

BTS TRAVAUX PUBLICS
SOUS EPREUVE U61

SESSION 2010

Dossier n°247
Déviation de la Romagne

Rapport
Géotechnique

SOMMAIRE

	<u>PAGES</u>
1 – CONTEXTE DE LA RECONNAISSANCE	2
2 – MISSION/PROGRAMME DE LA RECONNAISSANCE	2
2-1- Mission	2
2-2- Programme	3
3 – RESULTATS DES INVESTIGATIONS	4
3-1- Topographie – Etat des lieux – Description sommaire	4
3-2- Géologie régionale	5
3-3- Remarque préliminaire	5
3-4- Les sondages	5
3-5- Hydrogéologie	7
3-6- La prospection géophysique	7
3-6-1- Le traîné électrique	7
3-6-2- La sismique réfraction	8
3-7- Les essais pressiométriques	10
3-8- Les essais de pénétration dynamique	10
3-9- Les analyses en laboratoire	10
4 – SYNTHÈSE – CONCLUSION	12
4-1- Géologie	12
4-2- La classification GTR	13
4-3- Les conditions de terrassement et de réemploi des déblais	13
4-3-1- Conditions de terrassement	13
4-3-2- Réemploi des déblais	14
4-4- Stabilité des talus et fondations des remblais	15
4-4-1- Stabilité des talus en remblais et déblais	15
4-4-2- Fondations des remblais	16
4-5- Aménagement des plates-formes	17
4-5-1- Nature de la partie supérieure de terrassements	17
4-5-2- Classe de la partie supérieure de terrassements et classes d'arase	17
4-5-3- Conditions de mises en œuvre des couches de forme	17

La présente reconnaissance de sol a été effectuée par la société **AIS Centre Atlantique** - 5 rue de la Vallée - 86280 ST BENOIT à la demande et pour le compte du **CONSEIL GENERAL DU MAINE ET LOIRE - Direction des Routes et des Déplacements - Service de Géologie** - du mois de Décembre 2004 au mois de Février 2005.

1 - CONTEXTE DE LA RECONNAISSANCE

La présente étude concerne la reconnaissance géotechnique détaillée pour les terrassements et l'ouvrage d'art de la déviation de la RD n° 753 du bourg de LA ROMAGNE.

Cette reconnaissance porte sur :

- l'aménagement d'une chaussée neuve à 2 voies ;
- la construction d'un ouvrage d'art en passage supérieur permettant le rétablissement de la route de ST CHRISTOPHE DES BOIS ;

L'étude de l'ouvrage d'art fait l'objet d'un rapport séparé.

Les documents fournis au géotechnicien sont :

- plan de situation,
- plan des travaux au 1/1000 ème,
- profils en long de la déviation au 1/1000 ème.

2 - MISSION/PROGRAMME DE RECONNAISSANCE

2-1/ Mission

La mission relative aux travaux routiers a pour objet la définition du modèle géologique et le pré dimensionnement de l'ouvrage. Le présent rapport définit les éléments suivants :

- les moyens mis en œuvre ;
- la description géologique des différentes formations rencontrées ;
- l'hydrogéologie des nappes superficielles concernées par le tracé ;
- la classification géotechnique des sols selon la norme NF P11-300 ;
- la définition des modalités d'extraction des matériaux en déblai ;
- les possibilités et conditions de réutilisation de ces déblais en fonction des conditions météorologiques ;
- les pentes des talus à retenir pour assurer leur stabilité à long terme et leur drainage éventuel ;
- la qualité des sols supports de remblais au regard de la stabilité générale et des éventuels tassements ;
- la classification des Parties Supérieures des Terrassements (PST) et des Arases de terrassements (AR) selon GTR 92 ;
- le drainage à réaliser ;
- les purges éventuelles à effectuer ;
- le dimensionnement de la Couche de Forme nécessaire pour parvenir à la classe de Plate-forme support de classe PF2 ;

- des propositions éventuelles de modification du tracé paraissant souhaitables ;
- des propositions d'études spécifiques complémentaires que justifieraient des problèmes particuliers apparus au cours de l'étude.

2-2/ Programme

Le programme d'intervention relatif à l'étude du projet routier a consisté à réaliser les opérations suivantes :

- Réalisation d'une prospection par traîné électrique dans l'axe du projet sur un linéaire total de 1600 mètres environ ;
- Forage de 10 sondages de reconnaissance à la tarière mécanique de 140 mm ou 63 mm de diamètre permettant l'étalonnage des mesures géophysiques, le lever de la coupe géologique et le prélèvement d'échantillons (notés S1 à S10) ;
- Forage de 3 sondages pressiométriques avec réalisation de 30 essais pressiométriques (notés SP1 à SP3) ;
- Réalisation de 7 profils sismiques de 60 m de longueur chacun dans les secteurs de fort déblai (notés PS1 à PS7) ;
- Réalisation de 2 essais au pénétromètre dynamique à 5 m de profondeur (notés PD1 et PD2) ;
- Analyse en laboratoire des échantillons prélevés comportant les essais et mesures nécessaires à la classification GTR des matériaux et à la détermination des conditions de réemploi :
 - * teneurs en eau (norme NF P94-050) ;
 - * analyses granulométriques (norme NF P94-056) ;
 - * essais au bleu de méthylène (norme NF P94-068) ;
 - * limites d'Atterberg (norme NF P94-051) ;
 - * essais de compactage Proctor avec poinçonnement CBR et indice de portance immédiat (normes NF P94-093 et NF P94-078) ;

Rapport d'étude :

- Synthèse des résultats et rédaction d'un rapport en 3 exemplaires dont 1 reproductible contenant les informations suivantes :
 - description de la géologie locale ;
 - caractéristiques géotechniques des sols et leur classification GTR ;
 - méthodes d'extraction et possibilités de réemploi des déblais ;
 - purges, drainages et rabattements de nappes nécessaires ;
 - établissement des documents graphiques tels que les profils en long géotechniques, les profils en travers dans les zones de grand déblai, les profils sismiques et le plan des travaux avec repérage des sondages réalisés, ainsi que les résultats des essais en laboratoire (reportés en annexe du rapport).

