

Annexe 4 : Les conducteurs de descente (NF C 17-102)

Les conducteurs de descente sont constitués par des rubans, tresses ou ronds. Leur section, de 50 mm² minimum, est définie dans le tableau ci-dessous :

Conducteurs de descente		
Matière	Observations	Dimensions minimales
Cuivre électrolytique nu ou étamé (1)	Recommandé pour sa bonne conductibilité électrique et sa tenue à la corrosion	Ruban 30 x 2 mm Rond Ø 8 mm (2) Tresse 30 x 3,5 mm
Acier inoxydable 18/10, 304	Recommandé dans certaines atmosphères corrosives	Ruban Ø 30 x 2 Rond Ø 8 mm (2)
Aluminium A 5/L	Doit être utilisé sur des surfaces en aluminium (bardages, murs, rideaux)	Ruban 30 x 3 mm Rond Ø 10 mm (2)
(1) Compte tenu de ses propriétés physiques, mécaniques et électriques (conductibilité, malléabilité, tenue à la corrosion, etc...) le cuivre étamé est recommandé. (2) Etant donné le caractère impulsionnel du courant de foudre, le conducteur plat, offrant à section identique une plus grande surface extérieure, est préféré au conducteur rond.		

L'utilisation de câbles coaxiaux isolés comme descentes de paratonnerres n'est pas admise. L'emploi de gaines ou revêtements isolants autour des conducteurs n'est pas admis (épaisseur inférieure ou égale à 0,5 mm tolérée).

Annexe 5 : Les prises de terre

Généralités

Afin d'assurer l'écoulement du courant de foudre dans la terre (comportement à haute fréquence) en minimisant des surtensions, la forme et les dimensions des prises de terre sont les critères importants. Une résistance de terre inférieure à 10 Ω (mesure à basse fréquence) est généralement recommandée.

Prises de terre selon la norme NF C 17-102 (septembre 2011) : elles peuvent être constituées par :

- des conducteurs en cuivre étamé 50mm², longueur 8 mètres, disposés en patte d'oie et enfouis horizontalement à au moins 50 cm de profondeur
- ou un ensemble de plusieurs piquets de terre verticaux disposés en ligne ou en triangle espacés de 2 mètres environ et reliés entre eux par un conducteur en cuivre étamé 50mm².



Patte d'oie



Piquets alignés



Piquets triangulés

Les prises de terre doivent être interconnectées, l'équipotentialité est réalisée par l'interconnexion de l'installation extérieure de protection contre la foudre avec :

- l'ossature métallique de la structure
- les installations métalliques
- les systèmes intérieurs
- les éléments conducteurs extérieurs et les lignes connectées à la structure.

Les matériaux et les dimensions minimales des électrodes de terre sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Électrodes de terre		
Matière	Observations	Dimensions minimales
Cuivre électrolytique nu ou étamé (1)	Recommandé pour sa bonne conductibilité électrique et sa tenue à la corrosion	Ruban 30 x 2 mm Rond \varnothing 8 mm (2) Grille en fil de section mini de 10 mm ² Piquet plein : \varnothing 15 mm, L : 1 m Piquet tubulaire : \varnothing 25 ext, L : 1 m
Acier cuivré (250 μ)	/	Piquet plein \varnothing 15 mm, L : 1 m
Acier inoxydable 18/10, 304	Recommandé dans certains types de sols corrosifs	Ruban \varnothing 30 x 2 Rond \varnothing 10 mm Piquet plein : \varnothing 15 mm, L : 1 m Piquet tubulaire : \varnothing 25 mm, L : 1 m
Acier galvanisé à chaud (50 μ)	Réservé aux installations provisoires et de courte durée de vie compte tenu de sa mauvaise tenue à la corrosion	Ruban 30 x 3,5 mm Rond \varnothing 10 mm Piquet plein : \varnothing 19 mm, L : 1 m Piquet tubulaire : \varnothing 21 mm, L : 1 m
(1) Compte tenu de ses propriétés physiques, mécaniques et électriques (conductibilité, malléabilité, tenue à la corrosion, etc...) le cuivre étamé est recommandé.		

Annexe 6 : Distances de séparation

La distance de séparation est la distance minimale pour laquelle il n'y a pas de formation d'étincelle dangereuse entre un conducteur de descente et une masse conductrice voisine. Elle est définie par la formule suivante :

$$S(m) = k_i \frac{k_c}{k_m} l$$

où :

k_i dépend du type de SFP choisi (cf. tableau 1)

k_c dépend du courant de foudre s'écoulant dans les conducteurs de descente (cf. tableau 3)

k_m dépend du matériau de séparation (cf. tableau 2)

l est la longueur, en mètres, le long des dispositifs de capture ou des conducteurs de descente entre le point où la distance de séparation est prise en considération et le point de la liaison équipotentielle la plus proche.

Tableau 1 : Valeur du coefficient k_i

Type de SPF	k_i
I	0,08
II	0,06
III et IV	0,04

Tableau 2 : Valeur du coefficient k_m

Matériaux	K_m
Air	1
Béton, briques	0,5

Si plusieurs matériaux isolants sont en série, une bonne pratique est de choisir la valeur la plus faible de k_m . L'utilisation d'autres matériaux isolants est à l'étude

Dans le cas de lignes ou de parties conductrices extérieures pénétrant dans la structure, il est toujours nécessaire de réaliser une équipotentialité de foudre (directe ou par parafoudre) au point de pénétration dans la structure.

Dans des structures en béton armé avec armatures métalliques interconnectées, une distance de séparation n'est pas requise.

Le coefficient de répartition K_c du courant de foudre entre les conducteurs de descente dépend du nombre n de ceux-ci, de leur position, de la présence des ceinturages, du type du dispositif de capture et du type de prise de terre (cf. tableau ci-dessous).

Pour une prise de terre de type A, et sous la condition que la résistance de chacune des électrodes a la même valeur, et pour une prise de terre de type B le tableau ci-dessous est applicable.

Tableau 3 : Valeur du coefficient k_c

Nombre de conducteurs de descente n	k_c	
	Disposition de terre type A	Disposition de terre type B
1	1	1
2	0,75 (d)	1 ... 0,5 (a)
4 et +	0,60 (d)	1 ... 1/n (b)
4 et +, connectés par un ceinturage horizontal	0,41 (d)	1 ... 1/n (c)
(a) Voir l'Annexe E		
(b) Si les conducteurs de descente sont connectés horizontalement par un ceinturage, la distribution de courant est plus homogène dans la partie inférieure et k_c est réduit. Cela est particulièrement applicable aux structures élevées.		
(c) Ces valeurs sont valables pour de simples électrodes présentant des valeurs comparables de résistance. Si ces résistances sont très différentes, il est pris $k_c = 1$		
Note : d'autres valeurs de k_c peuvent être utilisées si des calculs détaillés sont effectués		

Annexe 7 : Composants « naturels »

Les éléments suivants de la structure peuvent être considérés comme des descentes « naturelles » :

a) Les installations métalliques, à condition que :

- la continuité électrique entre les différents éléments soit réalisée de façon durable, conformément aux exigences du § 5.5.2. de la norme NF EN en 62305-3
- leurs dimensions soient au moins égales à celles qui sont spécifiées pour les descentes normales dans le tableau 6 de la norme NF EN 62305-3 (voir page suivante).

Les canalisations transportant des mélanges inflammables ou explosifs ne doivent pas être considérées comme des composants naturels de descente si le joint entre brides n'est pas métallique ou si les brides ne sont pas connectées entre elles de façon appropriée.

Note 1 : les installations métalliques peuvent être revêtues de matériau isolant.

b) L'ossature métallique de la structure présentant une continuité électrique.

Note 2 : pour les éléments préfabriqués en béton armé, il est important de réaliser des points d'interconnexion entre les éléments de renforcement. Il est aussi essentiel que le béton armé intègre une liaison conductrice entre ces points. Il est recommandé de réaliser ces interconnexions « in situ » lors de l'assemblage.

Note 3 : dans le cas de béton précontraint, il convient de veiller au risque d'effets mécaniques inadmissibles dus, pour une part aux courants de décharge atmosphérique et, d'autre part, au raccordement de l'installation de protection contre la foudre.

c) Les armatures armées en acier interconnectés de la structure en béton.

Note 4 : les ceinturages ne sont pas nécessaires si l'ossature métallique ou si les interconnexions des armatures du béton sont utilisées comme conducteur de descente.

d) Les éléments de façade, profilé et support des façades métalliques, à condition que :

- leurs dimensions soient conformes aux exigences relatives aux descentes et que leur épaisseur ne soit pas inférieure à 0,5 mm
- leur continuité électrique dans le sens vertical soit conforme aux exigences du § 5.2.2. de la norme NF EN 62305-3.

