

# Focus 4 : Matériaux d'excavation

Matthieu Raeis, Chef du secteur déchets  
Service de géologie, sols et déchets  
(GESDEC)

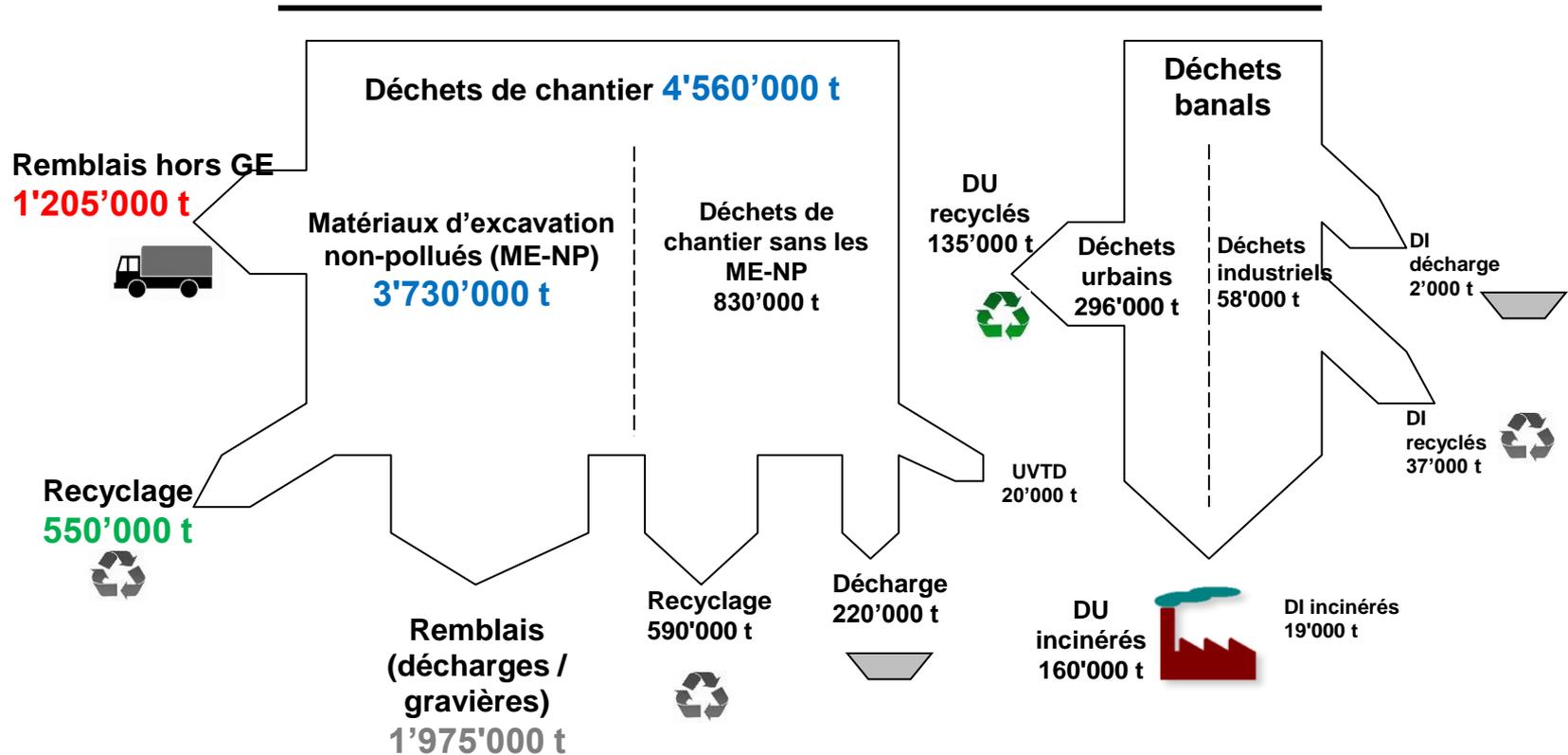


# Structure

1. De quoi parle-t-on?
2. Ce que dit la loi
3. Enjeux
4. Que faire?
5. Guide matériaux d'excavation

# 1. De quoi parle-t-on?

Déchets ordinaires 4'912'000 t (2014)



Matériaux d'excavation = 76 % des déchets produits à Genève

Remblayage = 53 %

Exportation = 33%

Recyclage = 15%

## 2. Ce que dit la loi

1/2

### OLED

- Article 19: Obligation de valoriser intégralement les matériaux non pollués:
  - a. comme matériaux de construction sur des chantiers ou dans des décharges;
  - b. comme matières premières pour la fabrication de matériaux de construction;
  - c. pour le comblement de sites de prélèvement de matériaux,
  - d. pour des modifications de terrain autorisées.