3 - RESULTATS DES INVESTIGATIONS

Nous avons présenté en annexe les documents suivants :

- plan de situation ;
- le schéma d'implantation des points d'investigation ;
- le profil en long comportant les coupes des sondages ;
- le profil en travers (ouvrage d'art) ;
- les coupes des sondages pressiométriques comportant les résultats des essais pressiométriques ;
- les diagrammes des essais de pénétration dynamique ;
- les profils sismiques ;
- les tableaux des résultats des analyses en laboratoire ;
- les courbes des essais de compactage Proctor ;
- les extraits des Fascicules « Réutilisation des matériaux en remblai et couche de forme du « SETRA-LCPC ».

3-1 / Topographie – Etat des lieux – Description sommaire

La topographie d'ensemble et l'état des lieux sont illustrés sur les plans et profils en long présentés en annexe.

Les points suivants retiendront plus particulièrement notre attention :

- La déviation, longue de 2200 m, se décompose en 8 tronçons (4 en déblai et 4 en remblai) :

Secteurs	Profils route	Point Haut T.N. (m)	Point Bas T.N. (m)	Hauteur maximale déblais (m)	Hauteur maximale remblais (m)	Observations
Déblai D1	PT200 - PT212	122,24		1,62		
Remblai R1	PT212 - PT217		116,26		1,25	
Déblai D2	PT217 – PT220	117,41		0,38		
Remblai R2	PT220 – PT222		115,62		0,69	
Déblai D3	PT222 – PT260	118,70		8,34		PS
Remblai R3	PT260 – PT279		88,29		3,85	Ruisseau
Déblai D4	PT279 – PT281	92,88		0,26		

Par ailleurs, un ruisseau sera franchi dont l'écoulement sera rétabli au moyen de la création d'un ouvrage cadre hydraulique (PT273).

3-2 / Géologie régionale

D'après la carte géologique de France au 1/50 000 de CHOLET (n° 510), les faciès affleurants principaux sont constitués par les granites appartenant aux massifs de MORTAGNE; avec localement des passages mylonitiques.

3-3 / Remarque préliminaire

Comme on va le constater lors de l'examen des résultats des différentes investigations, il existe un certain décalage entre les résultats des sondages et ceux de la prospection par sismique réfraction. En effet, certains sondages ont mis en évidence des matériaux à granulométrie fine dans des secteurs où les vitesses sismiques calculées correspondent plutôt à des matériaux subrocheux ou rocheux. Ce décalage peut avoir plusieurs causes :

- mode de forage par tarière entraînant un broyage partiel ou total des éléments les plus grossiers ou une absence de remontée desdits éléments ;
- sondages implantés dans des zones ponctuellement plus altérées (failles, diaclases).

Par conséquent, les matériaux décrits pourront présenter lors des terrassements une fraction grossière plus importante. Pour les conditions des terrassements, on se référera préférentiellement aux résultats de la prospection sismique.

3-4 / Les sondages (S1 à S10, SP1 à SP3)

Les 10 sondages de reconnaissance ont été forés à la tarière mécanique de 140 mm de diamètre ou de 63 mm dans les zones résistantes. Les 3 sondages pressiométriques ont été effectués à la tarière mécanique de 63 mm.

Ils ont permis d'identifier les faciès suivants :

- Terre végétale et remblais terreux ;
- Limons argilo-sableux marron (LA) ;
- Argiles bariolées limono-sableuses (ALS) ;
- Arènes argilo-limoneuses plus ou moins sableuses (ArAL) ;
- Arènes sablo-limoneuses (ArSL) ;
- Arènes compactes et granites (Ar) ;
- Altérites compactes (Alt) ;
- Schistes (Sc).

Nous retiendrons les points principaux suivants :

- Terre végétale, et remblais terreux

L'épaisseur de la terre végétale est de 0,30 m.

Les remblais terreux ont été mis en évidence uniquement dans le sondage SP2 sur une épaisseur de 0,40 m. Ce sondage a été implanté en bordure de la route de ST CHRISTOPHE DES BOIS;

- Limons argilo-sableux marron (LA)

Ils ont été observés au droit des sondages SP1 à SP3 sous la terre végétale et les remblais et ce jusqu'à 1,20 m à 1,60 m de profondeur.

- **Argiles bariolées limono-sableuses (ALS) :**

Les argiles bariolées limono-sableuses ont été observées d'une part au droit des sondages SP1 et SP2 sous les limons argilo-sableux (jusqu'à 3,60 m et 2,80 m de profondeur) et d'autre part au droit du sondage S9 sous la terre végétale (jusqu'à plus de 3 m de profondeur).

