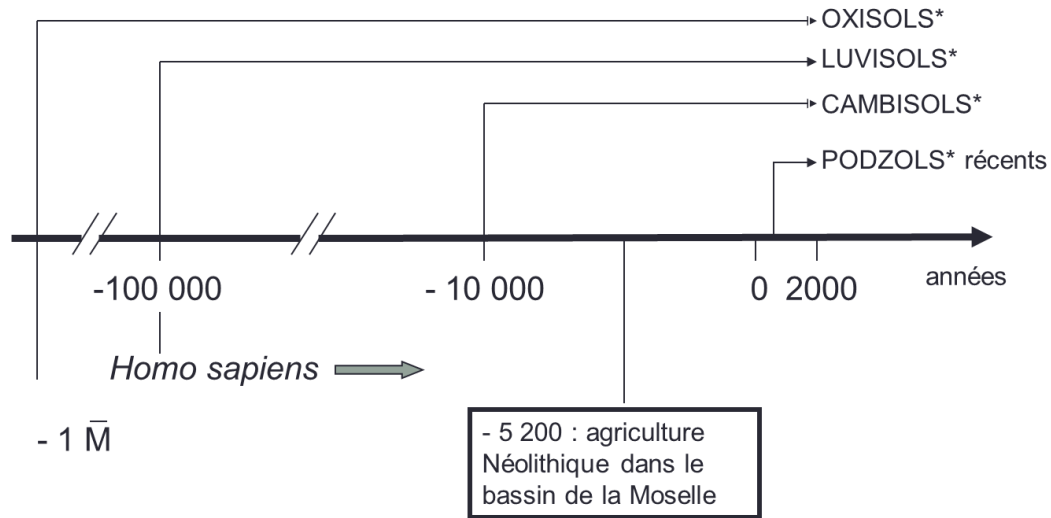
- **Réservoir d'éléments** nutritifs et support des racines
 - Production de biomasse (alimentaire et non alimentaire)
- **Réservoir de biodiversité**
 - Habitats, espèces et gènes
- **Filtration, transformation** des substances
 - Grands cycles (C, N), eau, éléments nutritifs, contaminants
- **Stockage** de substances
 - C (réservoir majeur de C : 4 000 gigatonnes); Phosphore
- **Source** de matériaux bruts
 - Matériaux de construction
- **Milieu physique** pour les activités humaines
 - Habitat, transport, paysage
- **Archives** géologiques et archéologiques



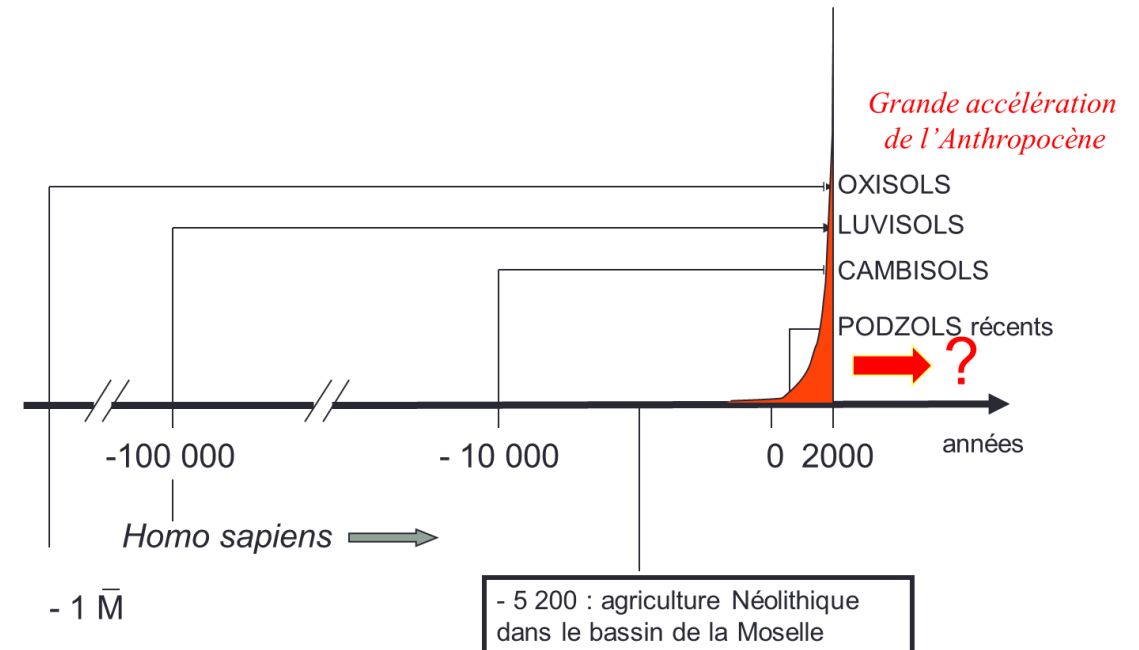
Sol = Ressource essentielle

Le sol : une ressource essentielle non renouvelable

La formation des sols naturels résulte de processus généralement longs



La dégradation anthropique des fonctions des sols:
phénomène récent et rapide (Anthropocène)