## 2. Ce que dit la loi

2/2

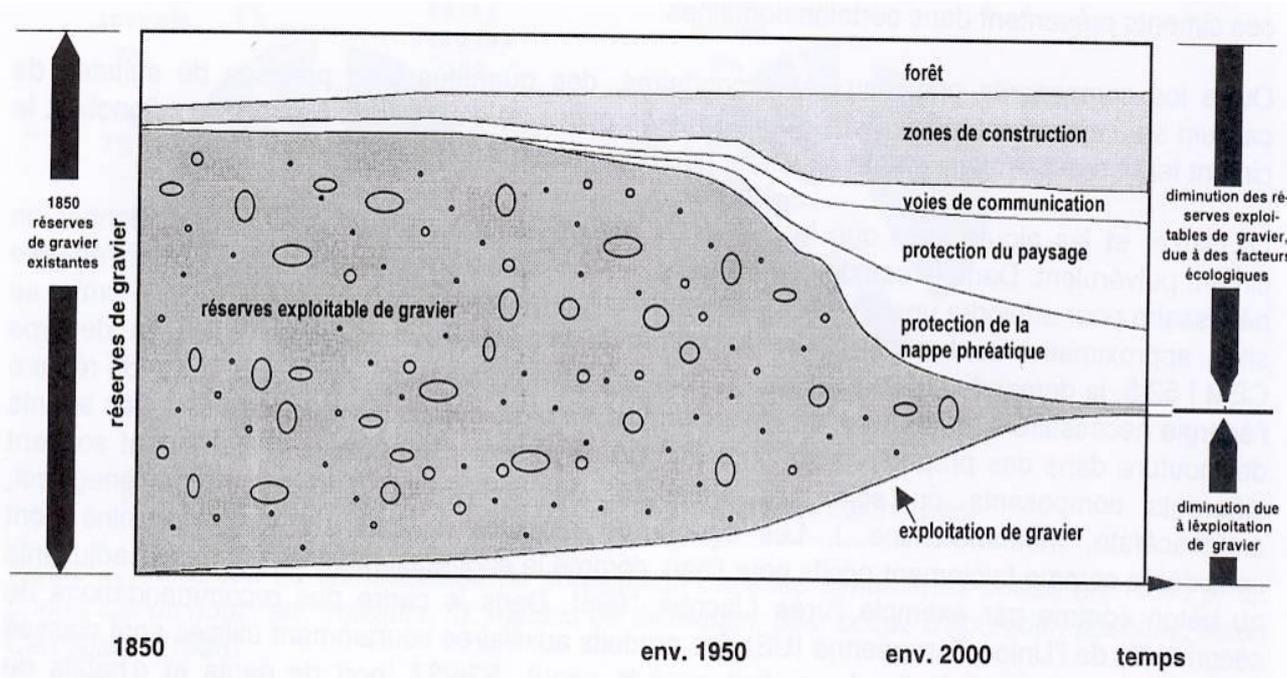
### OLED

- Article 12: obligation générale de valoriser les déchets.
- Article 16: obligation de déclarer au stade de sa **demande de permis de construire**, la qualité et la quantité de déchets produits, ainsi que les **filières d'élimination prévues**.

→ Ces éléments sont à intégrer dans l'EIE (*Concept de gestion des déchets et des matériaux d'excavation* selon guide OFEV)

# 3. Enjeux

**Préservation des ressources:** le gravier est une ressource non renouvelable!

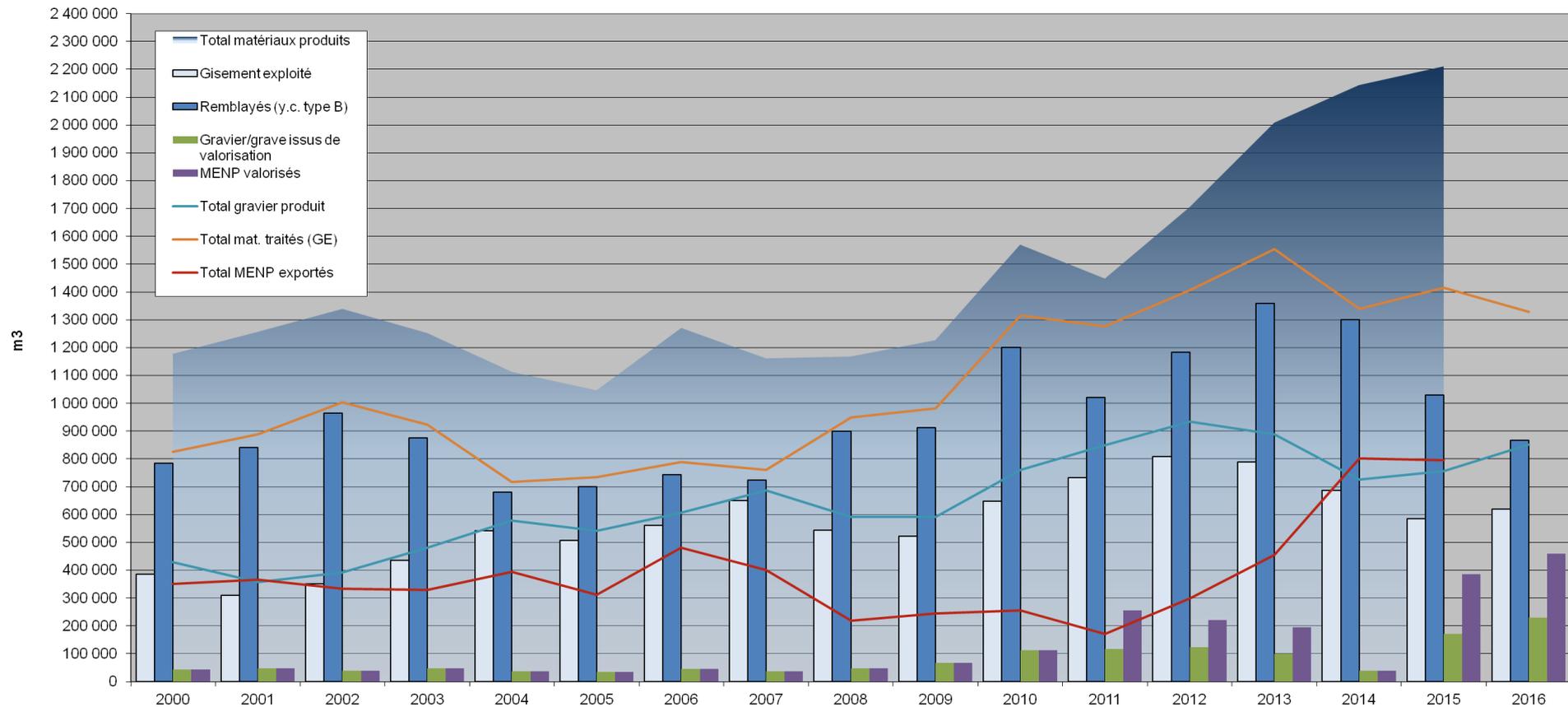


Entre 40 et 80 ans de réserve

# 3. Enjeux

Volumes exploités et remblayés dans les gravières genevoises (2000-2016) et flux de matériaux d'excavation non pollués

(Données 2014 à 2016 provisoires)



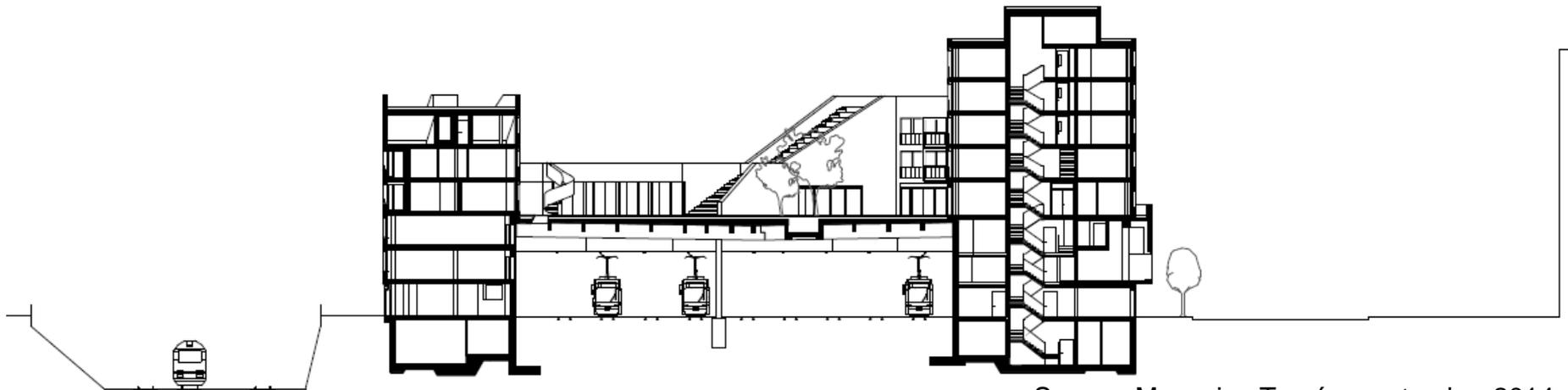
## Engorgement et éloignement des sites de stockage