- **Arènes argilo-limoneuses plus ou moins sableuses (ArAL)**

Les arènes argilo-limoneuses ont été observées généralement au droit des sondages S1 à S3 sous la terre végétale et sur une faible épaisseur (0,30 m à 0,50 m). Elles ont été également reconnues au droit du sondage S5 sous la terre végétale jusqu'à 5,00 m de profondeur et au droit du sondage SP1 entre 3,60 m et 5,70 m de profondeur. D'après la carte géologique, ce sondage a été implanté à proximité d'une faille.

- **Arènes sablo-limoneuses (ArSL)**

Elles ont été mises en évidence d'une part au droit des sondages S4 et S8 sous la terre végétale et d'autre part au droit des sondages SP2 et SP3 sous les limons ou les argiles.

- **Arènes compactes et granites (Ar)**

Les arènes compactes et granites ont été observés au droit des sondages suivants:

Sondages	Profondeur des arènes compactes et granites (m)	Profondeur du refus (m)	Profondeur du projet (m)
S1	0,80	2,80	1,60
S2	0,60	3,00	0,10
S3	0,70	-	0,40
S5	5,00	6,80	5,20
S6	0,30	3,70	7,40
S7	0,30	3,60	6,40

Du fait du mode de forage, le passage entre les arènes compactes et les granites n'est pas visible. Seule le creusement de sondages à l'hydropelle permettrait de déterminer le changement de faciès.

- **Altérites compactes (Alt)**

Elles ont été observées d'une part au droit des sondages SP2 et SP3 à partir de 3,40 m à 4,30 m de profondeur et d'autre part au droit du sondage S10 à partir de 0,30 m de profondeur.

Le refus de pénétration de l'outil de forage a été obtenu au droit du sondage S10 à 1,70 m de profondeur.

- **Schistes (Sc)**

Les schistes ont été reconnus au droit des sondages pressiométriques SP1 à SP3 à partir de 5,70 m à 6,10 m de profondeur. Le passage entre les altérites compactes et les schistes a pu être déterminé par un changement des caractéristiques de paramètres à l'avancement.

3-5 / Hydrogéologie

Des arrivées d'eau ont été observées dans des sondages lors de notre intervention (Janvier - Février 2005). Les profondeurs des niveaux de ces arrivées d'eau ainsi que des niveaux d'eau mesurés en fin de sondages sont les suivants (à titre indicatif nous fournissons aussi les arrivées et niveaux d'eau constatés dans les sondages réalisés pour l'étude des ouvrages d'art) :

Sondages	Arrivée d'eau (m)	Niveau d'eau (m)
S4	-	3,10
S5	5,00	-
S6	2,80	-
S9	1,20	-
SP1	3,70	1,60
SP2	5,10	4,10
SP3	6,20	4,40

Comme on peut le constater, les arrivées d'eau ont été observées dans les points bas mais également en partie haute du terrain. Dans ce dernier secteur, les arrivées proviennent circulations dans des zones fracturées des terrains. Par ailleurs, l'observation du terrain dans la partie haute (PT200 à PT230) montre que des circulations d'eau peuvent se produire superficiellement en période pluvieuse.

3-6 / La prospection géophysique

Les deux types de prospections géophysiques réalisées sont les suivantes :

- traîné électrique ;
- sismique réfraction.

3-6-1- Le traîné électrique

La prospection par traîné électrique a été réalisée à l'aide d'un dispositif Wenner 3 x 5 m avec mesure de la résistivité apparente tous les 10 m lorsque l'accès et le fichage des électrodes dans le sol étaient possibles.

Ce dispositif a permis de mesurer la résistivité apparente ρ_a des sols sur les 2 à 3 m supérieurs des terrains. La résistivité est fonction de la nature des matériaux et de leur état hydrique.

Les valeurs de résistivités sont généralement comprises entre 100 et 500 Ohm.m et correspondant à des terrains rocheux plus ou moins profonds recouverts par leurs formations d'altération. Des valeurs plus élevées ou plus basses ont cependant été observées dans les secteurs suivants:

a) Profils route PT205 à PT207

La résistivité ρ_a est comprise entre 90 et 100 Ω .m.

b) Profils route PT218 et PT219

La résistivité ρ_a est comprise entre 80 et 100 Ω .m et correspond à une zone plus humide en surface.

c) Profils route PT222 à PT225

La résistivité ρ_a est comprise entre 500 et 700 $\Omega.m$.

d) Profils route PT230 à PT238

Les valeurs de ρ_a sont comprises entre 60 et 230 $\Omega.m$. Comme le montre le sondage S5 implanté dans cette zone, ces valeurs correspondent d'une part à un passage d'arènes plus tendres et argileuses en surface et d'autre part à la présence d'eau en profondeur.

e) Profils route PT240 à PT247

Les valeurs de ρ_a peuvent dépasser 1000 $\Omega.m$ dans un secteur où les terrains sont plus résistants.

f) Profils route PT258 à PT262 et PT268 à PT277

Les valeurs de ρ_a sont inférieures à 100 $\Omega.m$ dans la zone basse du tracé avec des passages inférieurs à 50 $\Omega.m$. Elles traduisent la présence de terrains plus humides et / ou argileux.

3-6-2- La sismique réfraction

Ce moyen d'investigation géophysique a consisté à réaliser des profils sismiques dans le but de mettre en évidence les variations de dureté des couches de terrains (se caractérisant par leur épaisseur et leur vitesse sismique). Ce dernier paramètre permet de déterminer les conditions de ripabilité en fonction du type de matériel utilisé.

Le matériel de référence est un Ripper Caterpillar D9G Kelley (1 dent) de 360 CV de puissance environ.