Les « services écosystémiques » des sols

Services d'approvisionnement

Nourriture, bois, fibre

Eau douce

Matériaux bruts

Support physique

Services culturels

Récréation / Tourisme

Paysage / Esthétique

Education

Spiritualité

Services de régulation

Stockage de l'eau,
ruissellement,
inondations

Atténuation des
pollutions

Changement climatique

Climat local

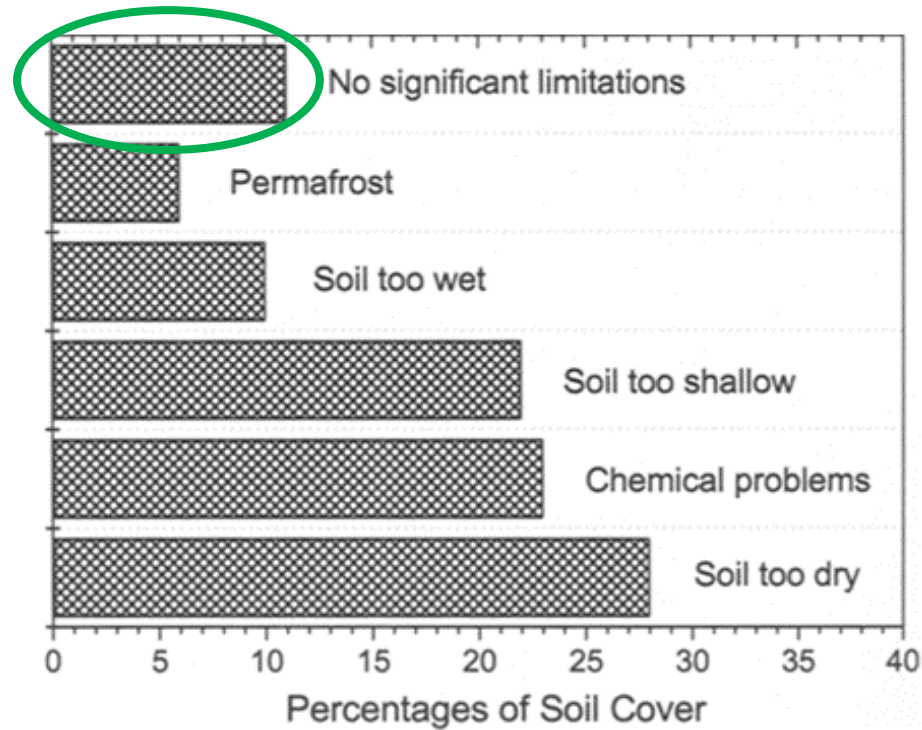
Biodiversité

Purification de l'air

Bruit



Les sols : une ressource à respecter



Seuls 11% de la surface sont cultivables sans apports majeurs (engrais, énergie, eau) (FAO 1998)



- **Menaces sur la ressource en sols**
 - Erosion
 - Diminution de la matière organique
 - Contaminations (locales et diffuses)
 - Artificialisation (scellement)
 - Tassement
 - Diminution de la biodiversité
 - Glissements de terrain
 - Salinisation

L'ingénierie pédologique au service de la préservation de la ressource en sol

Besoin d'alternatives à l'utilisation des terres agricoles et des terres des zones naturelles

Ingénierie pédologique

SubsTer®
sur plateforme

OptimSitu®
In situ



Depuis les stériles



2. Ce outil mobile sépare trois fractions: gros éléments, éléments de taille moyenne et la terre assez fine, de granulométrie 0/8, évacuée à la droite de l'ouvrage.



4. Les camions transportent la terre de base produite entre les deux sites CCC de Vézouze.



6. Le travail de CCC consiste à proposer trois qualités de SubsTer différentes: au fond de l'usage, la qualité "chantier"; au deuxième plan, la qualité "paysager" et au premier plan, la qualité "potager".



Jusqu'au fertile



1. Ce logo de SubsTer réunit une surface engazonnée et une autre recouverte de plantes dicotylédones. Il sert d'appui à la démarche commerciale entreprise pour les travaux de la ligne de tramway à Saint-Etienne et Saint-Chamond.



SubsTer®



Procédé d'ingénierie pédologique qui **valorise** des matières minérales et organiques résiduelles **issues de l'économie circulaire** dans la **formulation de terres de substitution** conformes aux dénominations « **terre support** » et « **terre végétale** » de la norme Supports de culture NFU44-551.

- Terres à vocation paysagère, potagère, ou encore de chantier, selon objectifs d'usage et les caractéristiques des matières premières
- Pour les entreprises d'aménagement paysager
- Pour les entrepreneurs et les promoteurs publics

Focus : Les supports de culture selon la norme NF U44-551

FA107273

ISSN 0335-3931

norme française

NF U 44-551

Mai 2002

Indice de classement : U 44-551

ICS : 65.080

Supports de culture

Dénominations, spécifications, marquage

E : Growing media — Designations, specifications, marking

D : Mischdünger — Benennungen, Spezifikationen, Kennzeichnung

Norme française homologuée

N°	Dénomination du type	Mode d'obtention et composants essentiels (voir 4.1)	Spécifications
1.1	Terre support	Terre issue d'horizons de surface humifères ou d'horizons profonds pouvant être mélangée avec des matières minérales	<p>Matière Organique en % de la Matière Sèche :</p> <p>mini : 1 ; maxi : 5</p> <p>Fraction fine (≤ 2 mm) : supérieure à 50 % en masse (X 31-107)</p>
		<ul style="list-style-type: none"> Minéraux stériles, produits invendus de carrières Matériaux de découverte 	
		<p>D'autres catégories de matières premières peuvent être valorisées sous forme des terres de substitution fertiles et fonctionnelles, sans être normalisables :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sédiments dragués - Terre excavée, matériaux de démolition - Terre inerte dépolluée 	
1.2	Terre végétale	Terre issue d'horizons de surface humifères ou d'horizons profonds pouvant être mélangée avec des matières organiques d'origine végétale, des amendements organiques et/ou des matières minérales (1.11)	<p>Matière Organique en % de la Matière Sèche</p> <p>mini : 3 ; maxi : 15</p> <p>Fraction fine (≤ 2 mm) : supérieure à 50 % en masse (X 31-107)</p>

✓ Compost NF U44-051

X Compost NF U44-095

Focus : Les supports de culture selon la norme NF U44-551

- Innocuité

E.T.M.	Teneurs limites
	Tous supports de culture hors laines minérales *)
Cd	2
Cr	150
Cu	100
Hg	1
Ni	50
Pb	100
Zn	300
*) Les teneurs rencontrées dans les laines minérales sont sensiblement supérieures aux teneurs limites indiquées dans ce tableau pour le Cr, Cu et Ni mais des études validées par la Commission d'Étude de la Toxicité montrent que ces éléments traces ne sont pas disponibles pour les sols et les plantes dans les conditions d'emploi prescrites.	

Micro-organismes pathogènes	Teneurs limites à respecter	Méthodes d'analyses
<i>Salmonella</i>	Absence dans 1 g MB	NF EN 12824 (1998) NF V 08-052 (1993)
<i>Listeria monocytogenes</i> ^{a)}	Absence dans 1 g MB	NF V 08-055 (1997)
a) Uniquement pour les cultures à consommer crues.		