## 4. Que faire?

- Tenir compte de la **géologie!**
- 1. Quelle que soit la géologie, limiter les terrassements

Exemple: coopérative Kalkbreite à Zürich

*22'900 m<sup>2</sup> SPB, 5'300 m<sup>2</sup> terrasses, 13'226 m<sup>2</sup> SUP*



Source: Magazine Tracés, septembre 2014

## 4. Que faire?



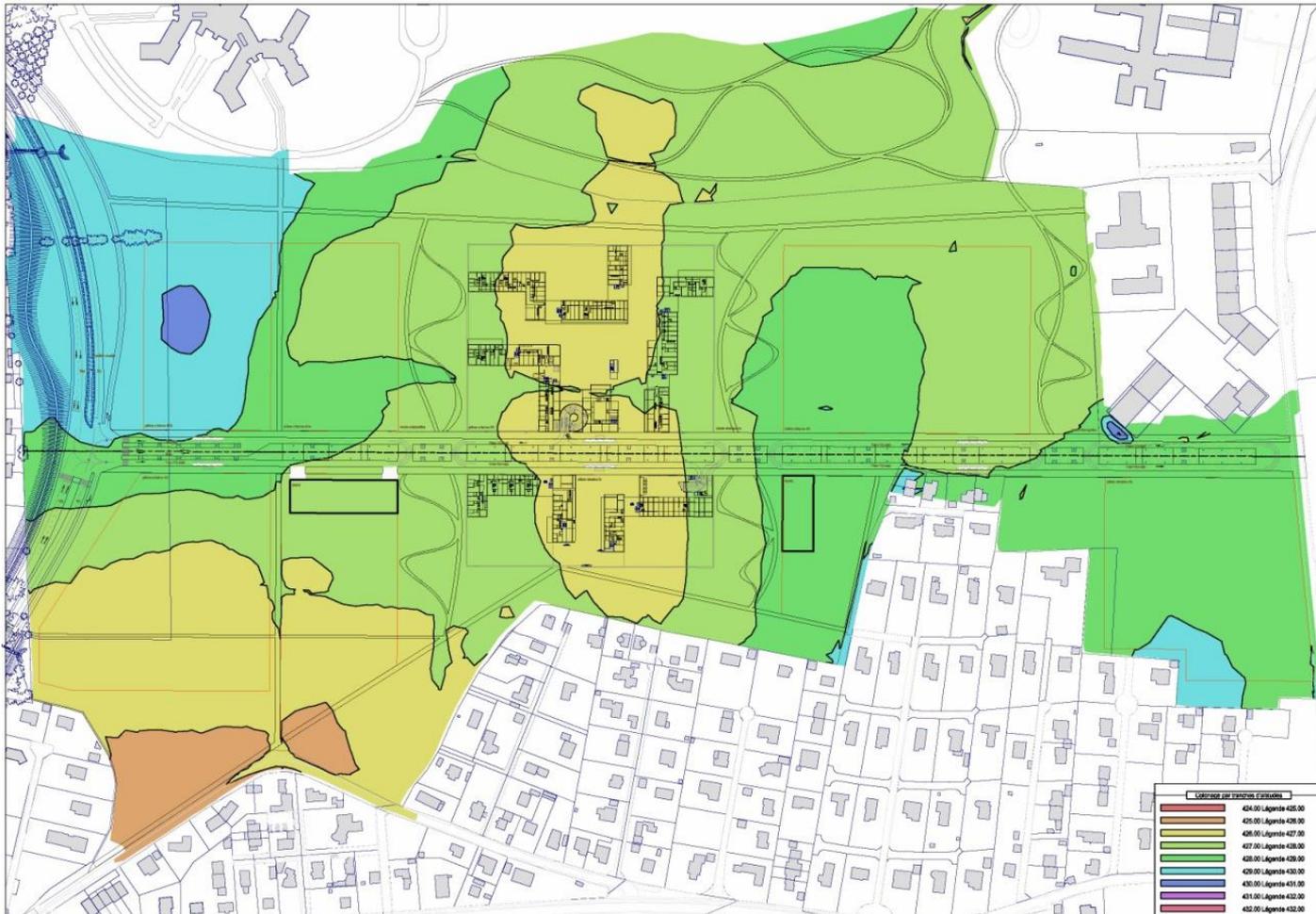
Source: Magazine Tracés, septembre 2014

## 4. Que faire?

1. Quelle que soit la géologie, limiter les terrassements
2. En cas de terrassements, réfléchir à un projet qui produise le moins de déblais possible (p.ex. surélévation du terrain naturel)

*"Le projet doit être conçu de façon à réduire au maximum le volume de matériaux à excaver, notamment en présence de matériaux ayant une qualité géotechnique défavorable"*