D'après le manuel de vente Caterpillar, les différents seuils de ripabilité dans les granites et les grès pour ce type de matériel sont les suivants :

Matériaux	Conditions de terrassement (vitesses)		
	Ripper	Douteux	Explosif
Granites	< 1780 m/s		> 2500 m/s

Les 11 profils sismiques ont été réalisés au droit des tronçons en déblai suivants :

Tronçon en déblai	Profils route	Profils sismiques
D3	PT228 à PT231	PS1
	PT232 à PT235	PS2
	PT237 à PT240	PS3
	PT241 à PT244	PS4
	PT243 en travers	PS5
	PT245 à PT248	PS6
	PT249 à PT252	PS7

Nous pouvons retenir les points principaux suivants :

Profils sismiques	Profils route	Zones résistantes Vitesse (m/s)	Profondeur (m)	Observations
PS1	PT228 à PT231	2530 à 6980	1,30 à 1,80	Catégorie 2
PS2	PT232 à PT235	3650 à 37300	1,60 à 1,70	Catégorie 2
PS3	PT237 à PT240	1710 à 1880	1,30	Coté PT237 : Catégorie 1 ou en limite avec la catégorie 2
		9520	10,70	Coté PT237 : catégorie 2
PS4 / PS5	PT241 à PT244	2760 à 3880	1,70	Catégorie 2
		1310 à 1680	1,00 à 1,10	Coté PT241 et PS5 : Catégorie 1
PS6	PT245 à PT248	4590 à 13510	6,20 à 9,40	Coté PT241 et PS5 : Catégorie 2
		3820 et 4590	1,10 à 1,80	Coté PT244 : Catégorie 2
PS7	PT249 à PT252	2190 à 2340	1,10 à 1,40	Catégorie 1
		11540 à 15000	10,30 à 12,80	Catégorie 2
		1060 à 2270	1,30 à 1,80	Catégorie 1
		4500 et 5210	9,50 et 11,30	Catégorie 2

b) Remarque

Les terrains sont généralement en catégorie 2 à faible profondeur (moins de 2 m). Cependant des zones plus lentes ont été observées au droit de plusieurs profils sismiques et qui peuvent correspondre soit à des zones plus altérées au sein des granites, soit à des anomalies structurales comme des diaclases qui peuvent ralentir la propagation de l'onde sismique. Dans ce cas, on doit considérer que le matériau est aussi résistant (d'où les vitesses sismiques élevées), mais est fracturé.

3-7 / Les essais pressiométriques

Les 30 essais pressiométriques ont été réalisés dans le cadre de l'étude de l'ouvrage d'art du rétablissement de la route de ST CHRISTOPHE DES BOIS. Ils ont permis de mesurer et calculer les paramètres suivants :

- module pressiométrique : Em (MPa) ;
- pression de fluage : Pf (MPa) ;
- pression limite : PI (MPa).

Ces essais sont donnés en raison du fait qu'ils seront utilisés pour calculer les tassements sous remblais.

Faciès	Em (MPa)	Pf (MPa)	PI (MPa)
Argiles limoneuses et limono-sableuses (3 essais)	1,7 à 20,2	0,17 à 0,93	0,29 à 2,17
Altérites sablo-limono-argileuses et arènes argilo-sableuses (6 essais)	16,6 à 150,8	0,43 à 4,90	1,44 à > 5,00
Altérites compactes et schistes (21 essais)	75,0 à 753,6	3,05 à >5,00	> 5,00 à >5,50

3-8 / Les essais de pénétration dynamique (PD1 et PD2)

Les 2 essais de pénétration dynamique ont été réalisés dans le secteur du remblai R3 correspondant au franchissement d'un ruisseau en partie basse du tracé.

Ils ont permis de calculer la résistance en pointe q_d des terrains.

Les essais montrent que jusqu'à une profondeur comprise entre 1,60 m et 2,20 m, les valeurs de q_d peuvent être médiocres ($q_d < 1$ MPa). Au-dessous, elles sont supérieures à 2 MPa et deviennent supérieures à 5 MPa à partir de 4,50 m à 5,00 m de profondeur.

3-9 / Analyses en laboratoire

Nous avons réalisé les analyses et mesures suivantes :

- Teneur en eau naturelle : W_{nat} (%) ;
- Valeur de bleu du sol : VBS ;
- Limites d'Atterberg :
 - * Limite de liquidité : WL (%) ;
 - * Limite de plasticité : WP (%) ;
 - * Indice de plasticité : I_p ;
 - * Indice de consistance : I_c .
- Indice Portant Immédiat : IPI ;
- Essai de compactage Proctor Normal :
 - * Teneur en eau optimale : W_{OPN} (%) ;
 - * Densité sèche optimale : $\gamma_{d\ OPN}$ (%) ;
 - * Indice CBR ;

Le détail des résultats est présenté dans une série de tableaux et de diagrammes joints en annexe.

Remarque préliminaire : Du fait de la nature du mode de sondage, les échantillons prélevés dans les différents faciès ne reflètent pas fidèlement la nature du matériau en place, c'est à dire que les éléments les plus grossiers n'ont pas été remontés par la tarière et qu'ils ont pu être broyés.

