

FRICHECO & APP(LL)EX : OPÉRATIONNALISER UN « PETIT CYCLE DES TERRES » À MARSEILLE

La recherche-action comme accélérateur de la
réhabilitation des socio-écosystèmes

A photograph of concrete steps and a wall, serving as a background for the title.

SOMMAIRE

1. Un socio-écosystème en mutation : Caravelle-Aygalades
2. Pour un « Petit cycle des terres » : activer la recherche-action
3. Retour sur les expérimentations réalisées : 1^{er} pilote Bronzo-Perasso
4. APP(LL)EX : un Living Lab à l'échelle métropolitaine

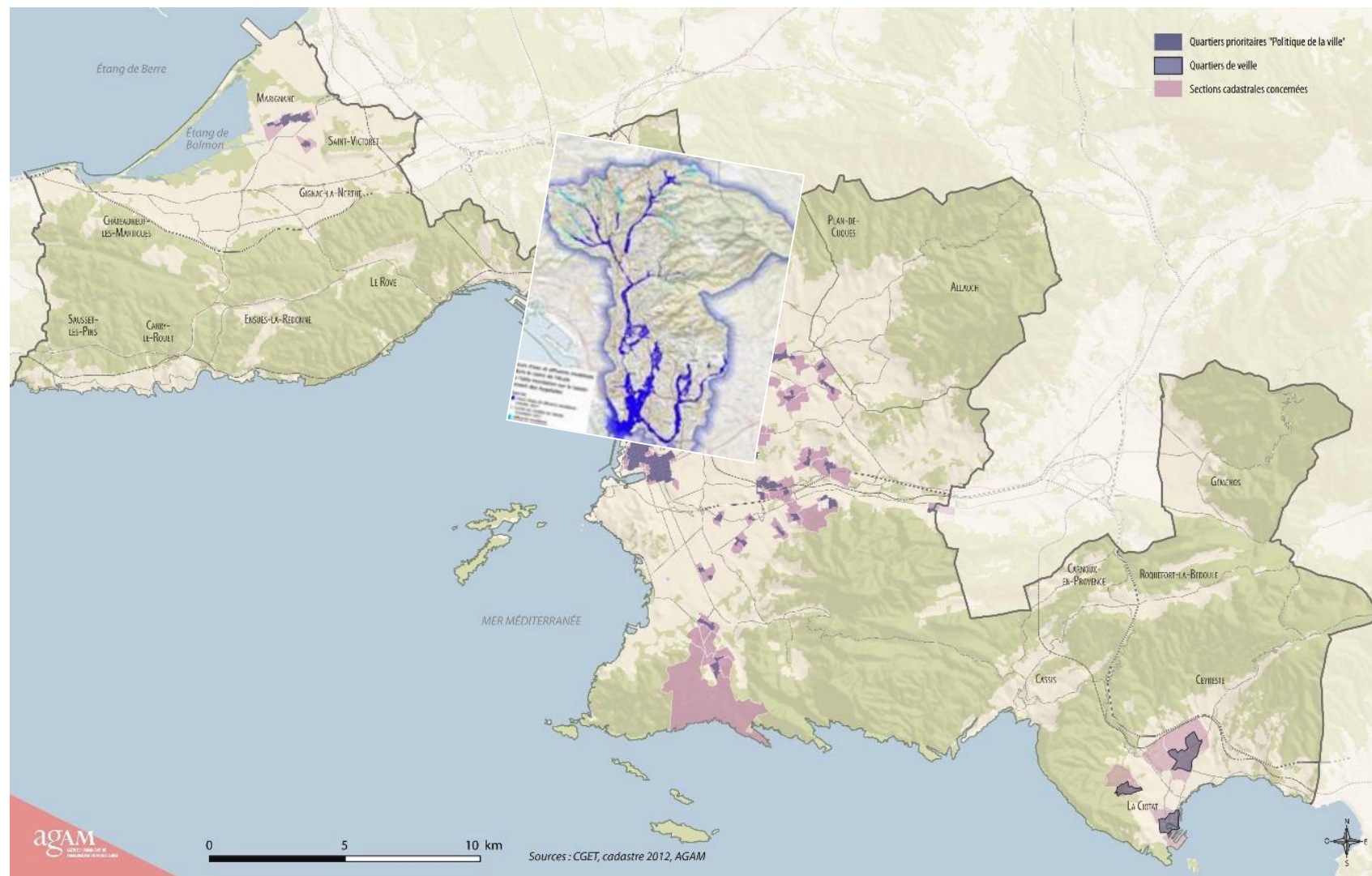


1

UN SOCIO-ECOSYSTEME EN
MUTATION : CARAVELLE-
AYGALADES

UN TERRITOIRE EN MUTATION

Les quartiers Nord, barycentre du renouvellement urbain



RÉHABILITER UNE RIVIÈRE : UN PROJET COMPLEXE

Projet phare porté par l'EPAEM : le Parc des Ayalades



Un parc de 17 ha, à livrer en 2029
De multiples enjeux, dont l'héritage industriel en pleine ville

OBJECTIFS:

- Retrouver des fonctionnalités écologiques et renforcer les services écosystémiques
- Ouvrir à de nouveaux usages : adresser la mutation de la ville et de la société
- Viser une résilience territoriale : adaptation au changement climatique des centres villes

SOURCE : présentation projet, groupement Michel Desvigne Paysagiste



2

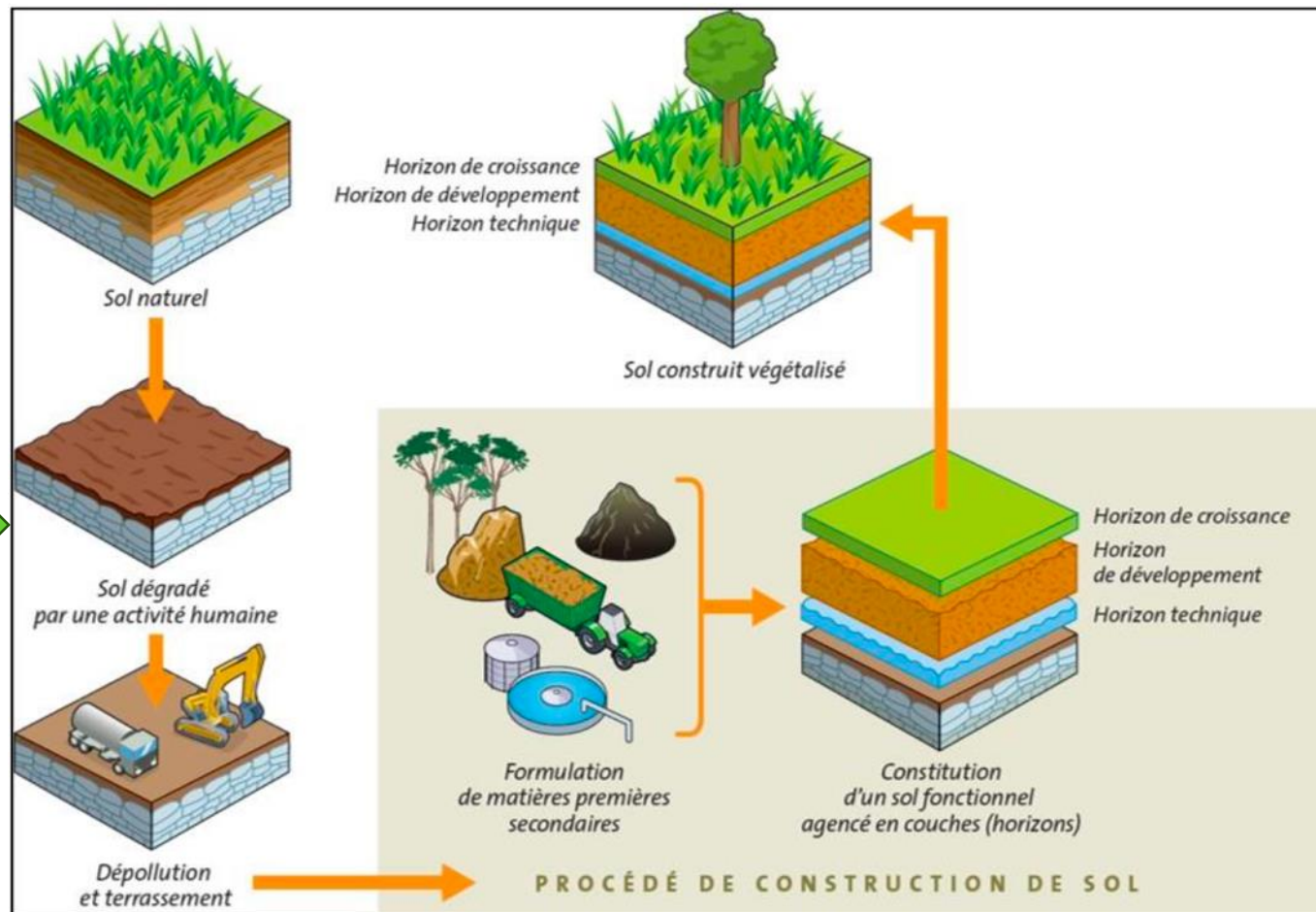
POUR UN « PETIT CYCLE
DES TERRES » : ACTIVER LA
RECHERCHE-ACTION

PRENDRE SOIN TOUT EN MAITRISANT LES EFFETS REBONDS

Viser la reconstitution de sol en circuit-court



Activité de défrichage de foncier agricole : excavation de terres pour reprofilage et potentiel utilisation en terres végétales



Projet **AGREGE** : Filière de construction de sol à partir de matériaux innovants pour l'aménagement urbain → **AGREG**ation technique, Economique, Environnementale et sociétale.