Il est recommandé d'avoir des supports de culture avec des valeurs inférieures aux valeurs de référence suivantes :

Micro-organismes	Valeurs limites à respecter	Méthodes d'analyses normalisées
<i>Escherichia coli</i>	10^3 à 10^4 /g MB	NF V 08-053 (1993)
Entérocoques	10^4 à 10^5 /g MB	NF T 90-432 (1997)
<i>Clostridium perfringens</i>	10^2 à 10^3 /g MB	NF V 08-056 (1994)
Œufs d'helminthes viables	Absence dans 1 g de MB	



Caractérisation agro-environnementale des matières premières

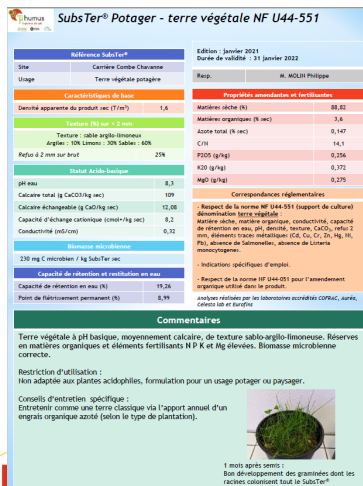


Sélection et caractérisation des matières premières secondaires nécessaires à la refonctionnalisation

Calcul des coûts de production des terres de substitution



Recette et protocole d'assemblage des matières premières pour la production des terres de substitution

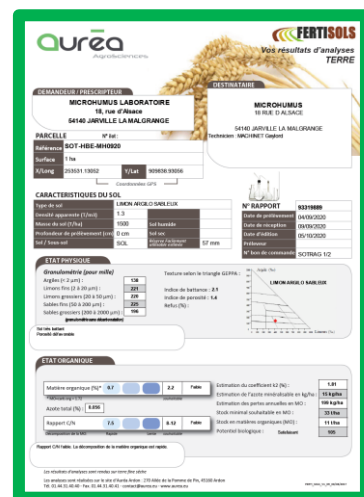


Focus étape 1 : Diagnostic environnemental



Matières premières		Scalpage matériaux inertes	Matériau terreux - biotraitement biopile	Matériau terreux - biotraitement biotertre	Matériau terreux criblé (Allemagne)	Tout-venant terreux	TV-A	TV-B	Valeurs de référence ISDI - Arrêté du 12/12/2014	Support de culture NF U44-551
		RM-01- MH0221	RM-2A- MH0221	RM-2B- MH0221	RM-03- MH0221	RM-04- MH0221	RM-05- MH0221	RM-06- MH0221		
Matière sèche	% MF	90,4	78	89,4	89,2	86,1	81,7	79,4		
Métaux										
Arsenic (As)	mg/kg MS	9,1	10,2	7,37	8,11	8,93	9,42	9,34	-	-
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	-	2
Chrome (Cr)	mg/kg MS	32,9	29,4	33,2	25,7	25,9	25,7	26,9	-	150
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	54,4	27	28,5	18,6	25,9	29	20,3	-	100
Nickel (Ni)	mg/kg MS	23,1	25,5	20,6	21,4	24,8	25,4	26,7	-	50
Plomb (Pb)	mg/kg MS	77,7	24,6	25,4	29,3	22,2	42,5	18,9	-	100
Zinc (Zn)	mg/kg MS	126	76,2	82,4	53,2	59,6	87,7	47,4	-	300
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0,13	0,15	0,25	0,21	<0.10	<0.10	<0.10	-	1
Hydrocarbures totaux (4 tranches) (C10-C40)										
Indice Hydrocarbures (C10-C40)	mg/kg MS	524	183	1640	222	112	126	<15.0	500	-
HCT (nC10 - nC16)	mg/kg MS	64,1	2,22	55,8	28,2	17,6	29,5	<4.00	-	-
HCT (>nC16 - nC22)	mg/kg MS	81,3	2,08	886	26	24	19,4	<4.00	-	-
HCT (>nC22 - nC30)	mg/kg MS	163	42,4	528	60,6	26,3	29,1	<4.00	-	-
HCT (>nC30 - nC40)	mg/kg MS	215	136	173	107	44,1	47,7	<4.00	-	-
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs)										
Naphtalène	mg/kg MS	0,074	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
Acénaphthylène	mg/kg MS	0,19	0,1	<0.05	<0.05	<0.05	0,064	<0.05	-	-
Acénaphène	mg/kg MS	1,6	0,13	0,11	0,4	0,18	0,22	0,11	-	-
Fluorène	mg/kg MS	2,1	0,22	0,099	1,2	0,39	0,53	0,24	-	-
Phénanthrène	mg/kg MS	1,5	0,067	0,052	0,76	0,26	0,33	0,089	-	-
Anthracène	mg/kg MS	1,6	0,08	0,074	0,76	0,31	0,45	0,089	-	-
Fluoranthène	mg/kg MS	0,73	0,088	0,07	1,3	0,24	0,3	<0.05	-	-
Pyrène	mg/kg MS	0,18	<0.05	<0.05	0,24	0,054	0,069	<0.05	-	-
Benzo(a)-anthracène	mg/kg MS	0,18	<0.05	<0.05	0,18	0,057	0,14	0,059	-	-
Chrysène	mg/kg MS	0,15	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	0,62	0,099	0,07	0,35	0,11	0,34	0,095	-	-
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	2,7	0,14	0,097	1,2	0,44	0,58	0,31	-	-
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	1,9	0,14	0,1	1,6	0,43	0,6	0,2	-	-
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS	0,67	<0.05	<0.05	0,48	0,18	0,19	0,063	-	-
Benzo(ghi)Pérylène	mg/kg MS	1,1	0,085	0,063	1,2	0,24	0,35	0,16	-	-
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	mg/kg MS	0,56	0,12	0,09	1,3	0,24	0,26	<0.05	-	-
Somme des HAP	mg/kg MS	16	1,3	0,83	11	3,1	4,4	1,4	50	-
Faisabilité technique		NON	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI		