# Etat actuel



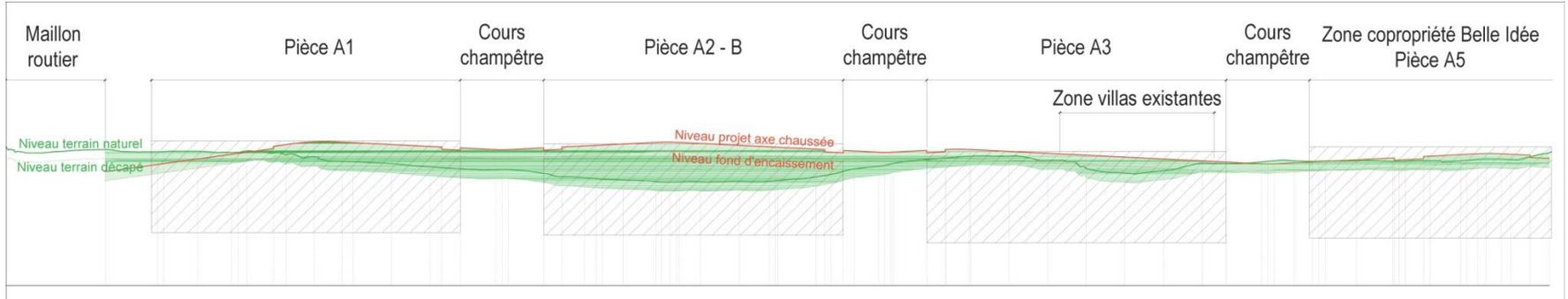
Source: EDMS

# Etat futur



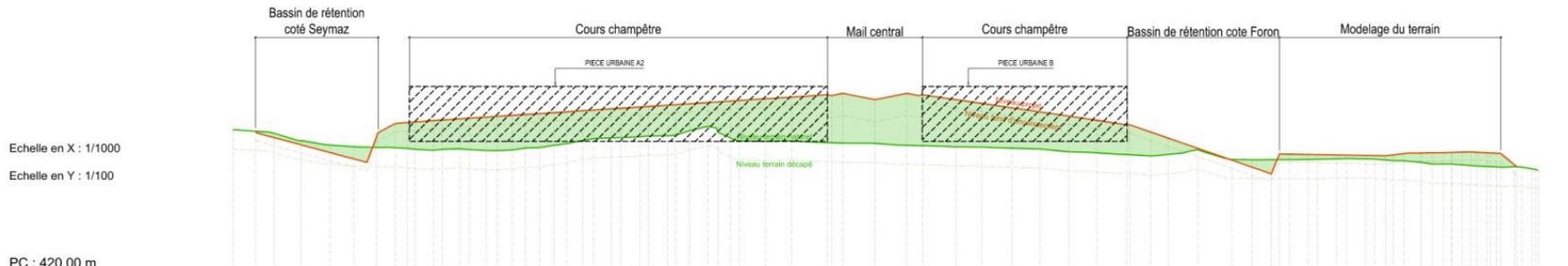
Source: EDMS

# Profil en long



# Profil en travers

Profil Cours champêtre n°: 1

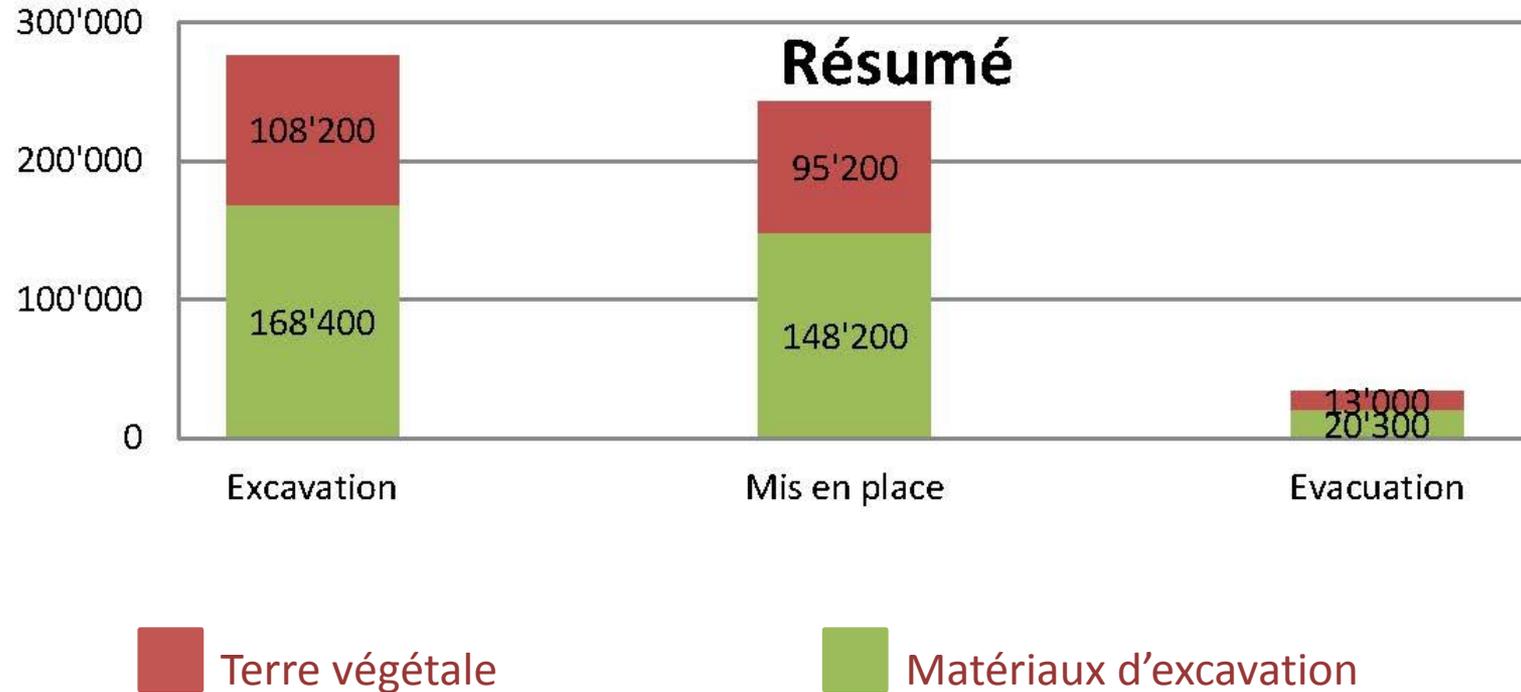


PC : 420.00 m

Numéro de profils en travers	1	2	3	4	5	6	7	8
Altitudes TN	426.11	426.00	427.47	427.85	427.93	427.93	427.93	426.66
Altitudes Projet	426.00	427.00	427.55	427.71	427.85	427.93	427.93	426.66
Ecart TN - Projet	0.11	-0.00	-0.08	0.14	0.08	0.00	0.00	0.14

Source: EDMS

# Bilan matériaux d'excavation



Source: EDMS

## 4. Que faire?

1. Quelle que soit la géologie, limiter les terrassements
2. En cas de terrassements, réfléchir à un projet qui produise le moins de déblais possible (p.ex. surélévation du terrain naturel)
3. En cas de terrassements, implanter le projet où la géologie est la plus favorable (gravier vs. argiles)

Plus difficile à l'échelle d'un secteur, favorable à l'échelle d'un quartier ou d'un large périmètre

## 4. Que faire?

1. Quelle que soit la géologie, limiter les terrassements
2. En cas de terrassements, réfléchir à un projet qui produise le moins de déblais possible (p.ex. surélévation du terrain naturel)
3. En cas de terrassements, implanter le projet où la géologie est plus favorable (gravier vs. argiles)
4. Impossibilité de rehausser ou limiter les terrassements, **optimiser les filières**

# Exemple Centre de Maintenance TPG

- Deux niveaux (un semi-enterré, un enterré)
- Excavation 15m
- Surface 33'000 m<sup>2</sup>
- Environ 500'000 m<sup>3</sup>



Source: TPG

# Exemple Centre de Maintenance TPG

## Bilan:

- **680'000 m<sup>3</sup>** (foisonnés) excavés et traités (installation fixe)
- **350'000 m<sup>3</sup>** valorisés (**51%**) dont:
  - 36 % de graves (béton et naturelles);
  - 12% de moraine stabilisée;
  - 3% réutilisés directement.