FRICHECO : OPÉRATIONNALISER LE « PETIT CYCLE DES TERRES »

MÉTABOLISME URBAIN INTERDISCIPLINAIRE



Aix*Marseille
université
Socialement engagée

Géosciences pour une Terre durable
brgm

neo-eco
Un monde sans déchets

EUROMÉDITERRANÉE
Établissement Public d'Aménagement - Marseille

ADEME
AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE



L'APPROCHE DÉVELOPPÉE POUR CONSTRUIRE DES SOLS URBAINS FERTILES REPOSE SUR LES PRINCIPES SUIVANTS :

A partir d'un matériau « terreux » disponible, prévoir :

- La recherche d'une **correction de la texture** des terres disponibles sur site,
- La recherche d'une **correction du taux de matière organique**,
- La recherche d'une **correction de leur minéralogie**, avec un **focus réalisé sur le type d'argiles** et les minéraux carbonatés,
- La recherche d'une **structuration des mélanges** réalisés et la possible **superposition de couches (horizons)** de natures différentes afin de donner au futur sol la porosité nécessaire aux passages de l'eau, de l'air et des racines,
- Le développement de process et de solutions opérationnelles pour produire ces matériaux en flux tendu et à la demande.

CARTOGRAPHIE DES MATIÈRES ALTERNATIVES

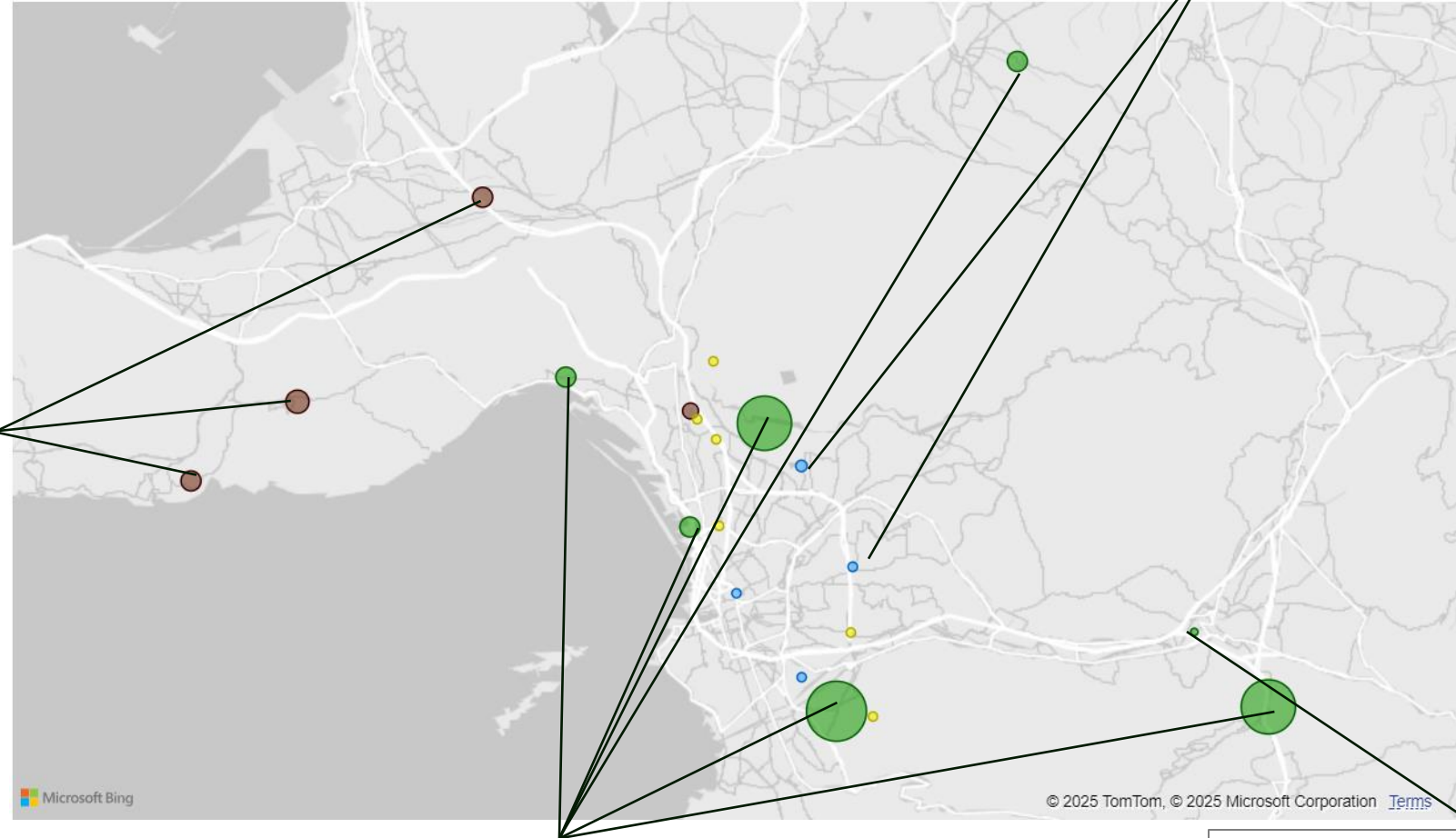
SEMM

Gisements : limons (capacité agronomique)

Classification : K2 et possible déclassement en K3+
(modulo temps de lagunage)