Focus étape 1 : Diagnostic agronomique

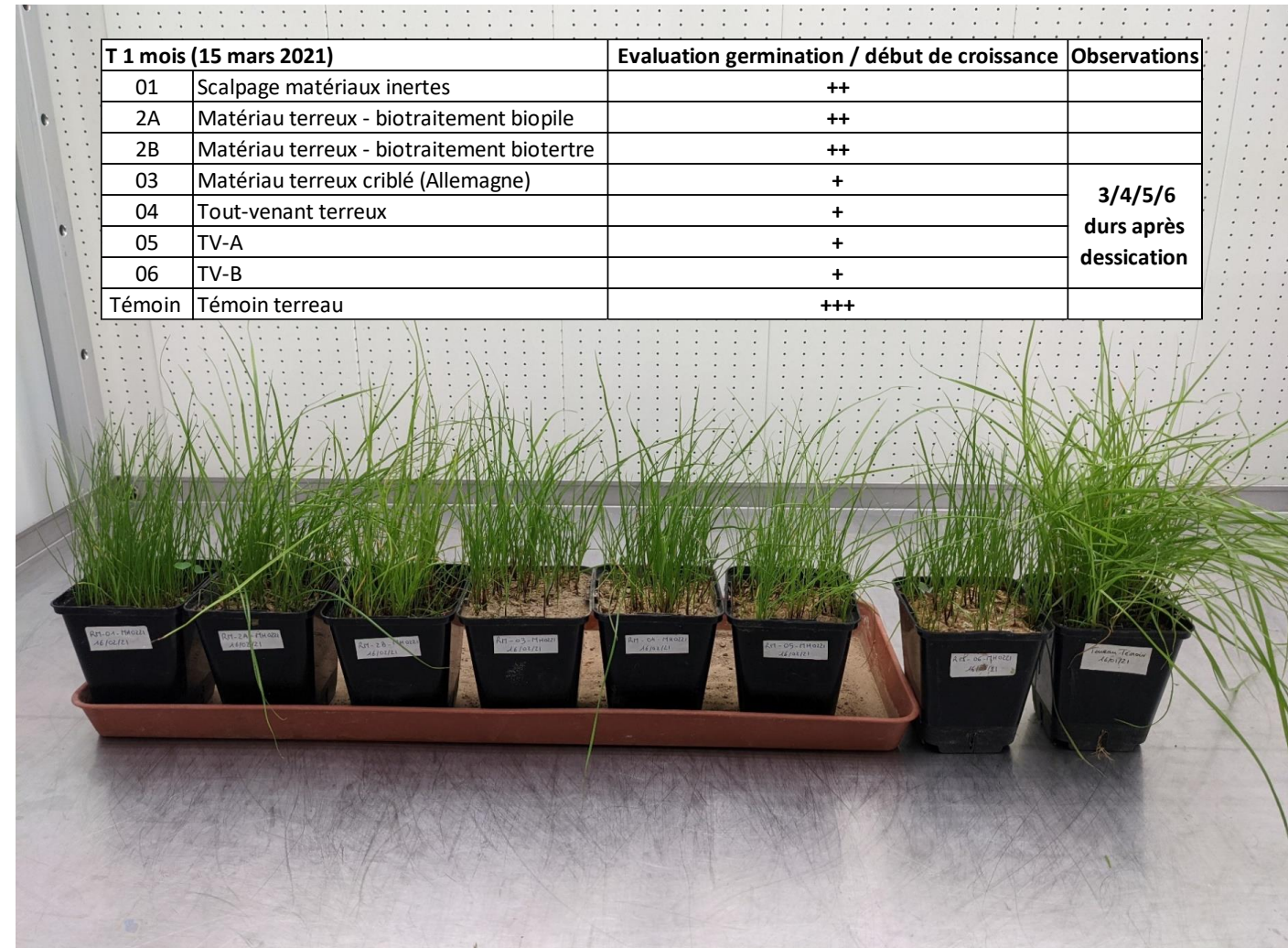


- Fertilité physique
- Fertilité chimique
- Fertilité biologique

Matières premières		Scalpage matériaux inertes	Matériau terreux - biotraitement biopile	Matériau terreux - biotraitement bioterte	Matériau terreux criblé (Allemagne)	Tout-venant terreux	TV-A	TV-B
		RM-01- MH0221	RM-2A- MH0221	RM-2B- MH0221	RM-03- MH0221	RM-04- MH0221	RM-05- MH0221	RM-06- MH0221
Densité apparente sur brut	g/cm3	1,3	1,1	1,1	1,3	1,4	0,9	0,9
Refus à 2 mm	%	59	60	60	42	43	26	10
Refus à 10 mm	%	22	26	20	19	28	9	2
Fractionnement granulométrique sans décarbonatation (texture)								
Argiles (< 2 µm)	% sec	5	11	7	7	13	14	25
Limons fins (2 - 20 µm)	% sec	8	10	5	7	18	16	30
Limons grossiers (20 - 50 µm)	% sec	8	9	5	9	18	19	34
Sables fins (50 - 200 µm)	% sec	16	15	18	22	14	13	4
Sables grossiers (200 - 2000 µm)	% sec	63	54	65	55	38	38	7
Texture (selon triangle GEPPA 1963)		Sable	sableux	Sable	sableux	Sable argilo- limoneux	Sable argilo- limoneux	Limon argilo- sableux
Indice de battance		0,2	0,2	0	0,6	1,1	0,5	1,2
Indice de porosité		12,6	4,9	9,4	7,5	3,1	2,6	0,3
Etat humique								
Matières organiques	% sec	2,3	4,1	6,0	1,2	1,7	3,5	2,3
Azote total	% sec	0,065	0,204	0,254	0,036	0,069	0,168	0,131
C/N		21	12	14	19	14	12	10
Statut acido-basique								
pH eau		9,2	7,9	8,3	8,6	8,4	8,2	8,1
Calcaire total	g/kg	157	33	63	39	110	33	34
CaO	g/kg	24,73	11,82	9,27	10,3	13,12	12,72	14,02
CEC Metson	meq/100g	5,2	7,5	8,8	3,5	6,6	9,2	11,8
Milieu nutritif et environnemental								
Phosphore Joret Hébert P2O5	g/kg	0,153	0,277	0,471	0,114	0,150	0,416	0,125
Potassium K2O	g/kg	0,671	0,507	0,850	0,096	0,126	0,398	0,282
Magnésium MgO	g/kg	0,869	0,340	0,437	0,140	0,220	0,399	0,401
K2O/MgO		0,8	1,5	1,9	0,7	0,6	1	0,7
Autres résultats								
Conductivité	mS/cm	2,21	0,72	0,39	0,22	0,38	0,2	0,17
Sodium	g/kg	0,29	0,044	0,049	0,148	0,092	0,07	0,022
Capacité hydrique								
Capacité de rétention en eau pF2,5	%	12,9	17,1	15,9	9,0	19,0	22,7	29,0
Point de flétrissement permanent pF4,2	%	8,9	10,1	7,7	6,2	8,8	11,3	15,9
Réserve utile	mm eau/cm sol	0,5	0,8	0,9	0,4	1,4	1,1	1,2
Biomasse microbienne								
Biomasse microbienne	mg C/kg	98	609	555	23	111	462	347
Faisabilité technique		OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

Faible
correct
élevé

Focus étape 1 : Test de germination/croissance



Etape 2 : Faisabilité économique


Prise en compte :

- Des coûts de valorisation des matières premières
- Des coûts d'acquisition des matières premières secondaires
- Des coûts de criblage, concassage, d'assemblage

Si positif => formulation

Etape 3 : Ingénierie de formulation

- Production de la terre de substitution selon notre protocole de mise en œuvre
- Réalisation d'une fiche technique contenant les résultats des analyses du lot de production correspondant à la norme NF U44-551



SubsTer® Potager - terre végétale NF U44-551

Référence SubsTer®	
Site	Carrière Combe Chavanne
Usage	Terre végétale potagère

Edition : janvier 2021
Durée de validité : 31 janvier 2022

Resp. M. MOLIN Philippe

Caractéristiques de base	
Densité apparente du produit sec (T/m³)	1,6
Texture (%) sur < 2 mm	
Texture : sable argilo-limoneux Argiles : 10% Limons : 30% Sables : 60%	
Refus à 2 mm sur brut	25%