Pour chacun des faciès rencontrés lors du creusement des sondages à la tarière mécanique, les caractéristiques sont les suivantes :

- Limons argilo-sableux et argiles bariolées limono-sableuses (LAS et ALS – 4 échantillons)

W _{nat} = 17 à 38 %	WL = 31,7 %
VBS = 1,3	WP = 22,2 %
IPI = 2,1	I _p = 9,7
	I _c = 1,37

- Arènes argilo-limoneuses plus ou moins sableuses (ArAL - 4 échantillons)

W _{nat} = 14 à 19 %	D _{max} = 15 mm
VBS = 2,4	Passant à 2 mm : 70,2 %
WL = 56,9 %	Passant à 0,08 mm: 39,9 %
WP = 30,8 %	W _{OPN} = 13,0 %
I _p = 26,1	γ _{d OPN} = 1,81
I _c = 1,46	IPI = 4,4

- Arènes sablo-limoneuses (ArSL – 5 échantillons)

W _{nat} = 11 à 29 %	D _{max} = 8 et 13 mm
VBS = 0,53 et 0,65	Passant à 2 mm : 66,9 et 61,2%
W _{OPN} = 12,7 %	Passant à 0,08 mm: 28,2 et 32,6 %
γ _{d OPN} = 1,89	
IPI = 1,5	

- Arènes compactes et granites (Ar – 14 échantillons)

W _{nat} = 2 à 12 %	D _{max} = 11 à 15 mm
VBS = 0,30 et 0,66	Passant à 2 mm : 60,4 et 85,0%
W _{OPN} = 9,3 et 9,5 %	Passant à 0,08 mm: 22,9 et 34,1 %
γ _{d OPN} = 1,99 et 1,93	
IPI = 36,8	

- Altérites compactes (Alt – 2 échantillons)

W _{nat} = 5 et 19 %	D _{max} = 13 mm
VBS = 0,41	Passant à 2 mm : 70,0 %
	Passant à 0,08 mm: 31,1 %

4 – SYNTHÈSE - CONCLUSION

Nous avons développé dans ce chapitre les points suivants :

- la géologie ;
- la classification GTR ;
- les conditions de terrassements et de réemploi des déblais ;
- les fondations des remblais ;

4-1/ La géologie

Déblai D1

Présence en tête d'arènes argilo-limoneuses peu épaisses surmontant des arènes compactes et des granites à partir de 0,60 m à 0,80 m de profondeur.

Remblai R1

Présence probable d'arènes compactes et de granites sous des arènes argilo-limoneuses peu épaisses. Circulations d'eau superficielles.

Déblai D2

Présence en tête d'arènes argilo-limoneuses peu épaisses surmontant des arènes compactes et des granites à partir de 0,70 m de profondeur.

Remblai R2

Présence probable d'arènes compactes et de granites sous des arènes argilo-limoneuses peu épaisses. Circulations d'eau superficielles

Déblai D3

En partie topographiquement haute du déblai (profils route PT 225 à PT239 - sondages S4 et S5), présence d'arènes sablo-limoneuses ou argilo-limoneuses. Les arènes compactes et les granites sont observés en profondeur.

Du profil PT239 aux environs de la route de ST CHRISTOPHE DES BOIS (PT251), les arènes compactes et les granites sont présents sous la terre végétale.

A partir de la route de ST CHRISTOPHE DES BOIS, présence de matériaux argileux ou d'arènes jusque vers 3,40 m à 5,70 m de profondeur. Au-dessous, altérites compactes et schistes.

Les profils sismiques ont montré que les terrains sont généralement classés en catégorie 2 (terrassement à l'explosif) avant 2 m de profondeur sauf anomalies ponctuelles (cf. chapitre 3.5.2).

Remblai R3

Présence d'arènes sablo-limoneuses et d'argiles bariolées dans la partie la plus basse du terrain, de part et d'autre du ruisseau. Les essais au pénétromètre dynamique ont montré la présence de terrains médiocres jusqu'à 1,60 m à 2,20 m de profondeur.

Déblai D4

Présence d'altérites compactes sous la terre végétale.

4-2/ La classification GTR

D'après le Fascicule « Réalisation des remblais et des couches de forme – Fascicule II – Annexes Techniques » du SETRA – LCPC, les différents faciès rencontrés peuvent être classés ainsi qu'il suit :

Nature des sols	Classe GTR		Classe GTR occasionnelle
	En place	A l'extraction	
Limons argilo-sableux et argiles bariolées limono-sableuses (LAS et ALS)		A1th	
Arènes argilo-limoneuses (ArAL)		A1h	A3th
Arènes sablo-limoneuses (ArSL)		B5s-h	B5th
Arènes compactes et granites (Ar)	R61 à R63*	B5s-ts	
Altérites compactes (Alt)	R63*	B5ts	

* Classe estimée

Remarque : Les tableaux de la classification GTR relatifs aux classes principales données ci-dessus sont présentés en annexe.

4-3/ Les conditions de terrassement et de réemploi des déblais

4-3-1- Conditions de terrassement :

D'après le CCTP – Annexe B, les matériaux rencontrés peuvent être classés en deux catégories :

- 1^{ère} catégorie : les matériaux ne nécessitant pas l'emploi d'engins de forte puissance ou d'explosifs ;
- 2^{ème} catégorie : les matériaux qui ne peuvent être extraits à l'aide d'une pelle de 300 CV (avec godet rétro de 2 m³ et 3 m³ en butte, avec un débit d'extraction de 120 m³/h) ou d'une défonceuse (ripper) à dent montée sur un tracteur de 355 CV (débit de défouage de 120 m³/h) et nécessitant donc l'emploi d'explosifs ou d'engins de forte puissance.