Fonction : correcteur granulométrie, MO, argile

Produit ● Argile ● Compost ● Limons ● Site pilote



COMPOSTS

Porteur : industriels (pas encore de qualité type alchimiste)

Classification : ressource

Fonction : apport MO / éléments nutritifs et autres minéraux

Stériles et autres co-produits

Porteur : carrières et autres industriels

Classification : K3 ou K3+

Fonction : matière de base ou possible gisement correcteur (en cours d'affinage)

Potiers Ravel

Gisements : argiles

Classification : K3

Fonction : correcteur argiles minéralogiques

UTILISATION D'UN COMBINÉ XRF-DRX EMBARQUÉ

Donne la composition chimique de l'échantillon



Informe sur les minéraux en présence

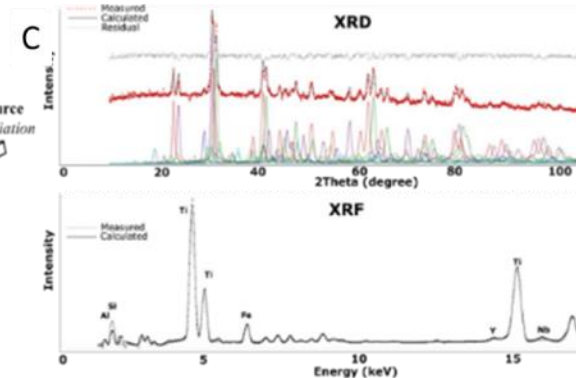
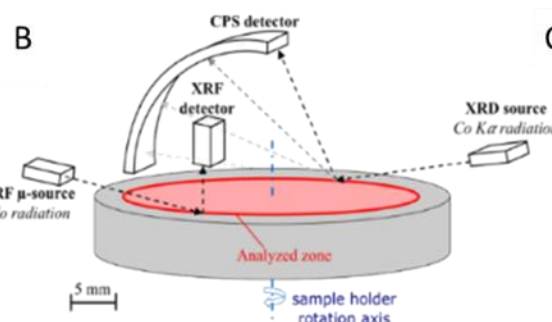
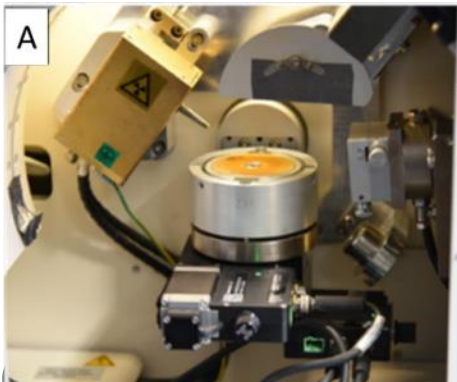


Tableau 7 : Classement des échantillons par teneurs en argile décroissantes. En vert soutenu : matériaux du groupe 1 ; en vert intermédiaire : matériaux du groupe 2 ; en vert pâle : matériaux du groupe 3, en brun soutenu : matériaux du groupe 4 ; en brun clair : matériaux du groupe 5 ; en gris clair : matériaux du groupe 6, en gris soutenu : matériaux du groupe 7.