Statut Acido-basique	
pH eau	8,3
Calcaire total (g CaCO ₃ /kg sec)	109
Calcaire échangeable (g CaO/kg sec)	12,08
Capacité d'échange cationique (cmol+/kg sec)	8,2
Conductivité (mS/cm)	0,32

Biomasse microbienne	
230 mg C microbien / kg SubsTer sec	

Capacité de rétention et restitution en eau	
Capacité de rétention en eau (%)	19,26
Point de flétrissement permanent (%)	8,99

Propriétés amendantes et fertilisantes	
Matières sèches (%)	88,82
Matières organiques (% sec)	3,6
Azote total (% sec)	0,147
C/N	14,1
P205 (g/kg)	0,256
K20 (g/kg)	0,372
MgO (g/kg)	0,275

Correspondances réglementaires	
<p>- Respect de la norme NF U44-551 (support de culture) dénomination terre végétale :</p> <p>Matière sèche, matière organique, conductivité, capacité de rétention en eau, pH, densité, texture, CaCO₃, refus 2 mm, éléments traces métalliques (Cd, Cu, Cr, Zn, Hg, Ni, Pb), absence de Salmonelles, absence de Listeria monocytogenes.</p> <p>- Indications spécifiques d'emploi.</p> <p>- Respect de la norme NF U44-051 pour l'amendement organique utilisé dans le produit.</p>	


Analyses réalisées par les laboratoires accrédités COFRAC, Auréa, Celesta lab et Eurofins

Commentaires

Terre végétale à pH basique, moyennement calcaire, de texture sablo-argilo-limoneuse. Réserves en matières organiques et éléments fertilisants N P K et Mg élevées. Biomasse microbienne correcte.

Restriction d'utilisation :
Non adaptée aux plantes acidophiles, formulation pour un usage potager ou paysager.

Conseils d'entretien spécifique :
Entretien comme une terre classique via l'apport annuel d'un engrais organique azoté (selon le type de plantation).



1 mois après semis :
Bon développement des graminées dont les racines colonisent tout le SubsTer®

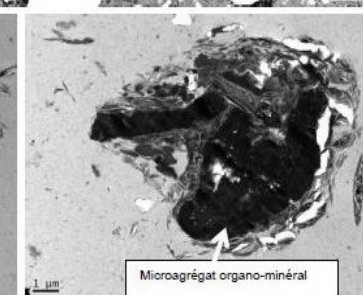
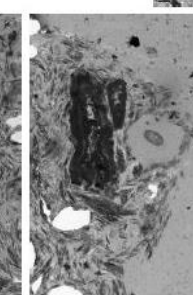
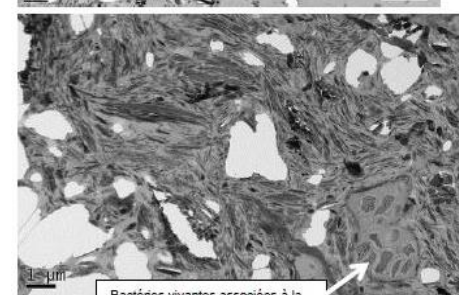
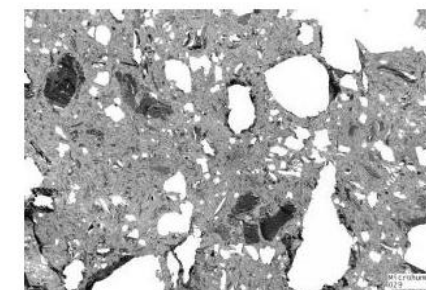
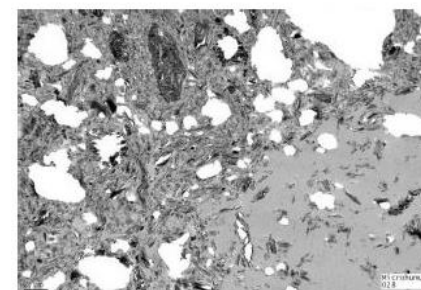
Démonstrateurs SubsTer®



T 0 : mise en œuvre

T 3 semaines

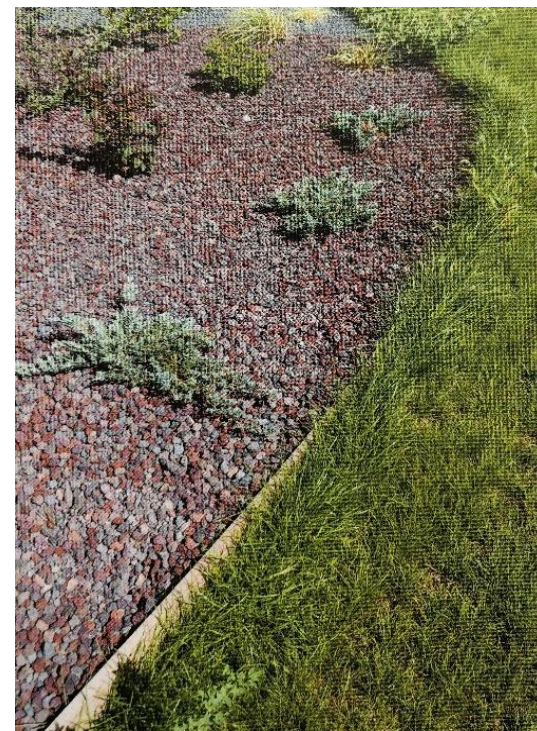
T 1 an



Bactéries vivantes associées à la matrice organo-minérale

Microagrégat organo-minéral

Démonstrateurs SubsTer®



Démonstrateurs SubsTer®



Avantages

- Préservation de la ressource naturelle, non renouvelable
- Recyclage de matériaux minéraux et organiques issus de l'économie circulaire
- Traçabilité
- Constance de la qualité agronomique

OptimSitu®

Procédé d'ingénierie pédologique pour la restauration des sols dégradés

« Une **restauration** est nécessaire lorsque le sol est dégradé à un point tel que l'utilisation originelle n'est plus possible et que la terre est devenue pratiquement improductive. »



Restauration du sol par rapport à un sol « idéal »



Profond, fertile, bien géré, avec un approvisionnement adéquat en eau
quelle que soit l'utilisation de la terre.

Restauration du sol par rapport à son utilisation effective

Paysager
Agricole
Productions non-alimentaires
Mesures compensatoires
Biodiversité



Stratégies :



- Restauration du sol en place

- Construction de sol

OptimSitu®

Procédé d'ingénierie pédologique pour la restauration des sols dégradés

Quels services?



Quelles fonctions?



Quels sols ?