## 4. Que faire?

- Le projet **DOIT** être élaboré **conjointement** entre le bureau d'ingénieur / architecte et le spécialiste de la protection de l'environnement (itérations) le **plus en amont possible**.
- La preuve que la gestion des matériaux a été **réfléchie et optimisée** doit être apportée. "*Le projet doit être conçu de façon à réduire au maximum le volume de matériaux à excaver (notamment en présence de matériaux ayant une qualité géotechnique défavorable)*"

## 4. Que faire?

Etape du projet	Document	Contenu	Remarque
PLQ	RIE 1 <sup>ère</sup> étape	<b>Concept global</b> de gestion des matériaux d'excavation à l'échelle du projet (PLQ)	yc. preuve de l'optimisation de la gestion des matériaux
<b>Autorisation de construire (DD)</b>	RIE 2 <sup>ème</sup> étape	<b>Concept concret et finalisé</b> à l'échelle du bâtiment (provenance / destination des matériaux, organisation sur le chantier, part de valorisation...)	La non remise d'un document complet se traduit par une demande de compléments

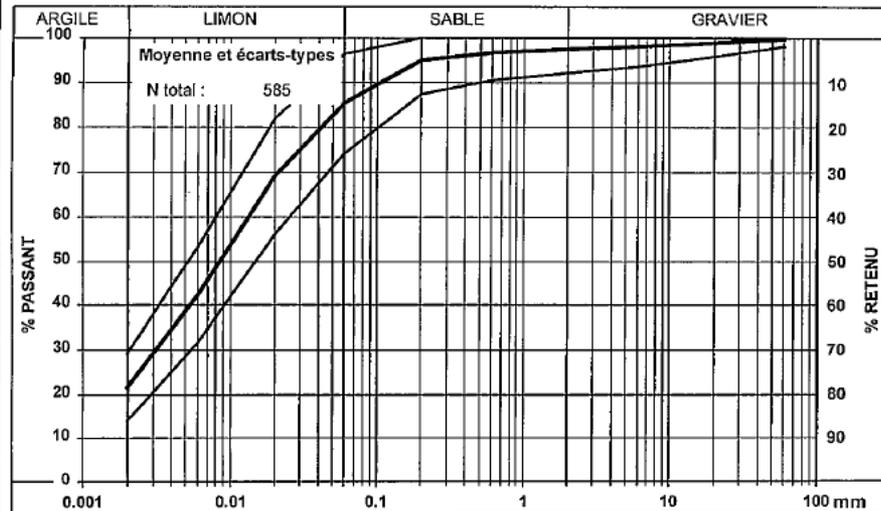
## 4. Que faire?

- En résumé, la toute première question à se poser est "**quelle géologie pour quel concept?**"  
  
⇒ Elaboration conjointe SERMA / GESDEC d'un **guide** pour la **réutilisation** des **matériaux d'excavation** non pollués

# 5. Guide réutilisation matériaux

- Bases: classification géologique du sous-sol genevois (1965)

COUPE	PHASE	COUCHE	PRINCIPE DE NUMEROTATION						
			Npx,y	N	No de la formation				
		1, 2							
		c, d, e	3						
		a, b, c	4						
		a, b, c, d, e, f	5						
		a, b, c, d, e	6						
		c, d, e	7						
		a, (b, c)	9						
		c, d, e	10						
		a, b, c, d	11						
		c, d, e	12						
		b, c, d, e	14						
		b, c, d, e	15						
				x	compacité et consistance :	1 élevée 1-2 moyenne 2 faible	dure à très dure ferme tendre à molle		
				y	phase	3 altérée			
					Terrains récents				
			1		Terrains de couverture, sols actuels (remblais)				
			2		Remblais				
				Terrains holocènes					
			3		Eboulis, formations de pente, colluvions, limon de ruissellement				
			4		Alluvions de terrasses				
			5		Dépôts ou vases lacustres, tourbe, craie lacustre				
				Terrains glaciaires würmiens					
			6		Formations supraglaciaires de retrait				
			7		Moraine à cailloux et blocs alpins				
			8		Dépôts intramorainiques ou intraformationnels				
			9		Cailloutis morainiques profonds ou "alluvion ancienne"				
				Terrains attribués à l'interglaciaire Riss-Würm					
			10		Interglaciaire				
				Terrains glaciaires attribués au Riss					
			11		Formation de retrait				
			12		Moraine à cailloux et blocs alpins				
			13		Dépôts intramorainiques ou intraformationnels				
				Substratum rocheux molassique					
			14		Complexe de la Molasse grise du Chattien supérieur				
			15		Complexe de la Molasse rouge du Chattien inférieur				



Limite de liquidité WL % 31.0 +/- 3.8 N = 1056  
 Indice de plasticité IP % 13.9 +/- 2.7 N = 1056  
 Masse volumique des grains 2.77 +/- 0.02 N = 1256

Classification USCS Classification VSS	6d1			6d12			6d2		
	CL As			CL As			CL As		
	E(x)	S(x)	N	E(x)	S(x)	N	E(x)	S(x)	N
Teneur en eau W%	19.0	2.5	1216	21.9	2.4	1043	25.3	2.7	2670
Masse volumique apparente t/m <sup>3</sup>	2.13	0.05	619	2.09	0.05	477	2.03	0.05	1262
Masse volumique sèche t/m <sup>3</sup>	1.80	0.12	619	1.72	0.08	477	1.62	0.09	1262
Indice de vide e <sub>0</sub>	0.541	0.076	390	0.612	0.074	256	0.713	0.086	584
Consistance apparente q <sub>p</sub> kPa	350	97	1281	149	24	2091	73	27	2361
Résistance à l'écrasement q <sub>u</sub> kPa	240	98	132	144	41	123	83	38	403
Résistance à l'écrasement remanié q <sub>ur</sub> kPa	110	55	122	58	21	118	32	15	371
Résistance au battage Von Moos N cp/20 cm	33	21	82	22	14	70	14	10	130
Résistance au battage SPT N cp/30 cm	51	24	13	28	15	19	14	7	16

## Description géologique et géotechnique

### 6d1 Phase limono-argileuse consolidée

Limon argileux, beige à brun-beige, assez bien stratifié, préconsolidé par dessiccation, dur à très dur, plastique, avec fissures de retrait bleuâtres.

### 6d12 Phase limono-argileuse semi-consolidée

Limon argileux, gris et brun, assez bien stratifié, préconsolidé par dessiccation, ferme, plastique, avec fissures de retrait bleuâtres peu nombreuses.

### 6d2 Phase limono-argileuse non consolidée

Limon argileux, gris sombre, en général bien stratifié, tendre, plastique, saturé, compressible, très peu perméable.