Commentaire	Identifiant échantillon	Calcite	Dolomite	Quartz	Plagioclases et/ou feldspaths	Kaolinite	Illite/micas	Smectite	Chlorite	Goethite	Somme Kaolinite + Illite/micas + Smectite + Chlorite
Echantillon Poterie Ravel	MATP_fine	0,000	0,000	0,395	0,0000	0,112	0,387	0,106	0,000	0,000	0,605
Echantillon Poterie Ravel	TRavel	0,000	0,000	0,394	0,0000	0,182	0,270	0,132	0,000	0,021	0,584
Echantillon Poterie Ravel	2816	0,000	0,000	0,430	0,0000	0,381	0,121	0,057	0,000	0,000	0,559
Echantillon Poterie Ravel	NY+	0,000	0,000	0,349	0,0482	0,153	0,287	0,091	0,000	0,060	0,531
Echantillon BRGM	Agrege_boues	0,000	0,000	0,299	0,1745	0,125	0,123	0,246	0,032	0,000	0,526
Echantillon Bronzo Perasso	St_Marthe_Fine	0,437	0,000	0,042	0,0000	0,407	0,076	0,000	0,000	0,038	0,483
Echantillon Poterie Ravel	TRouge-Chaumettée PRVI	0,016	0,000	0,280	0,0000	0,169	0,288	0,021	0,000	0,024	0,479
Echantillon Poterie Ravel	MATP_grossiere	0,000	0,000	0,534	0,0000	0,072	0,232	0,162	0,000	0,000	0,466
	CARSO-SIMA	0,445	0,000	0,106	0,0000	0,024	0,249	0,149	0,017	0,000	0,440
Echantillon Lafarge	Argile_noire_1	0,288	0,000	0,279	0,0000	0,019	0,293	0,120	0,000	0,000	0,433
Echantillon Poterie Ravel	TB-PRAF	0,000	0,000	0,351	0,0000	0,244	0,143	0,030	0,000	0,000	0,416
Echantillon Lafarge	Boues_Bellegarde_Gros	0,052	0,000	0,388	0,1983	0,068	0,256	0,037	0,000	0,000	0,362
Echantillon NGE - carrière Boussard	Valtra_fine argile	0,420	0,000	0,243	0,0000	0,030	0,179	0,114	0,014	0,000	0,337
Echantillon Lafarge	Argile_noire_2	0,244	0,000	0,312	0,0000	0,025	0,298	0,000	0,000	0,000	0,322
	CIOT	0,569	0,000	0,087	0,0000	0,024	0,280	0,000	0,017	0,023	0,321
	CARSO-SIBA	0,531	0,000	0,134	0,0000	0,019	0,118	0,151	0,018	0,019	0,307
Echantillon NGE - carrière Boussard	Valtra_fine argile Boussard	0,543	0,000	0,170	0,0000	0,027	0,123	0,126	0,010	0,000	0,287
Echantillon Lafarge - Tamisé à 125µ et séché - carrière de l'Estaque	Argile_Estaque	0,305	0,000	0,416	0,0000	0,049	0,196	0,000	0,000	0,034	0,245
	Adduction Four Buse	0,668	0,021	0,091	0,0000	0,027	0,090	0,102	0,000	0,000	0,219
	Adduction ASAMIA	0,671	0,017	0,101	0,0000	0,030	0,181	0,000	0,000	0,000	0,211
	Adduction BM Amont	0,739	0,000	0,073	0,0000	0,000	0,091	0,098	0,000	0,000	0,189
Echantillons calcaires régionaux (site Mat'ILD)	Mathild1_argile	0,633	0,000	0,172	0,0451	0,034	0,067	0,037	0,012	0,000	0,150
Echantillon Lafarge - Boue de décantation	Boues_Mallemont	0,369	0,000	0,284	0,1358	0,033	0,110	0,000	0,000	0,000	0,144
Echantillon calcaire régionaux (site Mat'ILD)	Mathild2	0,640	0,000	0,174	0,0474	0,036	0,103	0,000	0,000	0,000	0,138
Echantillon Lafarge - Boue de décantation	Boues_Cavaillon	0,396	0,000	0,325	0,1342	0,037	0,032	0,000	0,065	0,000	0,134
Echantillons calcaires régionaux (site Mat'ILD)	Mathild1_grossiere	0,659	0,026	0,147	0,0384	0,033	0,083	0,014	0,000	0,000	0,130
Echantillons calcaires régionaux (site Mat'ILD)	Mathild3	0,713	0,000	0,165	0,0000	0,036	0,086	0,000	0,000	0,000	0,122
Echantillon Lafarge - Boue de décantation	Boues_Le-Beausset	0,116	0,000	0,701	0,0520	0,077	0,014	0,000	0,000	0,000	0,091
Echantillon Cemex - Fine lavage	Cemex_fine	0,710	0,207	0,000	0,0000	0,000	0,074	0,000	0,000	0,000	0,074
Echantillon BRGM	Agrege_T6	0,190	0,477	0,080	0,0923	0,000	0,000	0,070	0,000	0,000	0,070
Echantillon Lafarge	Boues_Bellegarde_Fin	0,073	0,000	0,423	0,2708	0,048	0,021	0,000	0,000	0,164	0,069
Echantillon Cemex - Fine lavage	Cemex_grossier	0,665	0,299	0,000	0,0000	0,000	0,036	0,000	0,000	0,000	0,036
Echantillon Cemex - Fine lavage	Cemex_fine-Dry	0,763	0,202	0,000	0,0000	0,000	0,035	0,000	0,000	0,000	0,035
Echantillon Carrière St Tronc - Bronzo Perasso	pp-06_Fine	0,221	0,753	0,000	0,0000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,000	0,026
Echantillon Lafarge - Tamisé à 125µ carrière de l'Estaque	Sterile_Estaque	0,828	0,118	0,034	0,0000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,021
Echantillon Carrière St Tronc - Bronzo Perasso	pp-06_Agregat	0,256	0,717	0,027	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Echantillon Bronzo Perasso	St_Marthe_Grossier	0,987	0,000	0,013	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Echantillon Cemex	Cemex_0-31.5_fine	0,141	0,859	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Echantillon Cemex	Cemex_0-31.5_grossier	0,328	0,672	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Echantillon Cemex	Cemex_0-31.5_2_fine	0,137	0,863	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Echantillon Cemex	Cemex0-31.5_2_Gros	0,321	0,570	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Residu_Ballast	0,265	0,000	0,344	0,0769	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



3

RETOUR SUR LES
EXPÉRIMENTATIONS
RÉALISÉES : PILOTE
BRONZO-PERASSO

UN PREMIER PILOTE : IMPULSER LE PETIT CYCLE DES TERRES

OBJECTIFS :


1. Optimiser la formulation de sols construits à partir de délaissés de carrière et urbains, grâce à une étude en parcelle pilote
2. Tester la faisabilité opérationnelle par la mobilisation d'outils industriels et une logistique optimisée

DÉMARCHE

1. Mélanges de matériaux guidés par leur nature minéralogique (teneurs en argiles) et leur disponibilité sur le territoire et chez les partenaires du projet,
2. Mise en place de parcelles d'étude d'environ 18 m³ chacune en vue de tester et comparer en vraie grandeur la performance des sols construits,
3. Suivi d'indicateurs biologiques, chimiques et physique au cours du temps.