Quelle ingénierie?

Typologie factuelle d'un point de vue du marché :

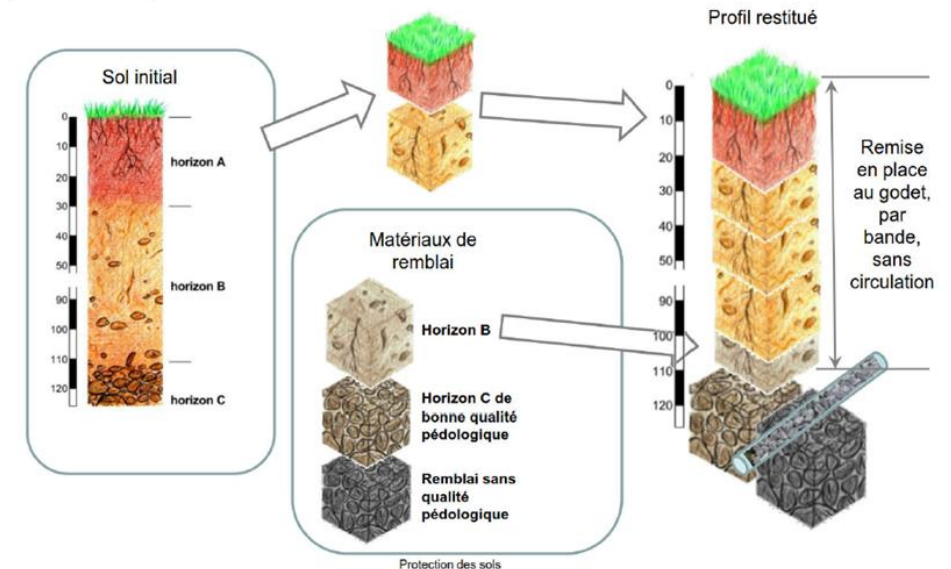
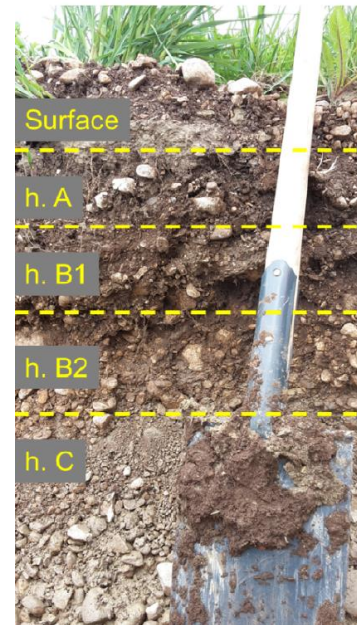
- A - Construction de sols avec apport d'entrants externes classés « déchets » (terre, DV, boues papetières)
- B - Ingénierie pédologique avec apports d'entrants externes normés (terre végétale NFU44551, compost de déchets verts NFU44051 ou NFU44095)
- C – Rehaussement de parcelles via apport de matériaux inertes naturels
- D – Ingénierie pédologique avec valorisation de matériaux du site et formulation d'une terre végétale normée 44551 (ou non) sans utilisation d'entrants externes « déchets »
- E - Amendement de sols dégradés pour une remise en état agronomique fonctionnelle

OptimSitu®

Procédé d'ingénierie pédologique pour la restauration des sols dégradés

Méthodologie :

- **Diagnostic agro-pédologique**
- **Ingénierie pédologique** pour reproduire des horizons pédologiques en valorisant les matériaux présents sur place
- **Ingénierie écologique** pour améliorer naturellement les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols au fil du temps



Profil de reconstitution, d'après FULLEMANN F. (2015)

- **Ingénierie végétale** : sélection des plantes adaptées aux conditions pédoclimatiques

OptimSitu[®] : Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

- Diagnostic agro-pédologique



Plateau Sainte Barbe (54)



OptimSitu[®] :

Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

- Caractérisation agronomique des matériaux

- Terre de découverte
- Mélange terre-pierres
- Plaquettes calcaires

Comparaison aux matériaux naturels de référence

			Prélèvement 2		Prélèvement 4			Terre de découverte
Coordonnées GPS			N	48,601163	48,599808	48,599808	48,599808	48,599863
			E	6,077774	6,07943	6,07943	6,07943	6,077085
Horizons			Horizon A		Horizon A	Horizon B	Horizon C	Merlon
Matière sèche	%	brut	76	72	76	83	71	
Humidité à 105°C	%	brut	24	28	24	17	29	
Densité apparente du sol	g/L	sec	834	762	907	1020	839	
Porosité	% vol		67	69	64	60	66	
Refus à 10 mm	%	sec	1	31	32	46	31	
Refus à 2 mm	%	sec	2	14	7	12	4	
Texture selon triangle GEPPA (1963)			argile limoneuse	argileux	limon argilo-sableux	argilo-sableux	limon argilo-sableux	
Argile - inférieur à 2 µm	%	sec	29	42	28	27	20	
Limons fins - entre 2 et 20 µm	%	sec	30	23	29	16	29	
Limons grossiers - entre 20 et 50 µm	%	sec	28	15	17	9	15	
Sables fins - entre 50 et 200 µm	%	sec	7	6	6	7	8	
Sables grossiers - entre 200 et 2000 µm	%	sec	2	4	15	37	20	
Statut acido-basique								
pH eau	-		6,9	8,0	8,1	8,3	8,1	
pH KCl	-		6,1	7,5	7,5	7,7	7,6	
Calcaire actif	%	sec	-	-	1,7	1,2	2,7	
Calcaire total	%	sec	<0,1	3,7	11,8	34,9	16,9	
Matière organique et azote								
Matière Organique	%	sec	4,4	9,0	5,9	4,0	7,6	
Carbone organique	%	sec	2,6	5,2	3,4	2,3	4,4	
Azote total	%	sec	0,227	0,473	0,342	0,229	0,512	
CEC Metson	még/100g	sec	12,7	25	19,8	11,8	21,8	
Éléments fertilisants								
P2O5 Olsen	mg/kg	sec	10,0	11,3	10,0	18,3	15,8	
K2O échangeable	mg/kg	sec	121	260	178	125	336	
MgO échangeable	mg/kg	sec	177	223	181	148	247	
CaO échangeable	mg/kg	sec	3857	14500	14688	13716	15931	
Na2O échangeable	mg/kg	sec	17,7	19,2	20,0	19,6	21,4	
Oligo-éléments								
Zinc EDTA	mg/kg	sec	3	12	5	10	11	
Manganèse EDTA	mg/kg	sec	17	14	10	8	10	
Cuivre EDTA	mg/kg	sec	1	2	1	1	1	
Fer EDTA	mg/kg	sec	62	17	20	35	13	
Biomasse microbienne								
Biomasse microbienne	mg/kg	sec	902	1955	1181	838	1566	
Biomasse microbienne	% Corg	sec	3,5	3,7	3,4	3,6	3,6	
Capacité hydrique								
Capacité de Rétention en Eau à pF 1,7	% MS	sec	49,6	61,1	48,7	36,4	56,1	
Capacité de Rétention en Eau à pF 2,5	% MS	sec	28,0	38,9	32,8	23,8	38,0	
Capacité de Rétention en Eau à pF 4,2	% MS	sec	12,1	25,9	19,6	14,2	24,7	
Réserve Utile (RU)	mm/cm	sec	2,1	1,7	1,7	1,3	1,7	
Réserve Facilement Utilisable (RFU)	mm/cm	sec	1,6	1,3	1,3	0,9	1,3	