La prospection géophysique (sismique principalement) au droit du déblai a permis d'une part de préciser les zones en limite de catégorie 1 voire en catégorie 2 et d'autre part de formuler les appréciations suivantes :

- matériaux de catégorie 1 au droit de tous les profils sismiques jusque vers une profondeur comprise entre 1,10 m et 1,80 m. Par ailleurs, des matériaux en limite de catégorie ont été observés vers les profils suivants :
 - PT237 – PT238 (PS3) jusqu'à une profondeur comprise entre 6,10 m et 10,70 m ;
 - PT241 – PT242 (PS4/PS5) jusque vers 6,20 m à 9,40 m de profondeur environ ;
 - PT249 (PS7) jusqu'à 9,50 m de profondeur ;
- matériaux de catégorie 2 (vitesses supérieures à 2150 m/s) généralement à partir de 1,10 m à 1,80 m de profondeur sauf les anomalies citées ci-dessus ;

Remarque :

Nous précisons ici que des pointements rocheux résistants, pouvant ralentir l'avancement des travaux de terrassement ou créer des difficultés d'extraction, ont pu ne pas être repérés lors des différentes prospections. De la même manière, des passages ponctuellement très altérés ont pu ne pas être repérés au cours de ces prospections.

4-3-2- Réemploi des déblais :

Les conditions de réemploi des déblais en remblais sont explicitées dans le Fascicule « Réutilisation des remblais et des couches de forme » du SETRA-LCPC.

Nous avons reproduit ces conditions en annexe.

*
**

- Les limons argilo-sableux et les argiles bariolées limono-sableuses sont généralement trop humides pour être réutilisables en l'état. Il sera alors nécessaire de les mettre en dépôt pour ramener leur teneur en eau à un état « h » ou « m ».
- Les arènes argilo-limoneuses plus ou moins sableuses sont des matériaux sensibles à l'eau dont la portance chute en période pluvieuse. De plus, elles sont sujettes au matelassage. Elles ne sont réutilisables qu'en période favorable (absence de pluie). La teneur en eau pour leur réutilisation ne devra pas dépasser 16 %.

Dans certaines conditions, leur utilisation est déconseillée pour des remblais de plus de 5 m de hauteur. On pourra alors les utiliser soit pour la construction de merlons de protection.

- Les arènes sablo-limoneuses sont également des matériaux sensibles à l'eau. Leur teneur en eau est variable (état s à th). La mise en place de ces matériaux sera améliorée si l'on procède à un malaxage afin d'homogénéiser leur teneur en eau sachant que celle-ci ne doit pas dépasser 16 %.
- Les arènes compactes, les granites et les altérites compactes sont des matériaux secs à très secs, qui nécessiteront pour leur mise en œuvre soit un compactage intense soit une humidification de manière à obtenir un état hydrique « s » à « m ». Par ailleurs, ces matériaux étant susceptibles de contenir des blocs, il sera nécessaire de prévoir une fragmentation complémentaire des gros blocs (recherche d'une granulométrie continue et sans gros blocs).

Remarque : Il sera possible d'obtenir une meilleure estimation des conditions de mise en œuvre des matériaux après réalisation d'une étude spécifique nécessitant d'effectuer d'une part des prélèvements en grandes quantités à l'intérieur de puits creusés à la pelle mécanique et d'autre part la réalisation d'essais de compactage Proctor normal

4-4/ Stabilité des talus et fondations des remblais

4-4-1- Stabilité des talus en remblais et déblais :

a) Talus en remblais

Pour les talus qui seront réalisés en remblais, nous conseillons de retenir une pente de 2/1 (2 de base pour 1 de hauteur). Le comportement général des remblais sera dicté par la phase limoneuse à sableuse. Dans le cas où le corps de remblai serait constitué principalement de matériaux rocheux, on pourrait adopter une pente de 3/2.

b) Talus en déblais

Les talus en déblais déjà réalisés dans les terrains meubles similaires à ceux rencontrés sur le site (faciès LAS, ALS, ArAL) représentent localement un linéaire relativement important. Ces talus sont réglés selon des pentes de l'ordre de 2/1 (2 de base pour 1 de hauteur) et donnent satisfaction dans leur ensemble.

Dans le cas d'arènes sablo-limoneuses, d'arènes et d'altérites compactes, il sera possible de porter la pente à 3/2 (3 de base pour 2 de hauteur).

Ces modèles pourront être reproduit ici.

Des pentes supérieures seront toutefois admises dans le cas où les déblais seraient terrassés dans les matériaux subrocheux à rocheux. On pourra alors adopter une pente pouvant atteindre 1/3 (1 de base pour 3 de hauteur).

Remarque :

Dans les déblais importants, lorsque l'on craindra qu'une telle pente de 1/3 donne une impression d'inconfort à la conduite, on pourra envisager de réduire ladite pente (1/2) où de créer des redans à mi-hauteur.

c) Remarque générale

Les pentes des talus en déblai et en remblai permettront de réduire les risques d'apparition de rupture de talus par glissements plans ou circulaires. Cependant, elles n'éviteront pas l'érosion due à l'action de l'eau. Il conviendra donc de mettre en œuvre les dispositions permettant de réduire les circulations d'eau incontrôlées ou leurs effets sur les talus (collecteurs amont, merlons, descentes d'eau, végétalisation).

Lors des travaux de terrassements, la présence d'arrivées d'eau ponctuelles importantes pourra nécessiter des opérations de captages appropriés (drains, enrochements).

4-4-2- Fondations des remblais :

La hauteur maximale des différents remblais est comprise entre 0,69 m et 3,85 m.

a) Remblais R1 et R2

Les sols superficiels sont constitués par des arènes argilo-limoneuses et par des arènes compactes.