## Caractéristiques pratiques pour l'ingénieur

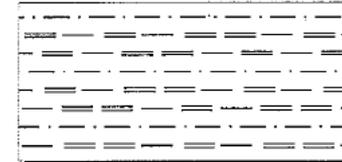
	6d1	6d12	6d2
Portance (sol de fondation)	+	+/-	--
Insensibilité à l'eau	- (2)	+/-	+ (1)
Insensibilité au gel	+/-	+/-	+/-
Aptitude au terrassement	+	++	++
Carrossabilité	+(2)	-	--
Matériau de remblai	+/- (2)	-	--

++ très favorable + favorable +/- moyen - défavorable -- très défavorable

## Remarques

- (1) Terrain sensible à la dessiccation avec phénomène de retrait.
- (2) Tendance au gonflement par absorption d'eau.

Symbole de représentation graphique



**RETRAIT WURMIEN**

**Phase limono-argileuse 6d**

GEOTECHNIQUE APPLIQUEE DERIAZ S.A.

SOLS GENEVOIS - STATISTIQUE GLOBALE

SERVICE CANTONAL DE GEOLOGIE

Impression du 16.12.97



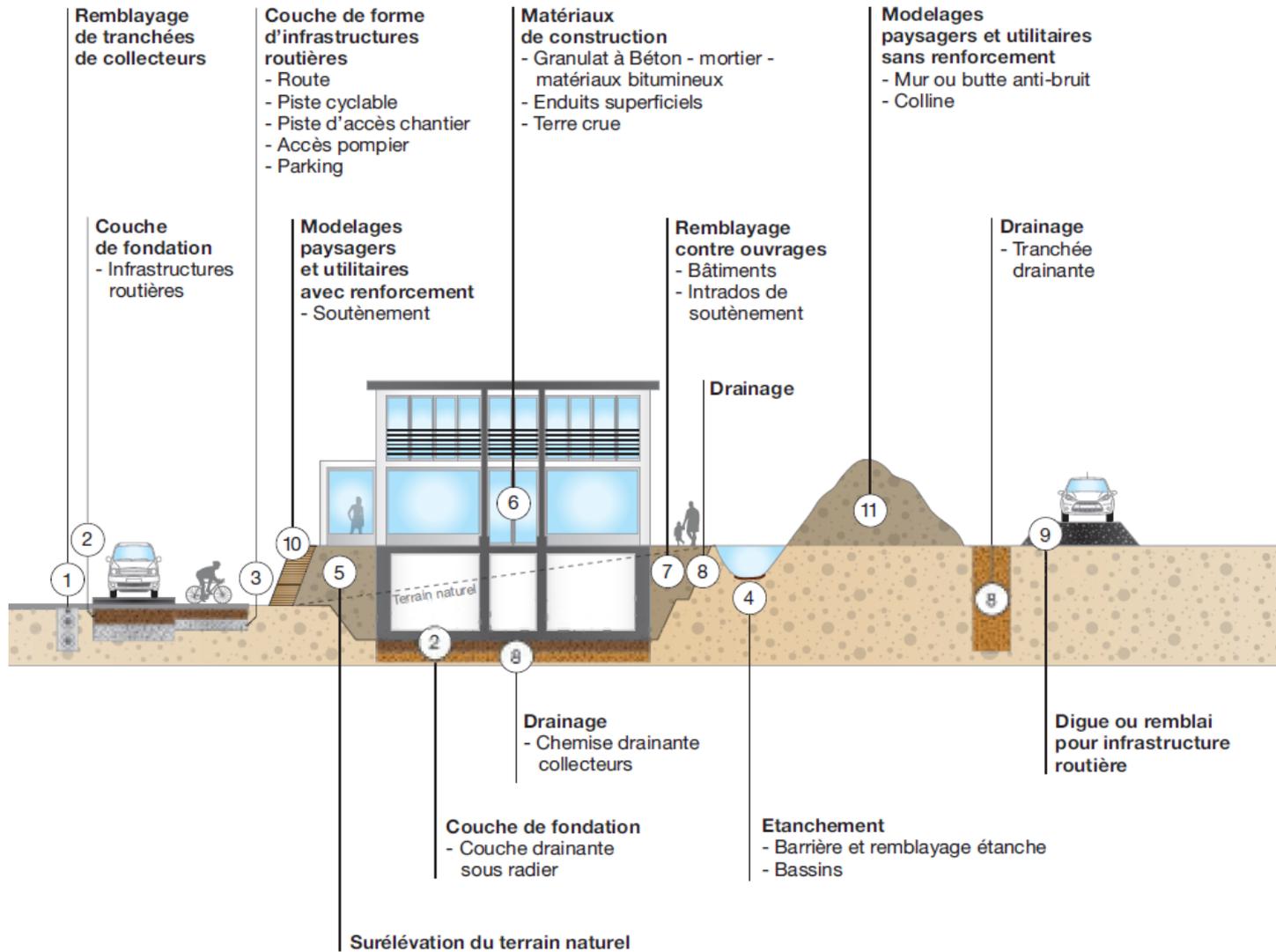
Source: SITG

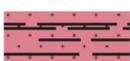
Base des données des forages (plus de 16'000 disponibles - SITG)