Les parties suivantes de structures peuvent être considérées comme dispositifs de capture « naturels » et constituer des parties du SPF :

a) Les tôles métalliques recouvrant la structure à protéger, sous réserve que :

- la continuité électrique entre les différentes parties soit réalisée de façon durable (par exemple par brassage, soudage, sertissage, vissage ou boulonnage)
- l'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t' figurant dans le tableau 3 de la norme NF EN 62305-3 (ci-après), de façon à empêcher la perforation des tôles ou à prendre en compte l'inflammabilité des matériaux placés dessous
- l'épaisseur des tôles métalliques ne soit pas inférieure à la valeur t figurant dans le tableau 3 la norme NF EN 62305-3 (ci-après) de façon à les protéger contre les perforations ou à éviter les problèmes de points chauds
- elles ne soient pas revêtues de matériau isolant.

- b) Les éléments métalliques de construction du toit (fermes, armatures d'acier interconnectées, etc...) recouverts de matériaux non métalliques, à condition que ces derniers puissent être exclus de la structure à protéger
- c) Les parties les parties métalliques du type gouttières, décorations, rambardes, etc... dont la section n'est pas inférieure à celle qui est spécifiée pour les composants normaux du dispositif de capture
- d) Les tuyaux et réservoirs métalliques sur la toiture si l'épaisseur et la section de leur matériaux est conforme au tableau 6 (ci-dessous)
- e) Les tuyaux et réservoirs métalliques de mélanges combustibles et explosifs, s'ils sont réalisés en un matériau d'épaisseur non inférieure à la valeur appropriée de t figurant dans le tableau 3 (ci-dessous) et si l'élévation de température de la surface intérieure au point d'impact ne constitue pas un danger.

Si les conditions d'épaisseur ne sont pas satisfaites, les canalisations et réservoirs doivent être intégrés dans la structure à protéger.

Les canalisations écoulant des mélanges combustibles ou explosifs ne doivent pas être considérées comme des dispositifs de capture si le joint des brides n'est pas métallique ou si les brides ne son pas connectées entre elles de façon appropriée.

Tableau 3
Epaisseur minimale des tôles ou canalisations métalliques du dispositif de capture

Niveau de protection	Matériau	Épaisseur ^a t mm	Épaisseur ^b t' mm
I à IV	Plomb	-	2,0
	Acier (inox galvanisé)	4	0,5
	Titanium	4	0,5
	Cuivre	5	0,5
	Aluminium	7	0,65
	Zinc	-	0,7

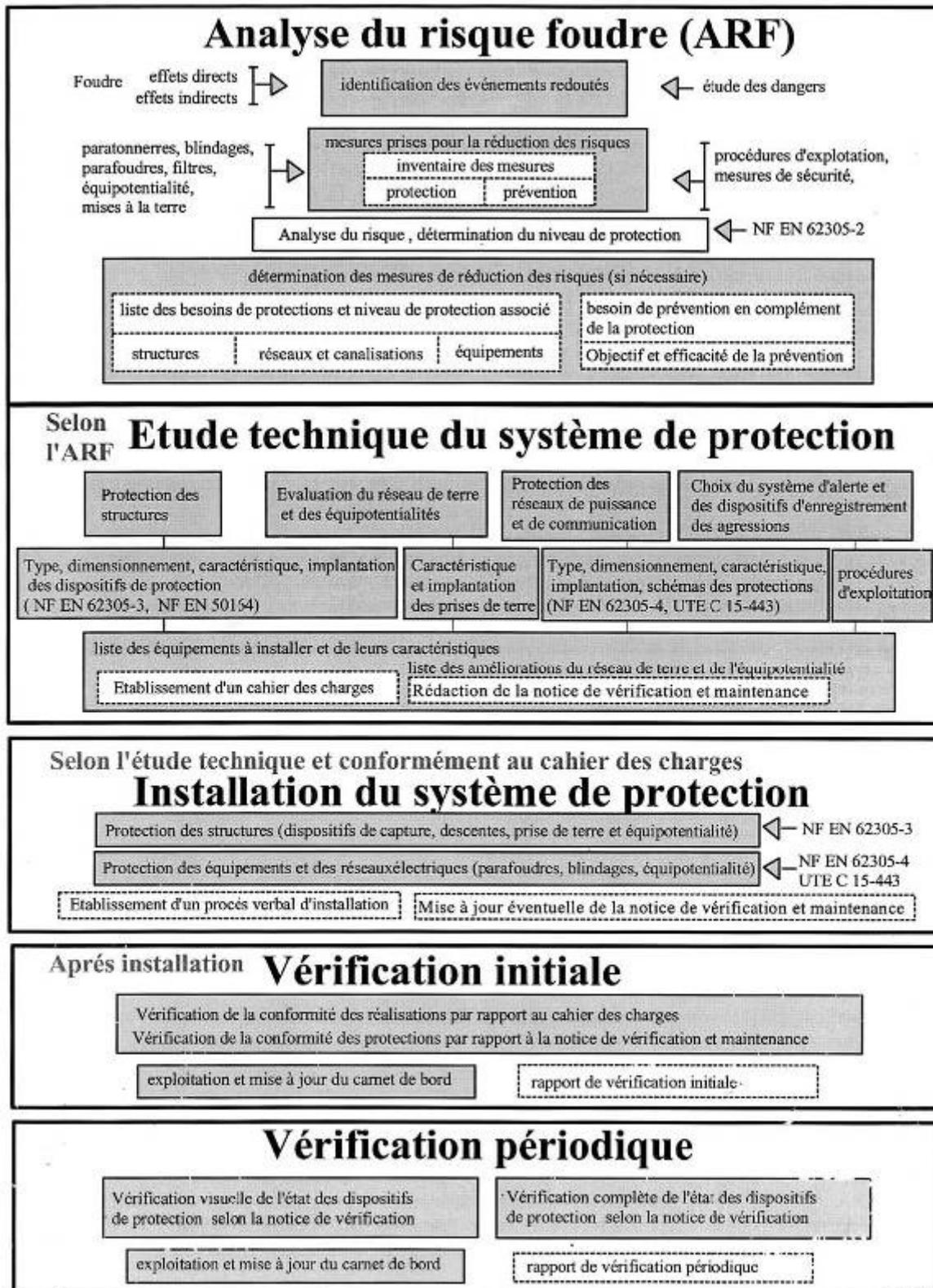
^a t en cas de problème de performance, de point chaud ou d'inflammation
^b t' seulement pour les feuilles métalliques s'il n'est pas nécessaire de protéger contre les problèmes de perforation, de point chaud ou d'inflammation

Tableau 6
Matériau, configuration et section minimale des conducteurs de capture,
des tiges et des conducteurs de descente

Matériau	Configuration	Section mini (mm ²)	Commentaires
Cuivre	Plaque pleine	50 (8)	Épaisseur mini 2 mm
	Rond plein (7)	50 (8)	Ø 8 mm
	Torsadé	50 (8)	Ø mini d'une torsade 1,7 mm
	Rond plein (3-4)	200 (8)	Ø 16 mm
Cuivre étamé (1)	Plaque pleine	50 (8)	Épaisseur mini 2 mm
	Rond plein (7)	50 (8)	Ø 8 mm
	Torsadé	50 (8)	Ø mini d'une torsade 1,7 mm
Aluminium	Plaque pleine	70	Épaisseur mini 2 mm
	Rond plein	50 (8)	Ø 8 mm
	Torsadé	50 (8)	Ø mini d'une torsade 1,7 mm
Alliage d'aluminium	Plaque pleine	50 (8)	Épaisseur mini 2,5 mm
	Rond plein (7)	50	Ø 8 mm
	Torsadé	50 (8)	Ø mini d'une torsade 1,7 mm
	Rond plein (3-4)	200 (8)	Ø 16 mm
Acier galvanisé à chaud (2)	Plaque pleine	50 (8)	Épaisseur mini 2,5 mm
	Rond plein (9)	50	Ø 8 mm
	Torsadé	50 (8)	Ø mini d'une torsade 1,7 mm
	Rond plein (3-4-9)	200 (8)	Ø 16 mm
Acier inoxydable (5)	Plaque pleine	50 (8)	Épaisseur mini 2 mm
	Rond plein (6)	50	Ø 8 mm
	Torsadé	70 (8)	Ø mini d'une torsade 1,7 mm
	Rond plein (3-4)	200 (8)	Ø 16 mm

- 1) Galvanisé à chaud ou épaisseur galvanique ou d'électrolyte de 1 µm.
- 2) Il convient que le revêtement soit doux, continu et sans flus d'étain avec une épaisseur minimale de 50 µm.
- 3) Applicable seulement aux tiges. Pour les applications soumises à des contraintes mécaniques non critiques telles que le vent, un Ø de 10 mm, une tige de longueur maxi de 1 m et une fixation complémentaire peuvent être mise en œuvre.
- 4) Applicable seulement aux électrodes de terre guidées.
- 5) Chrome ≥ 16 %, nickel ≥ 8 %, carbone ≤ 0,07 %.
- 6) Pour l'acier inox enfoui dans du béton et/ou en contact direct avec des matériaux inflammables, il convient d'augmenter les dimensions à 78 mm² (Ø 10 mm) pour les ronds pleins et à 75 mm² (épaisseur minimale de 3 mm) pour les plaques pleines.
- 7) 50 mm² (Ø 8 mm) peut être réduit à 28 mm² (Ø 6 mm) dans certains cas om les contraintes mécaniques ne sont pas essentielles. Il convient alors de prendre en compte la réduction des fixations.
- 8) Si les aspects thermiques et mécaniques sont importants, ces dimensions peuvent être augmentées jusqu'à 60 mm² pour une plaque pleine et 78 mm² pour un rond plein.
- 9) La section minimale pour éviter la fusion est de 16 mm² (cuivre), 25 mm² (aluminium, 50 mm² (acier) et 50 mm² (acier inox) pour une énergie spécifique de 10 000 Kj/Ω. Pour des informations complémentaires.
- 10) Epaisseur, largeur et Ø sont définis à ± 10 %.