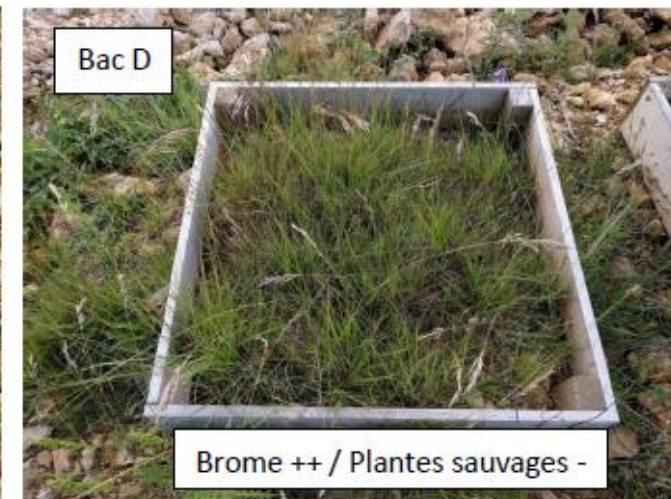
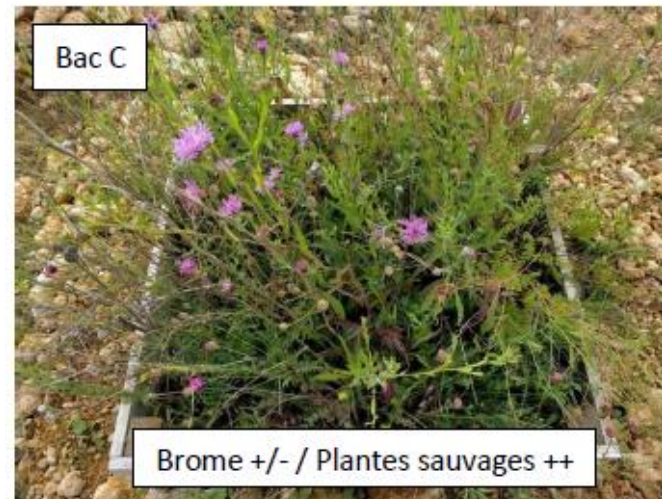
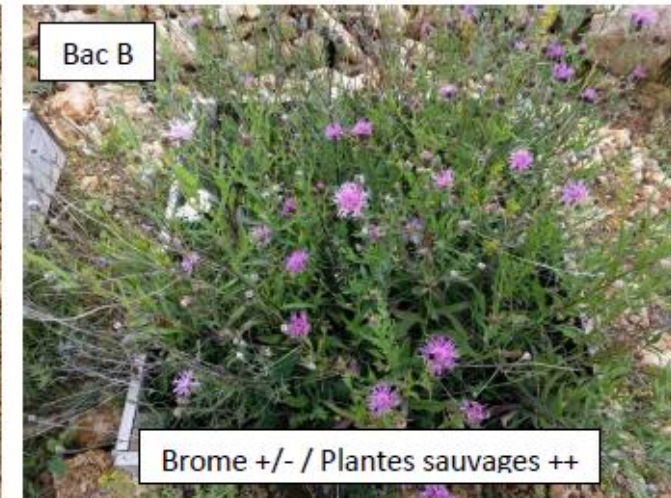
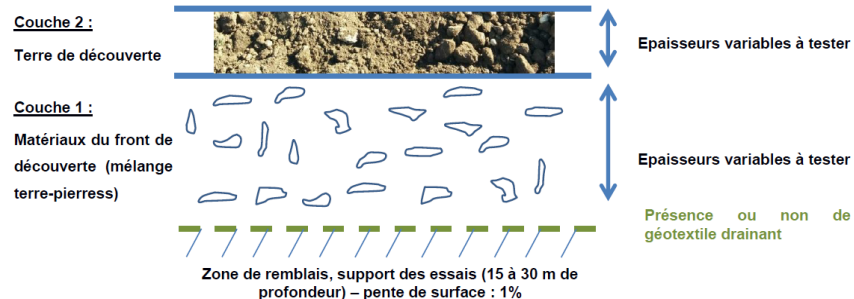
OptimSitu[®] : Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

- Caractérisation agronomique des matériaux terreux
- Relevé phytosociologique sur la pelouse calcaire mésophile
 - Botaniste (Floraine 54)