RESULTATS : 600 TONNES VALORISEES, POUR 11 FORMULTATIONS

Expérimentation 1 (0-30 mm)										
	Formulation 1		Formulation 2		Formulation 3		Formulation 4		Formulation 5	
	%	m3	%	m3	%	m3	%	m3	%	m3
Limons SEMM	85	44,6	65	34,1	45	23,6	25	13,1	0	0,0
PP 0-30	0	0,0	20	10,5	40	21,0	60	31,5	85	44,6
Compost déchets verts	15	7,9	15	7,9	15	7,9	15	7,9	15	7,9
Total	100	52,5	100	52,5	100	52,5	100	52,5	100	52,5
Expérimentation 1 (0-6mm)										
	Formulation 6		Formulation 7		Formulation 8					
	%	m3	%	m3	%	m3				
Limons SEMM	45	23,6	25	13,1	0	0,0				
PP 0-6	40	21,0	60	31,5	85	44,6				
Compost déchets verts	15	7,9	15	7,9	15	7,9				
Total	100	52,5	100	52,5	100	52,5				
Expérimentation 2										
	Formulation 9		Formulation 10		Formulation 11					
	%	m3	%	m3	%	m3				
Limons SEMM	95,0	49,9	90	47,3	85	44,6				
Argiles potier	5,0	2,6	10	5,3	15	7,9				
Total	100,0	52,5	100	52,5	100	52,5				





PRODUCTION CONNAISSANCES

FONCTIONS & INDICATEURS RETENUS

Fonctions à retenir

Réguler qualitativement l'eau

Réguler quantitativement l'eau

Supporter végétation

Entretenir la structure du sol

Fournir nutriment biocénose

Indicateurs à retenir

Stabilité structurale

Masse Volumique apparente

Réservoir en eau utilisable

Respiration basale du sol

Conductivité hydro à saturation

Granulométrie (texture)

Profondeur

Teneur en CO

Teneur N, P, K

Tableau 1. Indicateurs sélectionnés pour évaluer les fonctions des sols identifiées dans cette étude, et indicateurs mentionnés dans la proposition de directive sur la surveillance et la résilience des sols (Soil Monitoring and Resilience Law - SMLR)

Menaces mentionnées dans la SMLR**

Fonctions définies dans cette étude

Indicateurs										Fonctions définies dans cette étude													
Perte de biodiversité	Perte de carbone organique	Contamination des sols	Excès de nutriments dans le sol	Acidification des sols	Réduction de la capacité à retenir l'eau	Excès de nutriments dans le sol	Tassement des horizons profonds	Tassement de l'horizon de surface	Salinisation	Erosion	Indicateur commun aux 2 démarches	Cadre d'évaluation de l'indicateur	Méthode normalisée d'évaluation	Niveau d'opérationnalité	Utilité dans évaluations économiques	Supporter les organismes du sol	Supporter la végétation	Stocker du carbone	Réguler les contaminants	Fournir des nutriments à la biocénose	Réguler quantitativement l'eau	Réguler qualitativement l'eau	Entretenir la structure du sol
											Profondeur	⚡			x								
											Taux d'érosion	⚡											
											Granulométrie – Texture		x		x								
											Masse volumique apparente		x										
											Teneur en éléments grossiers												
											Stabilité structurale												
											Conductivité électrique		x										
											Conductivité hydraulique à saturation				x								
											Air capacity												
											Réservoir en Eau Utilisable (RU) Maximum	⚡			x								
											Water Holding Capacity (WHC)	⚡											
											pH (eau)		x		x								
											Capacité d'échange cationique (CEC)				x								
											Teneur en N total		x		x								
											Teneur en P disponible		x		x								
											Teneur en K disponible		x										
											Teneurs totales en ETMM*												
											Teneurs partielles (extractibles) en ETMM												
											Teneurs en polluants organiques (HAP*)		x										
											Teneurs en polluants organiques (PCB*, dioxines/furanes)		x										
											Teneurs en polluants organiques (pesticides et métabolites)		x										
											Teneur en carbone organique		x										
											Rapport Corg/Arg												
											Stock de carbone (sur 30 cm)				x								
											Stock de carbone (sur 1 m)	⚡											
											Fractions du carbone												
											Fraction de carbone oxydable												
											Rapport C/N												
											Type et composition (dont C/N) de l'humus forestier												
*											Biomasse moléculaire microbienne		x										
*											Biomasse microbienne		x										
*											Respiration basale du sol		x										
											Potentiel de minéralisation de N et C												
											Acides gras phospholipidiques (PLFA)												
											Diversité des bactéries du sol												
											Diversité des champignons du sol												
											Ratio champignons/bactéries												
											Abondance des enchytréides												
*											Abondance des lombriciens				x								
*											Diversité/groupe écologique/fonctionnels des lombriciens												
*											Abondance des nématodes												
*											Diversité des nématodes												
*											Abondance des microarthropodes												
*											Diversité/groupe fonctionnels des microarthropodes												
*											Activités enzymatiques		x										
*											Abondance des fourmis												
*											Diversité des fourmis												