Annexe 8 : Extrait de la circulaire du 24 Avril 2008



Démarche globale de protection contre la foudre



Annexe 5- 12 : Etude Bruit, Etat actuel et Modélisation de l'état futur (ARCADIS)

SITA SUD

Pôle de Recyclage et d'Élimination des déchets non dangereux de La Roseraie

Commune de Bellegarde - 30

Etude technique

Etude bruit

Etat actuel et modélisation de l'état futur

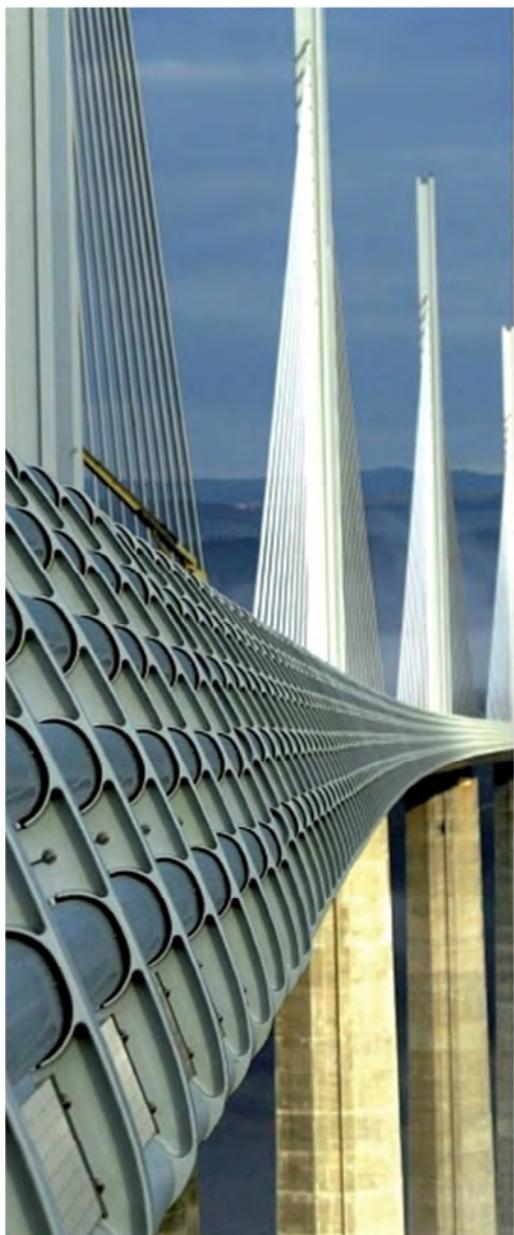


Table des Matières

1	Introduction.....	4
1.1	Contexte	4
1.2	Rappel de la réglementation.....	6
2	Etat actuel – Présentation des mesures 2007 et 2010.....	8
2.1	Méthodologie des mesures réalisées en 2007 et 2010	8
2.2	Mesures et résultats sur les points pertinents pour le projet.....	10
2.2.1	Points fixes de longue durée	10
2.2.2	Les prélèvements	15
2.3	Conclusion sur l'état sonore initial	16
3	Evaluation de l'état futur	17
3.1	Hypothèses considérées	17
3.2	Résultats	18
4	Conclusion	21

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des résultats sur les points fixes.	15
Tableau 2 : Synthèse des résultats sur les points mobiles (2007 et 2010).	16

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du projet – Echelle graphique	5
Figure 2: Localisation des points de mesures de bruit (Hors échelle)	9

1 Introduction

1.1 Contexte

La société SITA SUD projette la création d'un Pôle de recyclage et d'élimination des déchets non dangereux sur le site de La Roseraie à Bellegarde.

Le projet sera implanté sur des terrains voisins des installations de traitement de déchets existantes exploitées par les sociétés SITA FD et TERRALYS.

Les alentours du site sont essentiellement à vocations agricole et naturelle. Ce contexte rural est toutefois marqué par la présence d'activités industrielles (carrière, Ecopôle dédié aux déchets SITA FD, usine de compostage de boues TERRALYS) et de nombreuses infrastructures (autoroute, route départementale RD38, canal d'irrigation des Costières, station de pompage, motocross, autocross, ligne électrique à haute tension...).

Le projet porté par SITA SUD sera soumis à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

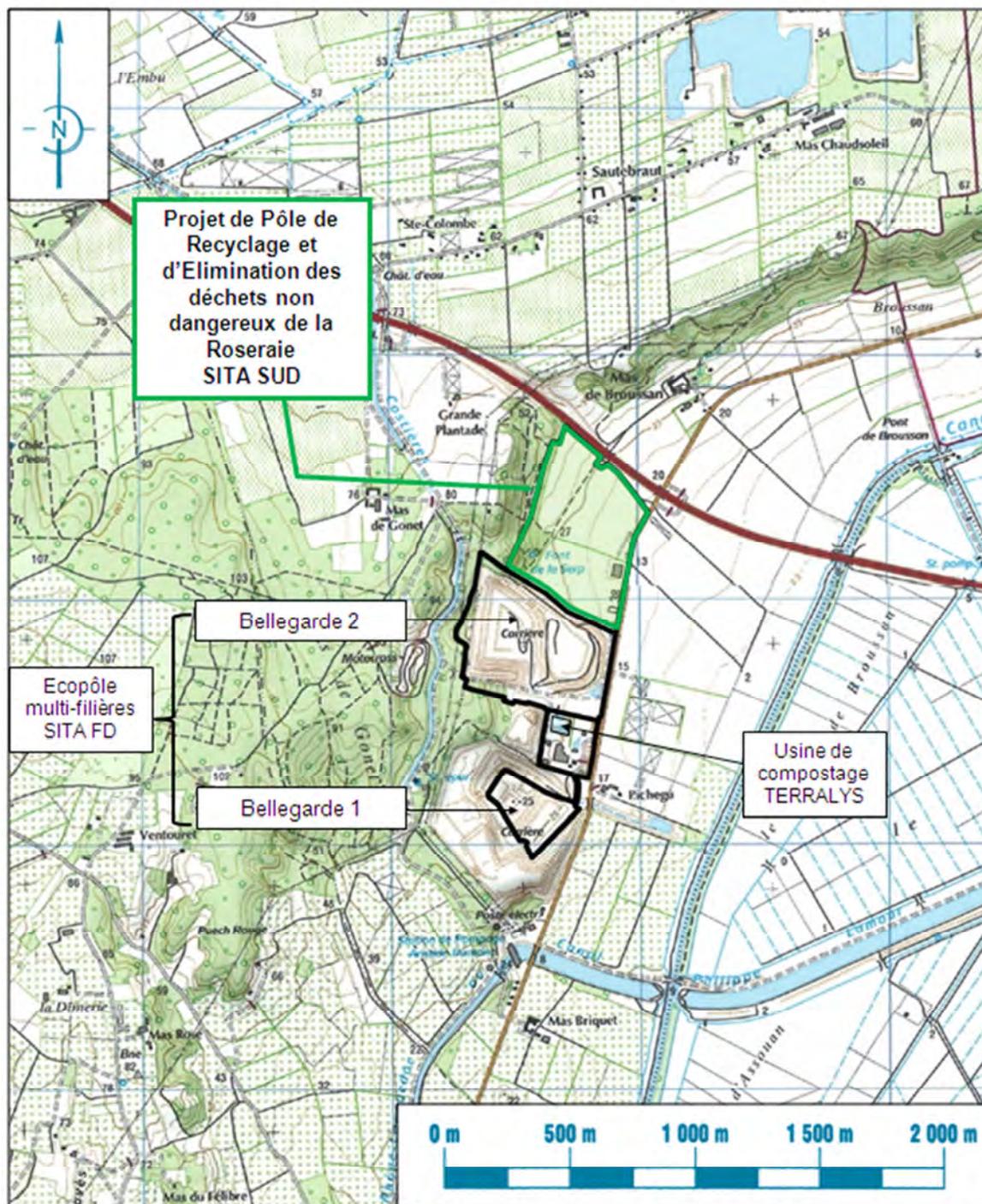
Des mesures acoustiques « in situ » ont été réalisées en octobre 2007 et en juillet 2010 pour le compte de SITA FD afin de caractériser l'état acoustique :

- en limite de propriété de son site actuel (mesures 2010) et en limite de propriété du projet d'extension que SITA FD avait en 2007 sur les mêmes terrains de la Roseraie (mesures 2007),
- en zones à émergence réglementée,
- ainsi que le long des axes routiers.