La hauteur maximale des remblais est de 0,69 m et 1,25 m.

Pour ces ouvrages, on assurera au minimum le décapage de la terre végétale et éventuellement des arènes argilo-limoneuses trop humides.

Compte tenu des épaisseurs modestes de remblais, on peut prévoir que les tassements seront faibles.

b) Remblai R3

La hauteur maximale du remblai est de 3,85 m.

Stabilité au poinçonnement

La pression moyenne appliquée par le remblai routier aux formations sous-jacentes sera de l'ordre de 0,07 MPa (0,7 bar). Cette valeur est voisine ou supérieure de celle que peut supporter les 1,60 m à 2,20 m supérieurs des terrains (cf. essais PD1 et PD2). Les conditions de stabilité à court terme ne sont pas remplies.

Dans un tel contexte, nous recommandons la purge de la partie supérieure des argiles bariolées et de les remplacer par des matériaux d'apport de bonne qualité et énergiquement compactés.

De plus, le site pouvant être inondable, on conseillera d'interposer entre les remblais et le sol décapé, un dispositif drainant permettant l'évacuation rapide des eaux à la décrue. En fonction des débits à évacuer, on pourra mettre en place les dispositifs suivants :

- une couche de granulats drainants ;
- une couche de granulats drainants avec des collecteurs de type buse ;
- des fossés ou des ouvrages de collecte des eaux ramenant les eaux dans le futur lit du cours d'eau.

Du fait de la sensibilité à l'eau des terrains superficiels, la traficabilité sera difficile en période pluvieuse (effet de matelassage par exemple).

4-5/ Aménagement des plates-formes

4-5-1- Nature de la partie supérieure de terrassements

La partie supérieure des terrassements (PST) sera constituée par les faciès suivants :

- Argiles bariolées limono-sableuses (ALS) ;
- Arènes argilo-limoneuses plus ou moins sableuses (ArAL) ;
- Arènes sablo-limoneuses (ArSL) ;
- Arènes compactes et granites (Ar) ;
- Altérites compactes (Alt) ;

4-5-2- Classes de parties supérieures de terrassements (PST) et classes d'arase

(AR) :

Les différents faciès peuvent être classés ainsi qu'il suit :

Nature des sols	Faciès	PST		AR
		Période défavorable	Période favorable	
Argiles bariolées limono-sableuses	ALS	0 - 1	1	1
Arènes argilo-limoneuses	ArAL	0 - 1	1	1
Arènes sablo-limoneuses	ArSL	0 - 3	1 - 3	1-2
Arènes compactes et granites	Ar	5-6	5-6	3-4
Altérites compactes	Alt	2 - 3	3	1 - 2

Remarques :

- Les arènes argilo-limoneuses (ArAL) ne constitueront la partie supérieure des terrassements que de manière très ponctuelle lors des passages de zones de déblai en zones de remblai par exemple.
- Pour les faciès ArSL et Alt, la classe d'arase pourra être fixée à 2 si des dispositifs de drainage sont aménagés à la base de la chaussée afin d'éviter la stagnation des eaux infiltrées et donc la plastification des matériaux de la plate-forme support. En l'absence de cette disposition on devra fixer la classe d'arase à 1.
- Pour les arènes compactes et les granites subrocheux à rocheux, il sera possible d'obtenir une classe d'arase AR4 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 200 MPa.

4-5-3- Conditions de mises en œuvre des couches de forme :*a/ Possibilités de réutilisation des matériaux du site en couches de forme*

Nous rappelons que la classification GTR des terrains rencontrés le long du tracé est la suivante :

Nature des sols	Classe GTR		Classe GTR occasionnelle
	En place	A l'extraction	
Limons argilo-sableux et argiles bariolées limono-sableuses (LAS et ALS)		A1th	
Arènes argilo-limoneuses (ArAL)		A1h	A3th
Arènes sablo-limoneuses (ArSL)		B5s-h	B5th
Arènes compactes et granites (Ar)	R61 à R63*	B5s-ts	
Altérites compactes (Alt)	R63*	B5ts	

* Classe GTR estimée

Nous retiendrons les principaux points suivants :

- les limons argilo-sableux (faciès LAS), les argiles bariolées limono-sableuses (ALS) de classe A1th ainsi que les arènes argilo-limoneuses (ArAL) et sablo-limoneuses (ArSL) dont l'état hydrique est th sont trop humides pour être réutilisable en l'état en couche de forme. Il sera nécessaire de ramener leur teneur en eau à l'état « h » pour pouvoir les réutiliser. Dans ce cas, leur réutilisation ne sera possible qu'après traitement à l'aide de liant hydraulique éventuellement associé à de la chaux pour les matériaux les plus argileux ;
- les arènes argilo-limoneuses (ArAL) de classe A1h et les arènes sablo-limoneuses (ArSL) de classe B5s-h sont réutilisables en couches de forme après traitement à l'aide de liant hydraulique associé éventuellement à de la chaux ;
- les arènes compactes et les granites (Ar) de classe R63 ainsi que les altérites compactes (Alt) de classe R63 sont réutilisables en couches de forme sous réserve de procéder à une humidification du matériau de manière à l'amener à un état s ou m. Les possibilités d'emploi de ces matériaux pourront être déterminée en fonction de leur classification GTR à l'extraction à l'aide d'engins de terrassement. Cette classification ne pourra être estimée que par des prélèvements d'échantillons en grande quantité à l'aide d'une hydropelle ;
- les arènes compactes et les granites (Ar) de classes R61 et R62 pourront être réutilisés sans traitement sous réserve d'éliminer les éléments les plus grossiers ne permettant pas un réglage de la plateforme de bonne qualité. Il peut être également possible de les réutiliser après traitement à l'aide d'un liant hydraulique.