** Version en discussion au 24 mai 2024 - document 2023/0232 (COD) - 10236/24

* ETMM : éléments traces métalliques et métalloïdes
HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques ;
PCB : polychlorobiphényles

indicateur pour une fonction (à droite) ou pour une menace (dans la SMLR, à gauche)
indicateur optionnel pour une fonction ou une menace
existence d'un seuil fixé par la SMLR
un ou plusieurs indicateurs sont à choisir sur la colonne pour caractériser la fonction ou l'état de dégradation
déterminant pour une fonction ou une menace
indicateur non retenu (dans l'étude ou la SMLR)

Niveau d'opérationnalité de l'indicateur :
indicateur mature
indicateur en maturation
indicateur en développement

⚡ : indicateur à évaluer sur l'ensemble du profil de sol
⚡ : indicateur à évaluer sur un bassin versant et/ou un territoire
sinon, l'indicateur est à évaluer sur un horizon de sol



4

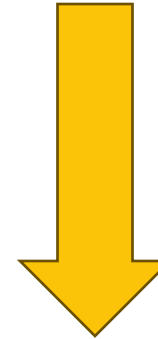
APP(LL)EX : UN LIVING LAB À
L'ÉCHELLE MÉTROPOLITAINE

UNE VUE DE L'ESPRIT ? DES ENJEUX MULTI-FACTORIELS



SOURCES DE PERTURBATIONS IDENTIFIÉES :

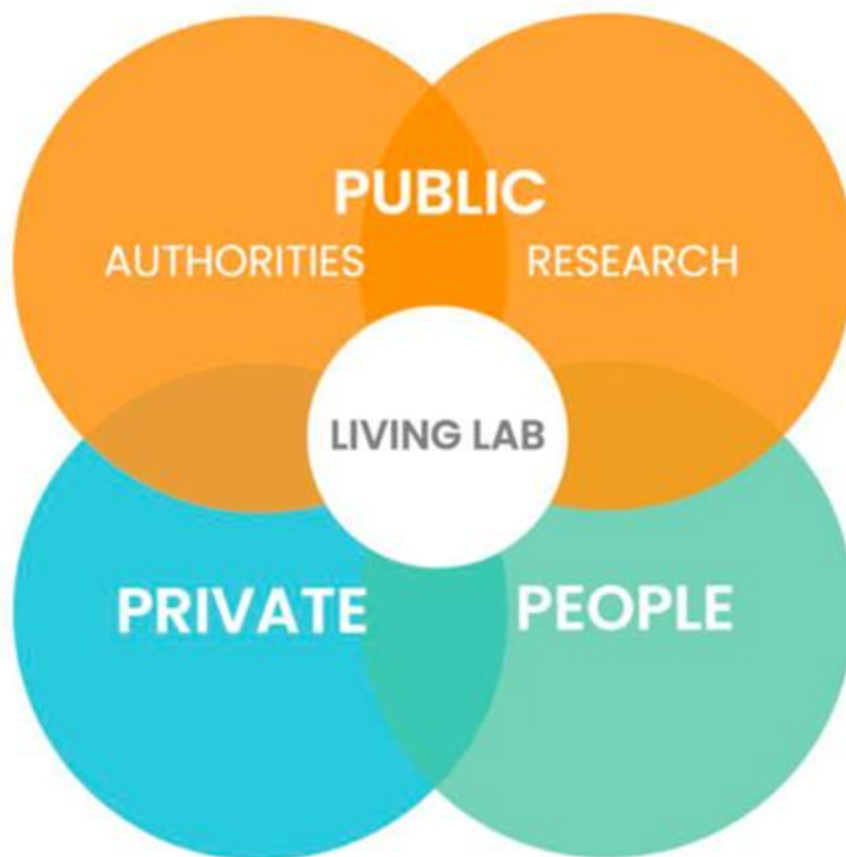
- ⇒ Débit faible et artificiel (Carrière)
- ⇒ Zones bétonnées / busées
- ⇒ Effluent de l'industrie pharmaceutique
- ⇒ Contaminations métalliques (eau, sédiment, sol)



Comment mobiliser les industriels ?
Comment faire le lien avec les politiques
publiques ? Comment accélérer la gestion
des passifs ?