L'état initial est réalisé à partir des mesures pertinentes pour le présent projet SITA SUD extraites de ces deux campagnes de mesure.

Les niveaux acoustiques de l'état actuel établis sur la base des mesures 2007 et 2010 sont présentés en première partie de ce rapport (chapitre 2).

Par ailleurs, une évaluation des niveaux acoustiques futurs, atteints lorsque le site sera en exploitation a été réalisé afin de connaître l'impact du projet. Celle-ci est présentée en deuxième partie de ce rapport (chapitre 3).



Carte IGN Série Bleu N° 2942 O et 2943 O

Figure 1 : Localisation du projet – Echelle graphique

1.2 Rappel de la réglementation

Le texte applicable aux ICPE soumises à autorisation est l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par des installations classées pour la protection de l'environnement. Il est partiellement repris ci-dessous.

Article 1^{er} : « Le présent arrêté fixe les dispositions relatives aux émissions sonores des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, à l'exclusion :

- des élevages de veaux de boucherie et/ou de bovins, des élevages de vaches laitières et/ou mixtes et des porcheries de plus de 450 porcs visés par les arrêtés du 29 février 1992, ainsi que les élevages de volailles et/ou de gibiers à plumes visés par l'arrêté du 13 juin 1994 ;
- de l'industrie papetière visée par l'arrêté du 6 janvier 1994.

« Ces dispositions sont applicables aux installations nouvelles dont l'arrêté d'autorisation interviendra postérieurement au 1er juillet 1997, ainsi qu'aux installations existantes faisant l'objet d'une modification autorisée postérieurement à cette date ».

« Lorsque plusieurs installations classées sont situées au sein d'un même établissement, les dispositions du présent arrêté sont applicables au bruit global émis par l'ensemble des activités exercées à l'intérieur de l'établissement, y compris le bruit émis par les véhicules et engins de chantier non homologués, matériel de manutention, sirènes, avertisseurs, HP, sauf si leur emploi est exceptionnel et réservé à la prévention ou au signalement d'incidents graves ou d'accidents » (article 4, 1^{er} alinéa).

Article 3 : « L'installation est construite, équipée et exploitée de façon que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits transmis par voie aérienne ou soléenne susceptible de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une nuisance pour celui-ci. »

Extrait Article 2 : Zones à émergence réglementée (ZER)

« Les zones à émergence réglementée sont :

- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers, existant à la date de l'arrêté d'autorisation de l'installation et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin, terrasse),
- les zones constructibles définies par des documents d'urbanisme opposables aux tiers et publiés à la date de l'arrêté d'autorisation,
- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers qui ont été implantés après la date de l'arrêté d'autorisation dans les plus proches (cour, jardin, terrasse), à l'exclusion de celle des immeubles implantés dans les zones destinées à recevoir des activités artisanales ou industrielles ».

bExtrait Article 3 : « Les émissions sonores de l'installation classée ne doivent pas engendrer une émergence supérieure aux valeurs admissibles fixées dans le tableau ci-après, dans les zones où celle-ci est réglementée » :

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée (incluant le bruit de l'établissement)	Émergence admissible pour la période allant de 7h à 22h, sauf dimanches et jours fériés	Émergence admissible pour la période allant de 22h à 7h, ainsi que les dimanches et jours fériés
Supérieur à 35 dB(A) et inférieur ou égal à 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
Supérieur à 45 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

« L'arrêté préfectoral d'autorisation fixe, pour chacune des périodes de la journée (diurne et nocturne), les niveaux de bruit à ne pas dépasser en limite de propriété de l'établissement, déterminés de manière à assurer le respect des valeurs d'émergence admissibles. Les valeurs fixées par l'arrêté d'autorisation ne peuvent excéder 70 dB(A) pour la période de jour et 60 dB(A) pour la période de nuit, sauf si le bruit résiduel pour la période considérée est supérieur à cette limite.

Dans le cas où le bruit particulier de l'établissement est à tonalité marquée au sens du point 1.9 de l'annexe du présent arrêté, de manière établie ou cyclique, sa durée d'apparition ne peut excéder 30% de la durée de fonctionnement de l'établissement dans chacune des périodes diurnes ou nocturnes définies dans le tableau ci-dessus.

Si l'arrêté d'autorisation concerne la modification d'un établissement existant au 1er juillet 1997, dont la limite de propriété est distante de moins de 200 mètres des zones à émergence réglementée, il peut prévoir que les valeurs admissibles d'émergence ne s'appliquent dans les zones considérées, qu'au-delà d'une distance donnée de la limite de propriété. Cette distance ne peut excéder 200 mètres. Toutefois, les niveaux admissibles en limite de propriété de l'établissement, fixés par l'arrêté autorisant la modification, ne peuvent être supérieurs aux niveaux admissibles prévus dans l'arrêté d'autorisation initiale, sauf si le niveau de bruit résiduel a été modifié de manière notable. »

Lexique :

LAeq : Pour caractériser un bruit variable pendant un temps T , comme le trafic routier, on utilise le niveau énergétique équivalent (LAeq) qui exprime la moyenne des niveaux de bruit pendant un temps donné.

dB(A) : Le décibel (dB) est l'unité de mesures des bruits dans l'environnement. L'oreille humaine ne perçoit pas toutes les fréquences. Pour obtenir un résultat qui reflète mieux la manière dont l'oreille humaine entendrait et interpréterait le son, on applique aux sons la pondération « A » et donnent une mesure en dB (A).

2 Etat actuel – Présentation des mesures 2007 et 2010¹

2.1 Méthodologie des mesures réalisées en 2007 et 2010

La méthodologie des mesures est conforme à celle décrite dans les normes NFS 31.010 relative aux mesures de bruit dans l'environnement et NFS 31.085 relative au mesurage du bruit routier.

La caractérisation sonore a été établie au moyen de campagnes de mesures "in situ" comprenant la réalisation de 5 mesures d'au moins 24 heures (point fixe, PF), avec enregistrement des niveaux de bruit en continu (temps d'intégration : 1 s).

Conjointement à ces mesures de longue durée, une série de 5 prélèvements (Point mobile, PM) a été réalisée afin de mieux caractériser l'ambiance sonore autour du site. Pendant toutes les mesures, un repérage de tous les événements bruit (avions, voitures etc...) a été effectué afin de caractériser tous les types de nuisances.

5 points de mesures sont situés sur les limites de propriété du site de la Roseraie, et 5 points sont situés en zones à émergence réglementée. La localisation des points de mesure (fixes et mobiles) est présentée sur la figure suivante.

Ces mesures se sont déroulées du mardi 25 septembre 2007 au mercredi 26 septembre 2007, et du mercredi 21 juillet au vendredi 23 juillet 2010.

Durant la campagne de 2007, le ciel était peu nuageux, avec quelques rafales de vent mais une moyenne < 1 m/s ; et les températures comprises entre 15 et 24°C. Pour celle de 2010, le ciel était dégagé, avec quelques rares rafales de vent mais une moyenne <1 m/s ; et les températures comprises entre 22 et 32 °C.

Ces conditions météorologiques restent dans l'ensemble conformes à la norme en vigueur.

L'influence météorologique n'entre en ligne de compte, conformément à la réglementation, que si le point de mesure se situe à plus de 100 mètres de la source de bruit mesurée.

Matériels utilisés :

- Sonomètre Brüel et Kjær de classe 1, type 2260 Bât. n° 2234489.
- Sonomètre Brüel et Kjær de classe 1, type 2238 Env. n° 2324386.
- Sonomètre Brüel et Kjær de classe 1, type 2260 Env. n° 2541022.
- Sonomètre Brüel et Kjær de classe 1, type 2250 Env. n° 2648979.
- Sonomètre 01dB-Metravib de classe 1, type SOLO n° 1 1637.

Étalon pour vérification des Chaînes de mesurage marque Brüel et Kjær , type 4231 n° 2313829 constat de vérification constructeur n° 105 978883 du 29/08/2007.

¹ Mesures réalisées pour le compte de SITA FD – NB : Seules les mesures pertinentes pour le projet SITA SUD sont présentées ci-après.