Associés					
Festuco lemanii – Brometum erecti (J.-M. Royer & Bidault) J.-M. Royer 1978					
Sous-association					
Festuco lemanii – Brometum erecti chamaespargietosum sagittalis J.M. Royer 2011					
F. VERNIER 17 mai 2017 - V. JAEGER – F. VERNIER 05 juillet 2017					
Latitude	48.601905	48.601163	48.59858	48.59808	48.59802
Longitude	6.077456	6.077724	6.078222	6.07943	6.08058
Pente	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Altitude	397 m	399 m	394 m	394 m	387 m
Hauteur peuplement	10 cm	40 cm	40 cm	40 cm	60 cm
nombre de relevés	1	2	3	4	6
surface (m²)	50	50	50	50	50
recensement	80	100	100	100	100
nombre d'espèces	19	20	19	19	26
Festuco valesiacae – Brometum erecti subsp. erecti Braun-Blanquet & Tüxen 1943 em. Royer 1987					
Gallium verum L. subsp. verum	1	1	1	1	3
Pimpinella saxifraga L. subsp. saxifraga	0.2	0.2	0.2		1
Thymus pulegioides L. var. pulegioides	0.2	0.2	1		1
Poterium sanguisorba L. subsp. sanguisorba	1			1	1
Hypericum perforatum L. var. perforatum		0.2		0.2	1
Myosotis ramosissima Rochel subsp. ramosissima		0.2	0.2		
Centaurea scabiosa L. subsp. scabiosa					1
Dianthus carthusianorum L.					0.2
Brometalia erecti Koch 1926					
Pilosella officinarum F.W.Schultz & Sch.Bip.	0.2	0.2	0.2	1	1
Potentilla verna L.	0.2	1	0.2	0.2	1
Medicago lupulina L. var. lupulina	0.2		0.2		
Briza media L.					1
Himantoglossum hircinum (L.) Spreng.				0.2	
Agrostis eupatorioides L. subsp. eupatorioides	0.2				
Mesobromion erecti (Br.-Bl. Et Moor 1938) Oberdorfer 1957					
Luzula campestris (L.) DC.		2	1	1	
Achillea millefolium L. subsp. millefolium	1	1		1	
Taraxacum rubicundum (Dahst.) Dahst.		1	1	0.2	
Ononis spinosa L. subsp. procurrens (Walt.) Briq.			1		1
Anacamptis pyramidalis (L.) Rich.				0.2	1
Krusia arvensis (L.) Coult.			0.2	0.2	
Organum vulgare L. subsp. vulgare					2
Ranunculus bulbosus L.		0.2			
Helictotrichon pratense (L.) Romero Zarco subsp. pratense		0.2			
Jacobaea vulgaris Gaertn.					0.2
Centaurea jacea L. subsp. jacea					0.2
Festuco lemanii-Brometum erecti (J.M. Royer & Bidault) J.M. Royer 1978					
Bromopsis erecta (Huds.) Fourt. subsp. erecta					
Veronica scheereri (J.-P. Brandt) Holub	0.2	1	0.2	0.2	
Seseli montanum L. subsp. montanum	1		1		1
Cirsium aculeatum (L.) Scop.	0.2	0.2			
Carex corymbosa L.				0.2	
Hippocrepis comosa L.			0.2		
Festuca lemanii Bastard					1
Anthyllus vulneraria L. subsp. vulneraria					1
Koeleria pyramidata (Lam.) P.Beauv.					1
Asperula cynanchica L.					1
Teucrium chamaedrys L.					2
Brachypodium pinnatum (L.) P.Beauv.					2
Festuco lemanii – Brometum erecti chamaespargietosum sagittalis J.M. Royer 2011					
Genista sagittalis L.		2	0.2		1
Arrhenatheretum elatioris Br.-Bl. 1949					
Cerastium fontanum subsp. vulgare (Hartm.) Greuter & Burdet	0.2	0.2	1	0.2	
Poa pratensis L. subsp. pratensis		3	0.2	1	
Trifolium pratense L.	0.2	0.2		0.2	
Plantago lanceolata L. var. lanceolata		0.2	0.2		
Dactylis glomerata L. subsp. glomerata	0.2			0.2	
Pinum pratense L.					0.2
Espèces accidentelles					
Veronica agrestis L.	0.2				
Crataegus monogyna Jacq.	0.2				
Rosa canina L.				0.2	
Prunus mahaleb L.					0.2

OptimSitu[®] : Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

- Caractérisation agronomique des matériaux terreux
- Relevé phytosociologique sur la prairie calcaire mésophile
- Reconstitution :
 - Essais en bacs (1 an)
 - Modalités sols
 - Modalités ensemencements



OptimSitu[®] :

Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

- Caractérisation
matériaux terre
- Relevé phytosociologique
calcaire mésophile
- Reconstitution
 - Essais en bacs
- Essai pilote



OptimSitu[®] :

Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

- Caractérisation agronomique et matériaux terreux
- Relevé phytosociologique et calcaire mésophile
- Reconstitution :
 - Essais en bacs (1 an)
- Essai pilote



OptimSitu[®] : Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

Orchidées



Papillon



Grillon



Mante religieuse



Suivi phytosociologique de la prairie

Dates de relevé	02/09/19	12/11/19	16/06/20
Recouvrement			80%
Nombres d'espèces			26
<i>Festuco valesiacae</i> - <i>Brometea erecti</i> subsp. <i>erecti</i> Braun-Blanquet & Tüxen 1943 em. Royer 1987			
<i>Pimpinella saxifraga</i> L. subsp. <i>Saxifraga</i>			X
<i>Poterium sanguisorba</i> L. subsp. <i>Sanguisorba</i>		X	X
<i>Stachys recta</i>			X
<i>Brometalia erecti</i> Koch 1926			
<i>Medicago lupulina</i> L. var. <i>Lupulina</i>	X	X	X
<i>Erysimum odoratum</i>			X
<i>Festuco lemanii</i> - <i>Brometum erecti</i> (J.M. Royer & Bidault) J.M. Royer 1978			
<i>Bromopsis erecta</i> (Huds.) Fourr. Subsp. <i>Erecta</i>	X	X	X
<i>Arrhenatheretea elatioris</i> Br.-Bl. 1949			
<i>Cesastium fontanum</i> subsp. <i>Vulgare</i> (Hartm.) Greuter & Burdet			X
<i>Plantago lanceolata</i> L. var. <i>lanceolata</i>	X	X	X
<i>Arrhenatheretea elatioris</i> (L.) P. Bauv. Ex J. Prest & C. Presl			X
<i>Daucus carota</i> L.		X	X
<i>Trifolium dubium</i>			X
<i>Vicia sativa</i>		X	X
<i>Rumex crispus</i>			X
<i>Silene vulgaris</i>			X
Espèces accidentelles			
<i>Papaver rhoeas</i>			X
<i>Microthlaspi perfoliatum</i>			X
<i>Coronilla varia</i>			X
<i>Reseda lutea</i>	X	X	X
<i>Cirsium vulgare</i>		X	X
<i>Carduus nutans</i>		X	X
<i>Campanula trachelium</i>	X	X	X
<i>Tussilago farfara</i>			X
<i>Sonchus asper</i>		X	X
<i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb.	X	X	X
<i>Arearia serpyllifolia</i>			X
<i>Helminthotheca echioides</i> (L.) Holub			X
<i>Mercurialis annua</i> L.	X	X	
<i>Lactuca serriola</i> L.	X	X	
<i>Dactylis glomerata</i>		X	
<i>Euphorbia exigua</i>		X	
<i>Euphorbia helioscopia</i>		X	
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i>		X	
<i>Trifolium pratense</i>		X	

Très bonne évolution de la biodiversité
vers le milieu recherché

OptimSitu[®] :

Application à la restauration d'une prairie calcaire sèche

- Caractérisation agronomique des matériaux terreux
- Relevé phytosociologique sur la pelouse calcaire mésophile
- Reconstitution :
 - Essais en bacs (1 an)
- Essai pilote
- Reconstitution à grande échelle : à venir
 - 20 ha en 30 ans



Merci pour
votre attention

www.microhumus.fr

info@microhumus.fr