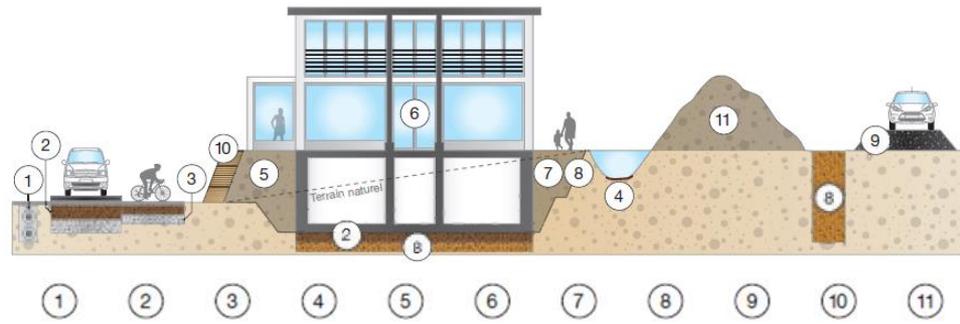
# 5. Guide réutilisation matériaux



<http://ge.ch/ecomat/publications/publications>



Terrains meubles		<b>GRAVIERS</b> 4a – 6a – 9a	- Perméables - Pas à peu sensibles à l'altération et au gel-dégel	<i>Fiche technique n° 1</i>
		<b>SABLES</b> 4b – 6b – 9b	- Semi-perméables - Peu sensibles à l'altération et au gel-dégel	<i>Fiche technique n°2</i>
		<b>MORAINES LIMONEUSES</b> 7c12 – 7c1	- Peu perméables - Sensibles à l'altération et au gel-dégel	<i>Fiche technique n° 3</i>
		<b>LIMONS ARGILEUX FINEMENT SABLEUX SANS CAILLOUX</b> 4c – 6c2 – 6c12 – 6c1	- Peu perméables - Sensibles à très sensibles à l'altération - Très sensibles au gel-dégel - Susceptibles de fluer en présence d'eau	<i>Fiche technique n° 4</i>
		<b>ARGILES SANS CAILLOUX CONSOLIDÉES</b> 6d1 – 6e1	- Quasi imperméables - Plastiques à très plastiques - Très sensibles à l'altération - Sensibles au gel-dégel - Risques de variations volumétriques (retrait – gonflement)	<i>Fiche technique n°5</i>
		<b>ARGILES SANS CAILLOUX PEU À SEMI-CONSOLIDÉES</b> 6d2 – 6d12 – 6e2 – 6e12	- Quasi imperméables - Plastiques à très plastiques - Très sensibles à l'altération - Sensibles au gel-dégel - Risques de variations volumétriques (retrait – gonflement)	<i>Fiche technique n°6</i>
		<b>MORAINES ARGILEUSES CONSOLIDÉES</b> 7d1 – 7e1	- Quasi imperméables - Plastiques - Très sensibles à l'altération - Sensibles au gel-dégel	<i>Fiche technique n° 7</i>
		<b>MORAINES ARGILEUSES PEU À SEMI-CONSOLIDÉES</b> 7d2 – 7d12 – 7e2 – 7e12	- Quasi imperméables - Plastiques à très plastiques - Très sensibles à l'altération - Sensibles au gel-dégel	<i>Fiche technique n° 8</i>
Roches		<b>MOLASSE GRISE</b> 14	- Très sensible à l'altération	<i>Fiche technique n° 9</i>
		<b>MOLASSE ROUGE</b> 15	- Très sensible à l'altération	<i>Fiche technique n° 10</i>

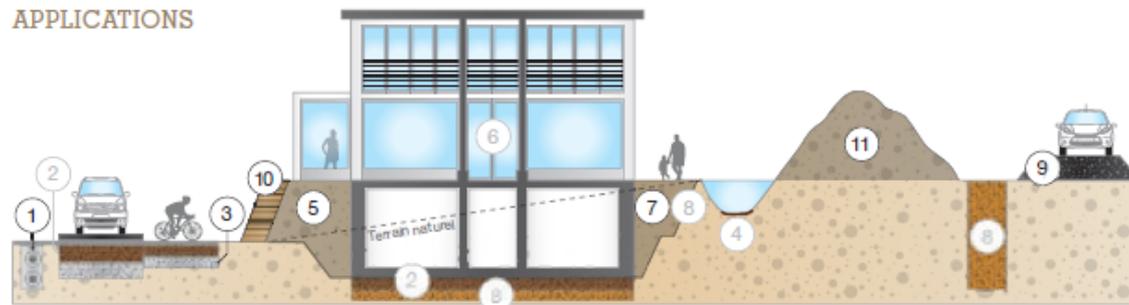


		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Terrains meubles	<b>GRAVIERS</b> 4a - 6a - 9a	✓	☐	☐	✗	☐	✓	✓	☐	☐	✓	✓
	<b>SABLES</b> 4b - 6b - 9b	☐	☐	☐	✗	☐	✓	✓	gros ✓ fins à moyen ✗	☐	☐	☐
	<b>MORAINES LIMONEUSES</b> 7c12 - 7c1	✓	☐	☐	✗	☐	✗	☐	✗	☐	☐	✓
	<b>LIMONS ARGILEUX FINEMENT SABLEUX SANS CAILLOUX</b> 4c - 6c2 - 6c12 - 6c1	☐	✗	☐	✗	☐	✗	☐	✗	☐	☐	☐
	<b>ARGILES SANS CAILLOUX CONSOLIDÉES</b> 6d1 - 6e1	☐	✗	☐	6e ✓ 6d ✗	☐	✗	☐	✗	☐	☐	☐
	<b>ARGILES SANS CAILLOUX PEU À SEMI-CONSOLIDÉES</b> 6d2 - 6d12 - 6e2 - 6e12	☐	✗	☐	6e ✓ 6d ✗	☐	✗	☐	✗	☐	☐	☐
	<b>MORAINES ARGILEUSES CONSOLIDÉES</b> 7d1 - 7e1	☐	✗	☐	7e ✓ 7d ✗	☐	✗	☐	✗	☐	☐	☐
<b>MORAINES ARGILEUSES PEU À SEMI-CONSOLIDÉES</b> 7d2 - 7d12 - 7e2 - 7e12	☐	✗	☐	7e ✓ 7d ✗	☐	✗	☐	✗	☐	☐	☐	
Roches	<b>MOLASSE GRISE</b> 14	☐	✗	☐	✗	☐	☐	☐	✗	☐	☐	☐
	<b>MOLASSE ROUGE</b> 15	☐	✗	☐	✗	☐	☐	☐	✗	☐	☐	☐

## PROPRIÉTÉS

Peu perméables, sensibles à l'altération et au gel-dégel.

## APPLICATIONS



1	Remblayage tranchées de collecteurs	utilisation brute
2	Couche de fondation	peu adaptée, éventuellement utilisable après criblage
3	Couche de forme infrastructure routière	utilisation brute ou stabilisée
4	Etanchement	peu adaptée
5	Surélévation terrain	utilisation brute ou stabilisée
6	Matériaux de construction	inadaptée
7	Remblayage contre ouvrages	utilisation brute ou stabilisée selon exigences en matière de déformations/tassements
8	Drainage	inadaptée
9	Digue ou remblais pour infrastructure routière	utilisation brute ou stabilisée selon exigences en matière de déformations/tassements
10	Modelage paysager avec renforcement	utilisation brute ou stabilisée
11	Modelage paysager sans renforcement	utilisation brute

## FACTEURS CONTRAIGNANTS PARTICULIERS CONCERNANT LE RÉEMPLOI

En cas de stabilisation, prévoir la gestion des infiltrations d'eau en présence d'une nappe d'eau souterraine sans couverture étanche.

## FACTEURS CONTRAIGNANTS GÉNÉRAUX CONCERNANT LE RÉEMPLOI

En cas de stabilisation, prévoir la gestion des eaux de ruissellement et d'infiltration dont le pH est modifié.

Pour les buttes paysagères, prévoir une finition (végétale, graviers,...).

## STOCKAGE TEMPORAIRE

Stockage en andain.

Protection contre l'altération.

Doit se faire à une distance suffisante du sommet des talus (pour éviter d'engendrer des instabilités); nécessite le cas échéant un calcul de stabilité.