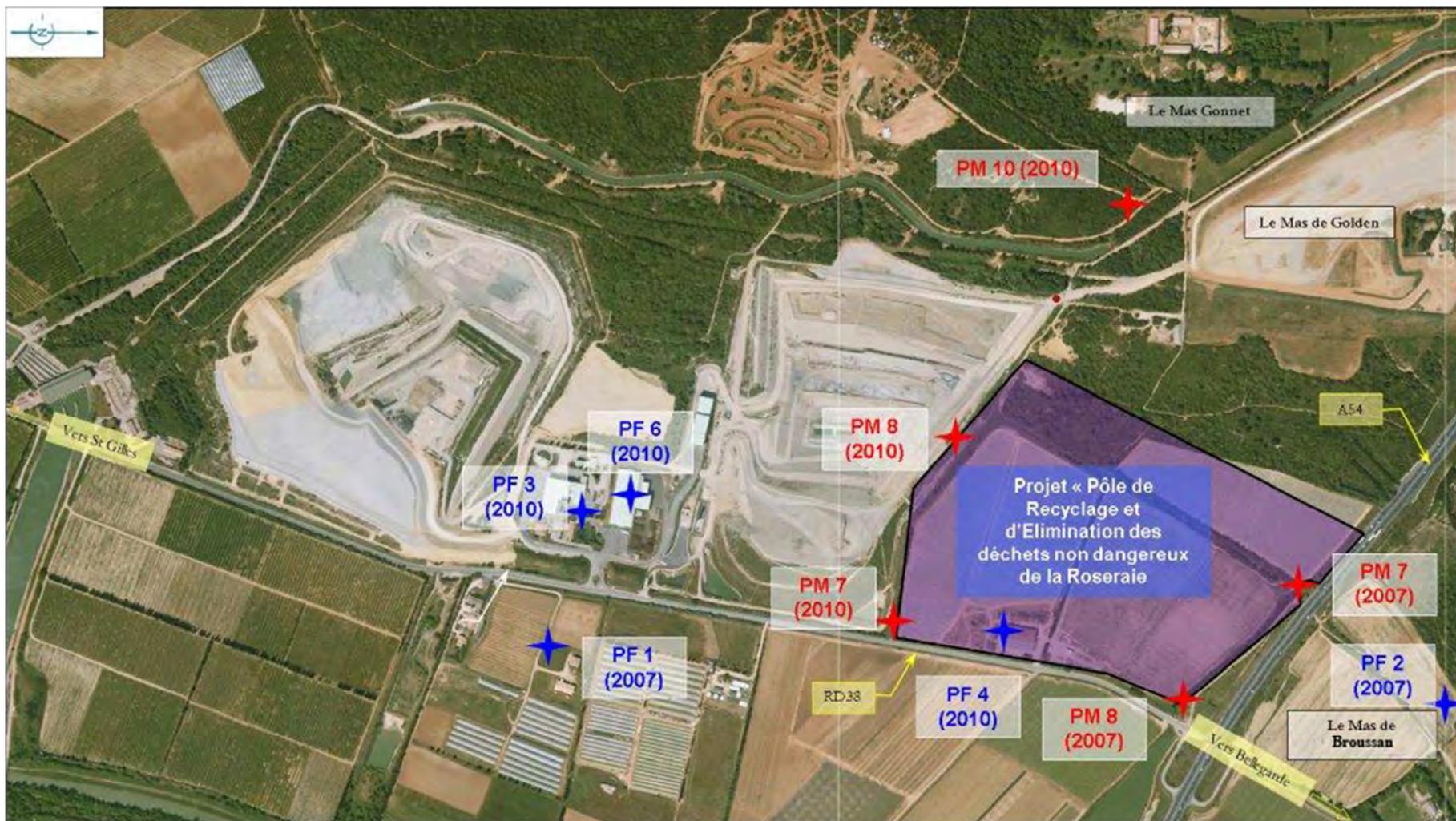


Figure 2: Localisation des points de mesures de bruit (Hors échelle) – Rappel : PF = Point Fixe : PM = Point Mobile

2.2 Mesures et résultats sur les points pertinents pour le projet

2.2.1 Points fixes de longue durée

Le Point fixe 1 :

Installé chez Mr Ribéra au bord de la R.D.38 au lieu-dit Piechegut.

Le récepteur est placé à 2 m. de hauteur en champ libre à moins de 100 mètres du bord de la chaussée de la R.D.38.

La mesure a duré 24 heures. Début de la mesure le 25/09/2007 vers 15h30.

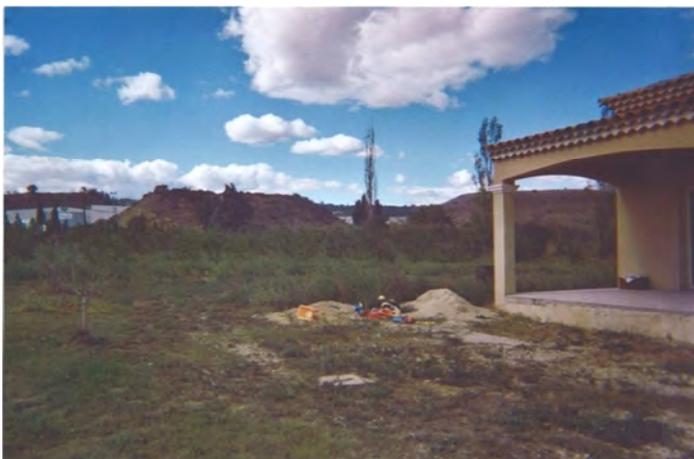
Au cours de la mesure, le ciel est dégagé, la chaussée est sèche, le vent avec rafales supérieur à 3 m/s, la température est comprise entre 15 et 24°C.

Cette mesure est réalisée avec un sonomètre, de classe 1, Brüel et Kjær type 2260 Bât. n° 2234489 constat de vérification constructeur n° 86424661 du 30/08/2006

La chaîne de mesurage est vérifiée avec un calibreur Brüel & Kjær type 4231 n° 2313829 constat de vérification constructeur n° 105978883 du 29/08/2007.

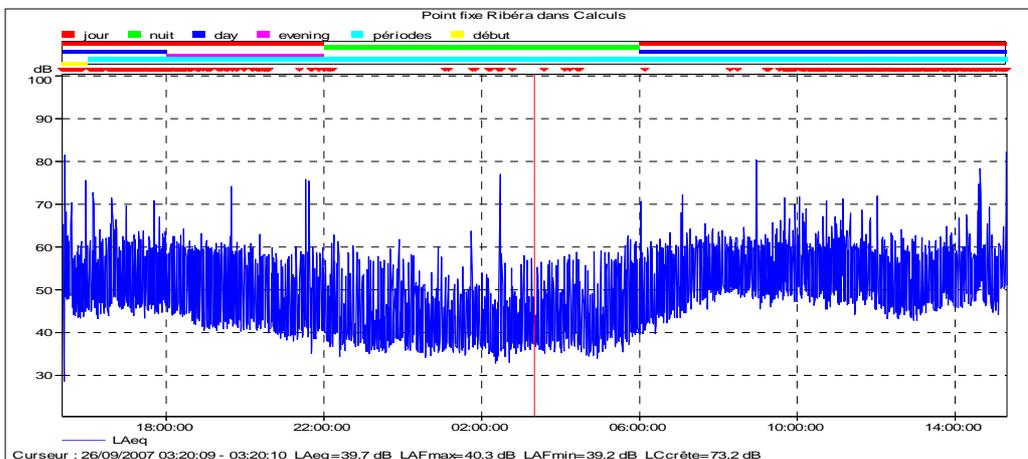
La mesure est effectuée suivant la norme NF S 31-085.

La durée élémentaire d'intégration de la mesure est la seconde.



LAeq dB(A) 6h/22h : 54.5

Résultats : LAeq dB(A) 22h/6h : 44.9



Le Point fixe 2 :

Installé au bord de l'A.54 Lieu-dit : Le Mas Broussan.

Le récepteur est placé à 2 m. de hauteur en champ libre à environ 300 mètres de l'autoroute.

La mesure a duré 24 heures. Début de la mesure le 29/09/2007 vers 16h00.

Au cours de la mesure, le ciel est dégagé, la chaussée est sèche, le vent avec quelques rafales supérieur à 3 m/s, la température est comprise entre 15 et 24°C.

Cette mesure est réalisée avec un sonomètre, de classe 1,
Brüel & Kjær

type 2238 Env. n° 2324386 constat de vérification constructeur du 26/09/2006.