Les épaisseurs de matériaux à mettre en œuvre en couche de forme sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Matériaux constitutifs de la couche de forme :			Epaisseur de couche de forme (m) sur :				
Nature des sols	Faciès	Classe GTR	PST1	PST 2	PST 3		PST4
			AR1	AR1	AR1	AR2	AR2
Limons argilo-sableux	LAS	A1th	Non réutilisable				
Argiles limono-sableuses	ALS	A1th	Non réutilisable				
Arènes argilo-limoneuses	ArAL	A1h ⁽¹⁾	⁽²⁾	0,35	0,35 ⁽⁴⁾		
		A3th	Non réutilisable				
Arènes sablo-limoneuses	ArSL	B5s-h ⁽¹⁾	⁽²⁾	0,35	0,35 ⁽⁴⁾		
		B5th	Non réutilisable				
Arènes compactes et granites	Ar	R61 ⁽³⁾	0,60	0,50	0,40	0,30	⁽⁵⁾
		R62 ⁽³⁾	0,70	0,50	0,40	0,30	⁽⁵⁾
		R63	Fonction de la classe GTR à l'extraction				
Altérites compactes	Alt	R63	Fonction de la classe GTR à l'extraction				

Remarques :

- (1) : La réutilisation de ces matériaux n'est possible qu'après traitement à l'aide d'un liant hydraulique éventuellement associé à de la chaux dans le cas des matériaux plus argileux ;
- (2) : Sur une telle PST, la mise en œuvre d'un matériau traité en vue d'obtenir une couche de forme de classe PF2, n'est pas réalisable. Il sera nécessaire de procéder à un traitement préalable selon une technique remblai et sur une épaisseur pouvant atteindre 0,50 m et à se reporter alors au cas de PST 4 si l'effet du traitement est durable et aux cas de PST 2 ou 3 s'il ne l'est pas ;
- (3) : Il sera possible de réduire l'épaisseur de la couche de forme d'une dizaine de centimètres si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST – couche de forme ;
- (4) : L'obtention d'une classe AR2 permettra la mise en œuvre d'une plate-forme de classe PF3 ;
- (5) : Dans le cas d'une PST 4, une couche de forme conduisant à une PF2 peut se limiter à une couche de protection superficielle de quelques centimètres. Elle peut être également remplacée par un enduit de cure gravillonné appliqué directement sur l'arase terrassement. La couche de forme peut être inutile si l'on prévoit un rabotage des 5 à 10 cm supérieurs de la PST.
- Dans tous les cas, la réalisation de travaux de drainage préalables permettra d'améliorer la portance des terrains, notamment si les travaux ont lieu en période humide ;

- Nous rappelons que les classes de plate-forme sont définies ainsi qu'il suit :

Module EV2 (MPa)	20	50	120	200
Classe de plate-forme :	PF1	PF2	PF3	PF4

b/ Couches de forme en matériaux d'apport

La mise en œuvre d'une couche de forme en matériaux d'apport devra tenir compte des classes de partie supérieure des terrassements et d'arase. Sa pose devra être conforme aux spécifications du Fascicule du SETRA - LCPC « Réalisation des Remblais et des couches de forme ».

A titre d'exemple et en fonction des classes d'arase susceptibles d'être rencontrées le long du tracé il pourra être mis en œuvre les couches de forme suivantes :

Classe de PST	Classe d'Arase	Couche de forme en GNT (classe B31)
1	1	0,60 ⁽¹⁾
2	1	0,40 ⁽¹⁾
3	1	0,30 ⁽¹⁾
3	2	0,20 ⁽¹⁾
5 - 6	3 - 4	⁽²⁾

Remarque :

- (1) : Cette épaisseur tient compte de ce qu'un géotextile anticontaminant est mis en place à l'interface arase terrassement - couche de forme. Dans le cas contraire, il faudrait ajouter 0,10 m à 0,15 m à épaisseur de la couche de forme ;
- (2) : Sur les arènes et les altérites compactes ainsi que les granites, la mise en œuvre d'une couche de forme n'est pas nécessaire, on pourra se limiter à la mise en place d'une couche de protection superficielle.

Nous restons à la disposition du Maître d'Ouvrage pour toutes informations complémentaires.

Les conclusions du présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes en annexe.

Ph. VIROULAUD

T. MARCHADIER

G. RIVIERE

CONDITIONS PARTICULIERES

Le présent rapport ou Procès verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La Société AIS Centre Atlantique. serait dérogée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans son accord écrit préalable.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols, doit être signalé à AIS Centre Atlantique qui pourra reconsidérer tout ou partie des conclusions du Rapport.

De même, des changements dans l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du Rapport et doivent être portés à la connaissance d'AIS Centre Atlantique.

La Société AIS Centre Atlantique. ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur lesdites modifications.

La Société AIS Centre Atlantique ne saurait trop conseiller le client de faire procéder, au moment de l'ouverture des fouilles ou de la réalisation des travaux de fondation, à une visite de chantier par un de ses spécialistes qui vérifiera la conformité de la nature des sols et la profondeur des horizons d'ancrage.

Cette prestation peut éventuellement être incluse dans le contrat d'étude et donnera lieu à un Procès Verbal.