## ÉLÉMENTS PRINCIPAUX À PRÉCISER AVEC L'AIDE D'UN GÉOTECHNICIEN

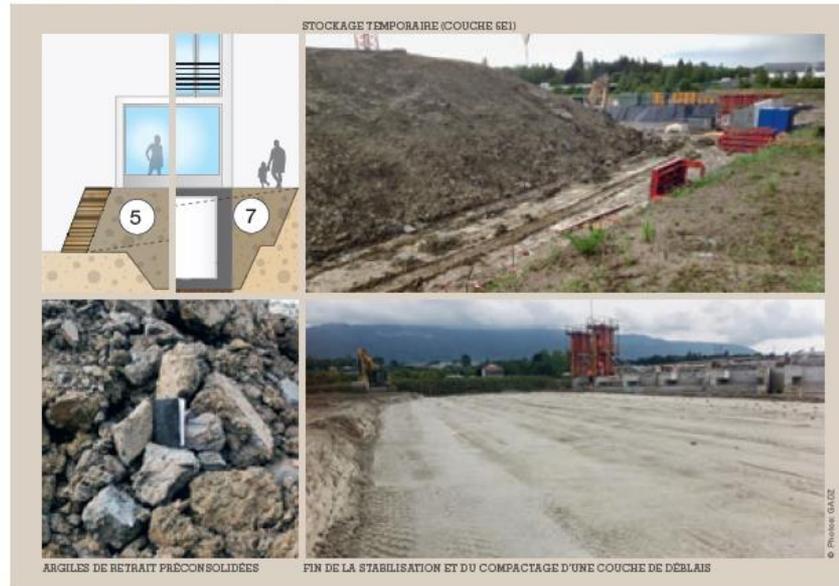
La moraine est-elle riche en graviers ?

Quelles possibilités de valorisation par lavage ?

Voir «Connaissances pré-requises» page 38

# REMBLAYAGE CONTRE OUVRAGE ET MODELAGE PAYSAGER

(PLATE-FORME ROUTIÈRE)



**Ouvrage**  
Halle Union Maralchère Genevoise

**Lieu**  
Route de Base (Perly)

**Maitre d'Ouvrage**  
Union Maralchère de Genève

**Date des travaux**  
Septembre à novembre 2013

**NATURE DES DÉBLAIS RÉUTILISÉS**  
Colluvions (couche 3) et argiles de retrait préconsolidées (couche 6e1).

**MÉTHODE DE MISE EN ŒUVRE**  
Les colluvions sont stabilisés en place avec un liant 50% chaux – 50% ciment dosé à 5%.  
Les argiles de retrait stockées sont traitées par couche de 40 cm avec le liant dosé à 3% pour le remblayage périphérique contre le bâtiment et à 5% pour les aménagements extérieurs (plate-forme).

**COMMENTAIRES**  
Le remblayage pour la plate-forme atteint une hauteur maximale de 1,50 m. La plate-forme est le siège d'une intense circulation de poids-lourds.

# COUCHE DE FORME - INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE



**Ouvrage**  
Extension de la ZIBAY  
Création de la route de «la Maison Carrée»

**Lieu**  
Satigny – Zone industrielle du Bois de Bay

**Maitre d'Ouvrage**  
F.T.I Genève

**Date des travaux**  
Juin 2011 à mars 2014

**NATURE DES DÉBLAIS RÉUTILISÉS**  
Remblais limono-argileux finement sableux et graveleux. Assimilables à une moraine (couche 7d1).

**MÉTHODE DE MISE EN ŒUVRE**  
Stabilisation et compactage des remblais en place sur 30 cm d'épaisseur par de la chaux vive calcaïque 0/2 mm à 2%, soit environ 10 kg/m<sup>2</sup> puis mise en place de 40 cm de déblais stabilisés au liant, 100% ciment dosé à 6%, soit environ 40 kg/m<sup>2</sup>, puis compactés.

**COMMENTAIRES**  
Les tests réalisés sur les déblais du premier tronçon, stabilisés avec un liant composé de 30% chaux et 70% ciment n'étaient pas concluants. Ce liant a été finalement remplacé par du liant 100% ciment.

# BUTTE PAYSAGÈRE



**Ouvrage**  
Domaine de Vessy

**Lieu**  
Plateau de Vessy – Chemin des Beaux-Champs  
sur la commune de Veyrier

**Maître d'Ouvrage**  
Hospice général

**Date des travaux**  
Mars 2013

## NATURE DES DÉBLAIS RÉUTILISÉS

Matériaux limono-argileux contenant des cailloux pour une partie, assimilables à des formations de retrait (couche 6d1).

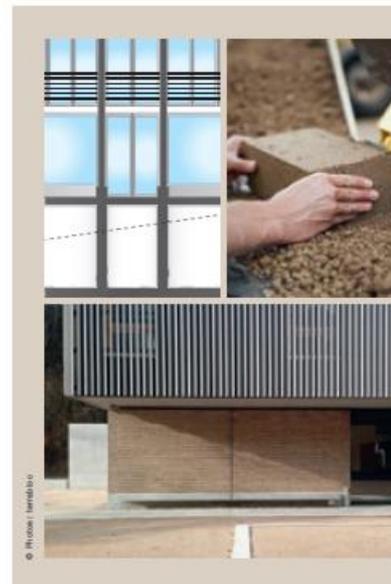
## MÉTHODE DE MISE EN ŒUVRE

Mise en œuvre et compactage du remblais, par couche de 40 cm

## COMMENTAIRES

Le remblayage pour la butte paysagère atteint une hauteur de 1.50 m.

# MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION



**Ouvrage**  
Pavillon d'exposition des Services Industriels de Genève à Vessy

**Lieu**  
Vessy (Genève)

**Maître d'Ouvrage**  
SIG

**Site internet**  
[www.terrabioc.ch](http://www.terrabioc.ch)

**Date des travaux**  
2013 - 2014

**Nature des déblais réutilisés**  
Argile limoneuse pouvant contenir un peu de sable et de gravier

**Méthode de mise en œuvre**  
Maçonnerie traditionnelle apparente pour cloison ou mur porteur



**Ouvrage**  
Réhabilitation des murs du parc de la mairie de Confignon

**Lieu**  
Confignon

**Maître d'ouvrage**  
Commune de Confignon

**Architecte**  
ar-ter atelier d'architecture-territoire sia fsu fas.  
Collaboration : Martin Rauch, Anouck van Oordt et Manuel Barthassat

**Site internet**  
[www.swiss-architects.com/portal/pics/pdf/b&m\\_20.pdf](http://www.swiss-architects.com/portal/pics/pdf/b&m_20.pdf)

**Date des travaux**  
2007

**Nature des déblais réutilisés**  
Argile

**Méthode de mise en œuvre**  
Matériaux argileux comprimés par couches successives d'environ 20 cm entre 2 coffrages. La partie supérieure est couverte pour éviter l'érosion.

# Merci de votre attention