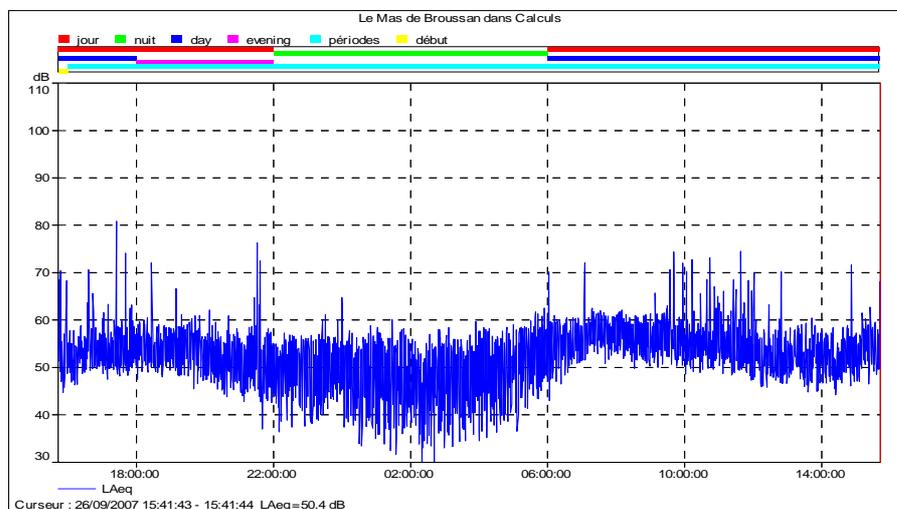
La chaîne de mesure est vérifiée avec un calibreur Brüel & Kjær type 4231
n° 2313829 constat de vérification constructeur n° 105978883 du 29/08/2007.

La mesure est effectuée suivant la norme NF S 31-
085.

La durée élémentaire d'intégration de la mesure est
la seconde.



Résultats : LAeq dB(A) 6h/22h : 55.1
LAeq dB(A) 22h/6h : 50.4



Le Point fixe 3 :

Le point fixe a été installé en façade des bureaux de SITA FD, du côté de TERRALYS.

Le récepteur est placé au rez-de-chaussée, à deux mètres de la façade.

La mesure a duré 45 heures. Début de la mesure le 21/07/2010 vers 10h30.

Au cours de la mesure, le ciel est dégagé, la chaussée est sèche, le vent avec rafales supérieures à 3 m/s, la température est comprise entre 22 et 32°C.

Cette mesure est réalisée avec un sonomètre, de classe 1, Brüel et Kjaer type 2260 Env. n°2324386 constat de vérification constructeur n°140336441-2324386 du 13/08/2008.

La chaîne de mesure est vérifiée avec un calibre Brüel et Kjaer type 4231 n°2313829 constat de vérification constructeur n° 1-183503417-2313829 du 11/08/2009.

La mesure est effectuée suivant les normes NF S 31-010 et NF S 31-085.

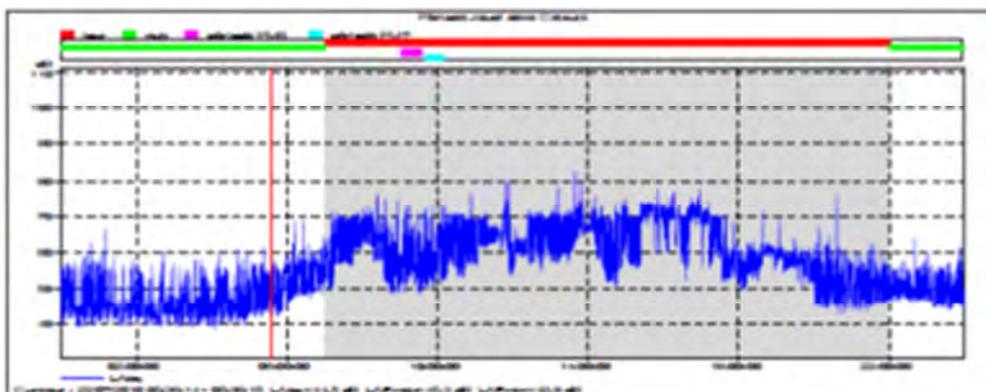
La durée élémentaire d'intégration de la mesure est la seconde.



Résultats : LAeq dB(A) 6h/22h : 64.0

LAeq dB(A) 22h/6h : 48.0

Observations : Perception de l'activité de SITA FD (accès K1 et K2), de TERRALYS (accès K2) et de la RD 38.



Le Point fixe 4 :

Le point a été installé en limite de propriété de la Roseraie Meilland-Richardier, du côté du site de Bellegarde 2 de SITA FD.

Le récepteur est placé à 3m de hauteur en champ libre.

La mesure a duré 41 heures. Début de la mesure le 21/07/2010 vers 14h30.

Au cours de la mesure, le ciel est dégagé, la chaussée est sèche, le vent avec rafales supérieures à 3 m/s, la température est comprise entre 22 et 32°C.

Cette mesure est réalisée avec un sonomètre, de classe 1, Brüel et Kjaer type 2238 n°2541022 constat de vérification constructeur n°1-152719185-2541022 du 17/11/2008.

La chaîne de mesurage est vérifiée avec un calibreur Brüel et Kjaer type 4231 n°2313829 constat de vérification constructeur n° 1-183503417-2313829 du 11/08/2009.

La mesure est effectuée suivant les normes NF S 31-010 et NF S 31-085.

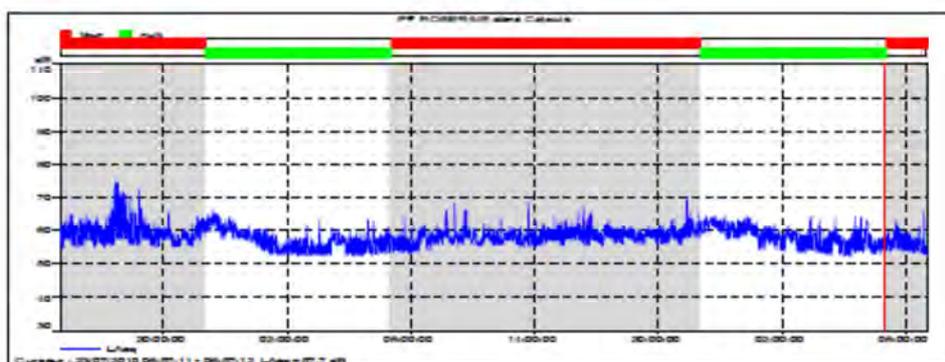
La durée élémentaire d'intégration de la mesure est la seconde.



Résultats : **LAeq dB(A) 6h/22h : 58.0**

LAeq dB(A) 22h/6h : 58.5

Observations : Aucune perception de l'activité de SITA FD. Groupe de climatisation et chambres froides en bruit de fond. Les bruits de l'A54 et de la RD 38 sont masqués par ces groupes.



Le Point fixe 6 :

Le point a été installé chez TERRALYS.

Le récepteur est placé au premier étage en façade de la salle de repos.

La mesure a duré 45 heures. Début de la mesure le 21/07/2010 vers 11h00.

Au cours de la mesure, le ciel est dégagé, la chaussée est sèche, le vent avec rafales supérieures à 3 m/s, la température est comprise entre 22 et 32°C.

Cette mesure est réalisée avec un sonomètre, de classe 1, Brüel et Kjaer type 2250 n°2640519 constat de vérification constructeur n°1-152719185-2541021 du 17/11/2009.

La chaîne de mesurage est vérifiée avec un calibreur Brüel et Kjaer type 4231 n°2313829 constat de vérification constructeur n° 1-183503417-2313829 du 11/08/2009.

La mesure est effectuée suivant les normes NF S 31-010 et NF S 31-085.

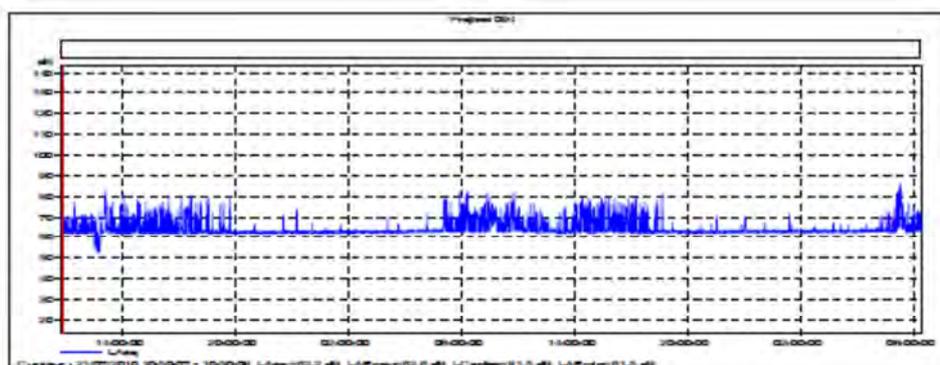
La durée élémentaire d'intégration de la mesure est la seconde.



Résultats : LAeq dB(A) 6h/22h : 64.0

Laeq dB(A) 22h/6h : 63.0

Observations : Perception en bruit de fond de tours filtrantes (3) ainsi que du passage à faible vitesse (20km/h) de dumpers et de tracteurs au-dessus du point fixe.