UN LIVING LAB À L'ÉCHELLE MÉTROPOLITAINE

MULTIPLIER LES PILOTES ET VISER UNE APPROCHE TERRITORIALE : PROJET APP(LL)EX



Partenaires signataires :



*Illustration de la démarche lab au niveau
européen : les 4 hélices*

6 PILOTES À ARTICULER

SAVINE

Porteur : SOLEAM

Classification : ANRU / renouvellement urbain /
production agricole solidaire

Objet : renaturation / plateforme / multi MOA

Cité des Arts de la Rue

Porteur : Lieux Public

Classification : espace culturel / habitabilité

Objet : récits / ouverture au quartier /
désimperméabilisation / lien rivière

Ferme du Capricorne

Porteur : Cité de l'Agriculture

Classification : friche agricole / ferme pédagogique

Objet : alimentation / solidarité : sensibilisation

Parc des Aygalades

Porteur : EPAEM

Classification : requalification de friche / parc urbain /
ouvrage hydraulique

Objet : renaturation / plateforme / jardin expérimentation

Talus

Porteur : Association du Talus

Classification : friche urbaine / agroécologie

Objet : requalification / production maraîchère /
sensibilisation / animation réseau

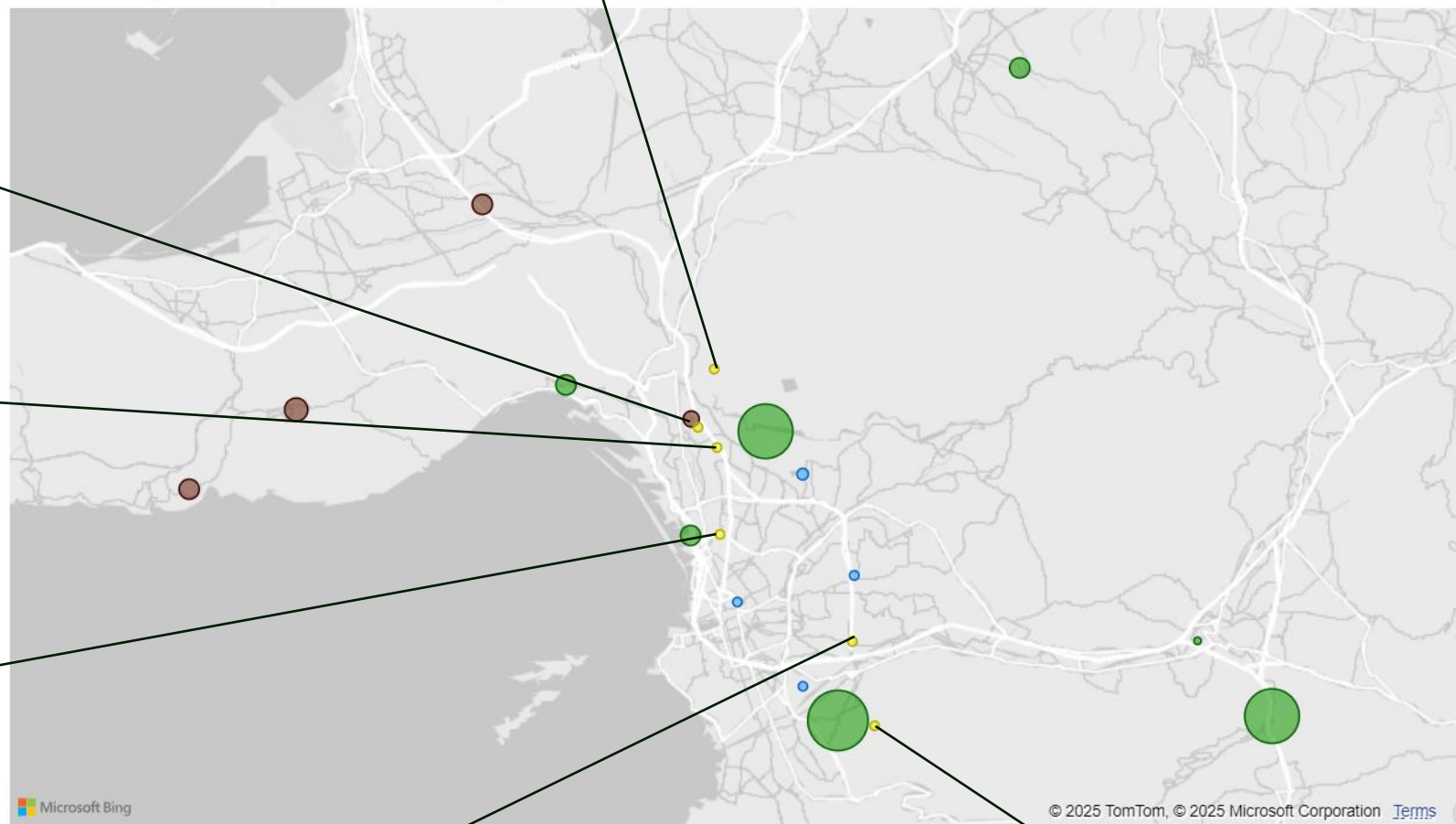
Expérimentation terres-fertiles

Porteur : Bronzo Perrasso

Classification : carrière / filière

Objet : développement process / industrialisation /
synergies

Produit ● Argile ● Compost ● Limons ● Site pilote





CONTACT

Hugo MAURER

Responsable Stratégie et Projets de territoire



+33(0)6 33 47 47 36



hmaurer@neo-eco.fr



19 quai de Rive Neuve
13001 MARSEILLE