Le tableau suivant résume les résultats concernant les points fixes.

	LAeq en dB(A) 6h à 22h (Jour)	LAeq en dB(A) 22h à 6h (nuit)	écart entre le jour et la nuit *
PF1 (2007)	55.0	45.0	10
PF2 (2007)	55.0	50.0	5
PF3 (2010)	64.0	48.0	16
PF4 (2010)	58.0	58.5	-0.5
PF6 (2010)	64.0	63.0	1

*Différence absolue entre le niveau jour et le niveau nuit. Il y a gêne nocturne si l'écart est inférieur à 5dB(A).

Tableau 1 : Synthèse des résultats sur les points fixes.

2.2.2 Les prélèvements

Les points mobiles sont recalés sur la période 6h-22h dans le respect de la réglementation, si ils sont proches du point fixe et si il enregistre les mêmes sources de bruit. Dans ce cas-là, le LAeq (6-22h) du point mobile est calculé ainsi (pour un PM d'une durée de T) :

$$LAeq(6h-22h)PM = LAeq(6h-22h)PF - LAeq(T)PF + LAeq(T)PM$$

Point fixe correspondant	Point mobile	Date	Début période	LAeq PF Période	LAeq PF 6h-22h	LAeq Prélèv. Période	LAeq Prélèv. 6h-22h	Hauteur
PF2	PM 7 (2007)	25/09/07	13 :29	52.4	55.1	65.2	67.9	CL 2m
PF2	PM 8 (2007)	25/09/07	14 :02	51.5	55.1	68.1	71.7	CL 2m
PF4	PM 7 (2010)	21/07/10	14 :44	58.2	58	68.2	68	CL 2m
PF4	PM8 (2010)	21/07/10	15 :19	57.1	58	55.3	56.2	CL 2m
	PM 10 (2010)	22/07/10	17 :38			74.2		CL 2m

Les prélèvements avec les éventuels calculs d'émergence (2007 et 2010) sont récapitulés dans le tableau suivant.

	niveau	niveau ambiant	niveau résiduel	émergence mesurée	
Pr 7 (2007)	LAeq	67.9	68		Faible perception de l'activité de SITA FD. Bruit ambiant composé de la circulation sur l'A54 et un peu moins de la RD 38.
	L50*	63.9			
Pr 8 (2007)	LAeq	70.3	68.9		Faible perception de l'activité de SITA FD. Bruit ambiant composé de la circulation sur l'A54 et la RD 38.
	L50	66.1			
Pr 7 (2010)	LAeq	68.2			Aucune perception de l'activité de SITA FD. Bruit ambiant composé de la circulation sur l'A54 et la RD 38.
	L50	57.9			
Pr 8 (2010)	LAeq	55.3			Faible perception de l'activité de SITA FD. Bruit ambiant composé de la circulation sur l'A54 et la RD 38.
	L50	56.9			
Pr10 (2010)	LAeq	74.5			Bruit ambiant composé du bruit des cigales toute la journée. Tous les autres bruits sont couverts par cette forte source sonore.
	L50	74.9			

*L50 : Niveau dépassé pendant 50% du temps de la mesure.

Tableau 2 : Synthèse des résultats sur les points mobiles (2007 et 2010).

Dans le cas où la différence LAeq – L50 est ≥ 5 dB, l'indicateur d'émergence utilisé, est la différence entre les indices fractiles L50 calculés sur le bruit ambiant et le bruit résiduel.

2.3 Conclusion sur l'état sonore initial

Les mesures effectuées dans les ZER (Zone à Emergence Réglementée) correspondent aux points fixes : PF1, PF2, PF3, PF6 et PM10.

Aucune émergence n'a été détectée. Le niveau ambiant est marqué par les infrastructures routières. Excepté, le PM10 à 74 dB qui est dû au bruit résiduel (cigales) et non pas à l'activité.

Les mesures en limite de site (PM 7 et 8 de 2007, et PM 7 et 8 de 2010) ont permis de caractériser des niveaux ambiants sur la période 6h-22h. Tous ces niveaux sont inférieurs au seuil réglementaire de 70 dB sur cette période. Aucune tonalité marquée n'a été détectée.

3 Evaluation de l'état futur

3.1 Hypothèses considérées

L'état futur a fait l'objet d'une simulation sur ordinateur en 3D avec le logiciel MITHRA prenant en compte la topographie du site, le bâti, les caractéristiques du trafic routier et des engins de chantier, les effets de sol, la météorologie et l'exploitation du projet de recyclage et d'élimination des déchets non dangereux.

Les calculs sont présentés ainsi :

- Une carte à étiquette avec les niveaux de bruit avec et sans activité (bruit ambiant - infrastructures routières) pour les périodes jour et nuit.
- Une carte d'isophones (2 mètres du sol) avec l'activité et les infrastructures routières pour les périodes jour et nuit.
- Une carte d'isophones (2 mètres du sol) avec l'activité seule.

Dans le cadre de l'exploitation du site de la Roseraie, les installations ou équipements pouvant émettre un niveau sonore appréciable seront :

- 2 pelles mécaniques
- 2 tombereaux articulés type Volvo A30
- 2 chargeurs
- 1 engin manuscopique
- 4 semis TP
- 1 tracteur ampliroll
- 1 tracteur FMA
- 2 torchères BG2000 et BG 1000
- 2 unités de traitement Evalix
- Le trafic PL sur le site

Les puissances acoustiques de ces engins et équipements varient entre 83.2 et 113.9 dB(A).

Les autres sources (2010) autour de la zone d'étude sont les circulations routières sur la RD 38 et sur l'A 54. Les trafics actuels sont ramenés à une moyenne horaire pour les calculs de bruit, soit :

- A 54 : 3060 véh/heure dont 20% de poids lourds, pour une vitesse de 130 km/h de 7h à 22h
772 véh/heure dont 34% de poids lourds, pour une vitesse de 130 km/h de 22h à 7h.
- RD 38 : 300 véh/heure dont 13% de poids lourds, pour une vitesse de 50 km/h de 7h à 22h
36 véh/heure dont 20% de poids lourds, pour une vitesse de 50 km/h de 22h à 7h.

La simulation a été réalisée en considérant la phase majorante, à savoir la fin de la phase 2 (terrassement de la partie sud en cours et stockage des déchets en partie nord, au-dessus du terrain naturel).

Dans le cas présent, le niveau actuel étant supérieur à 45 dB (A), l'émergence ne devra pas dépasser **5 dB (A)** en période diurne 7h-22h et **3 dB (A)** en période nocturne 22h-7h.

3.2 Résultats

En limite de propriété du pôle de recyclage et d'élimination des déchets non dangereux les niveaux de bruit sont bien inférieurs à 70 dB(A) en période diurne pour l'activité seule. Quoi qu'il en soit, le bruit résiduel masque le bruit de l'activité du site à cause du nombre important de circulations routières sur l'A54.

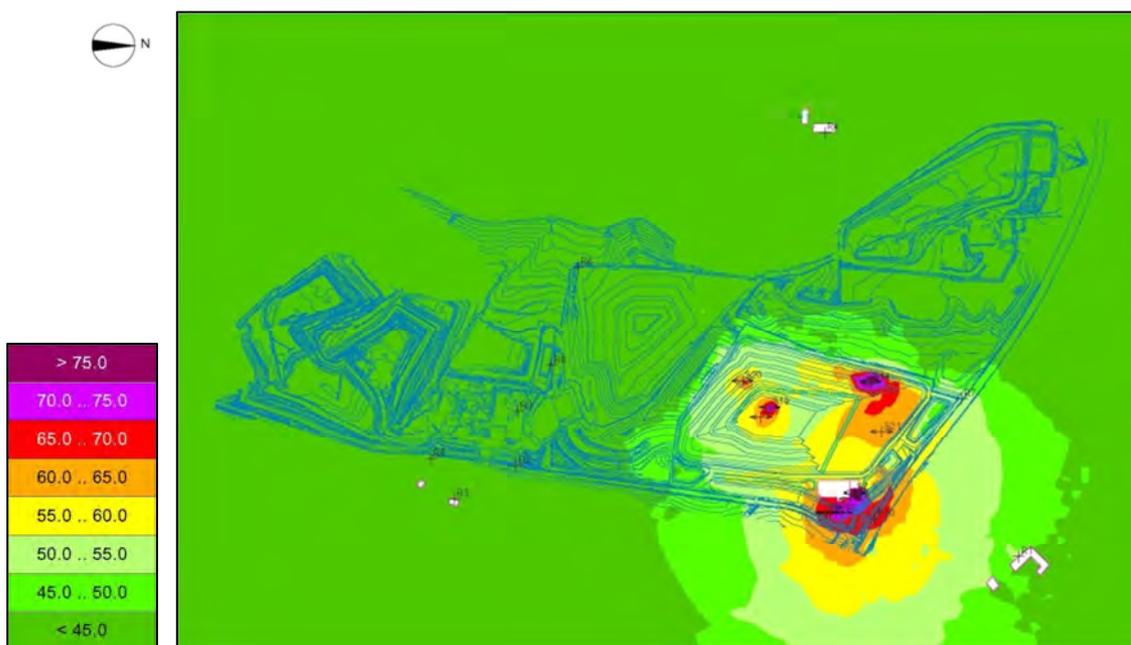
Pour la période nuit, les niveaux de bruit sont inférieurs à 60 dB(A) à l'Ouest et au Sud du site. Au Nord et à l'Est les niveaux de bruit dus aux circulations routières sur l'A54 et sur la RD 38 sont prédominants et masquent donc le bruit de l'activité également.

Les émergences ont été calculées au niveau des ZER autour du site, à savoir :

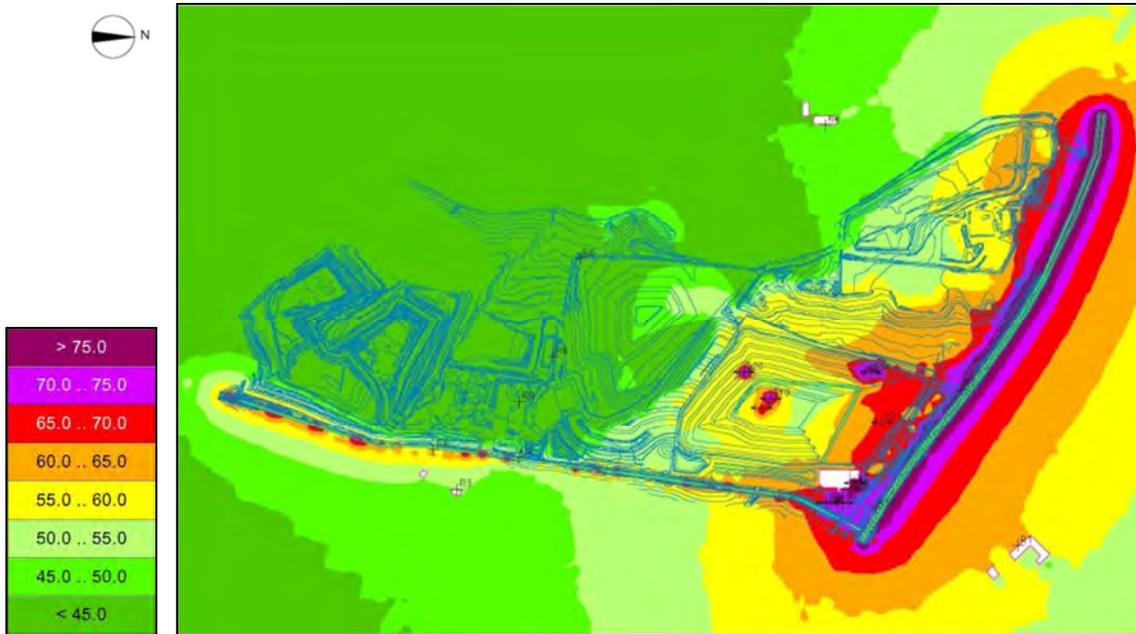
- Les habitations les plus proches,
- Les bureaux de Terralys,
- Les bureaux de SITA FD.

Ces émergences sont comprises entre 0 et 1 dB(A) pour la période jour, et sont donc largement inférieures à 5dB(A). Pour la période nuit, elles sont comprises entre 0 et 2 dB(A) et sont donc bien inférieures à 3 dB(A).

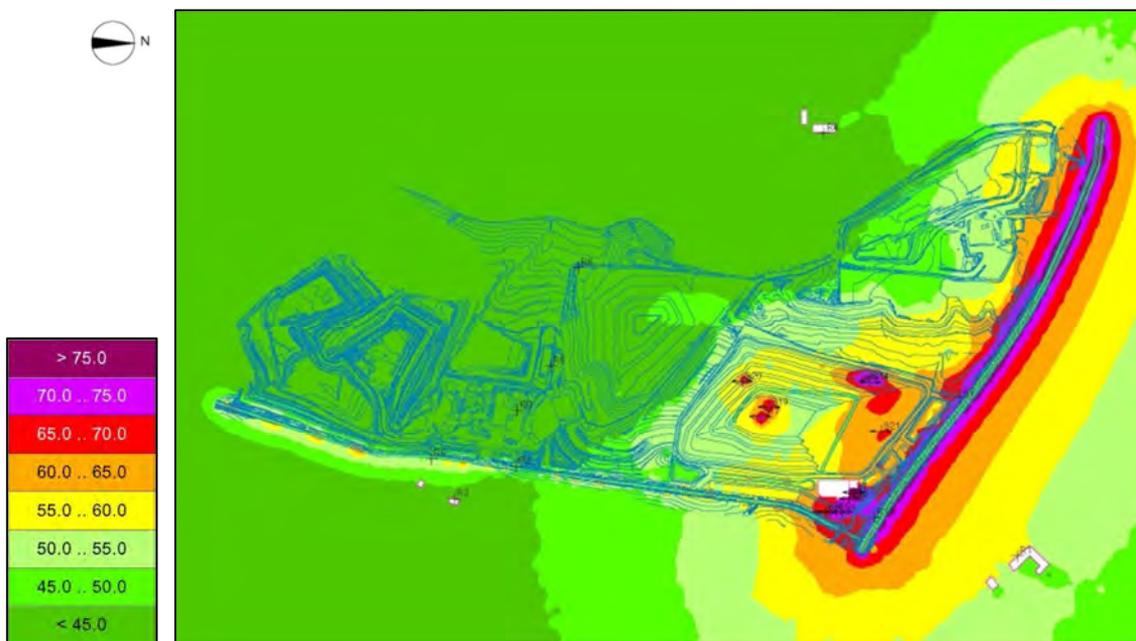
Cartes des résultats :



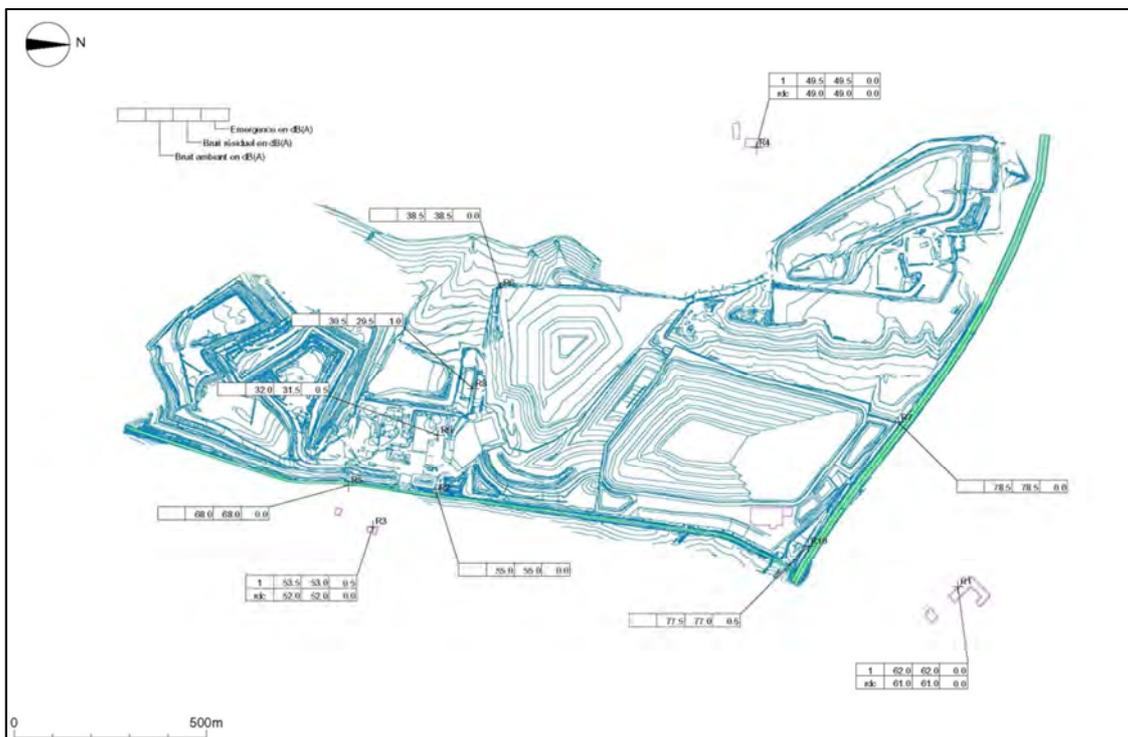
Niveaux de bruit pour l'activité seule en période diurne ou nocturne



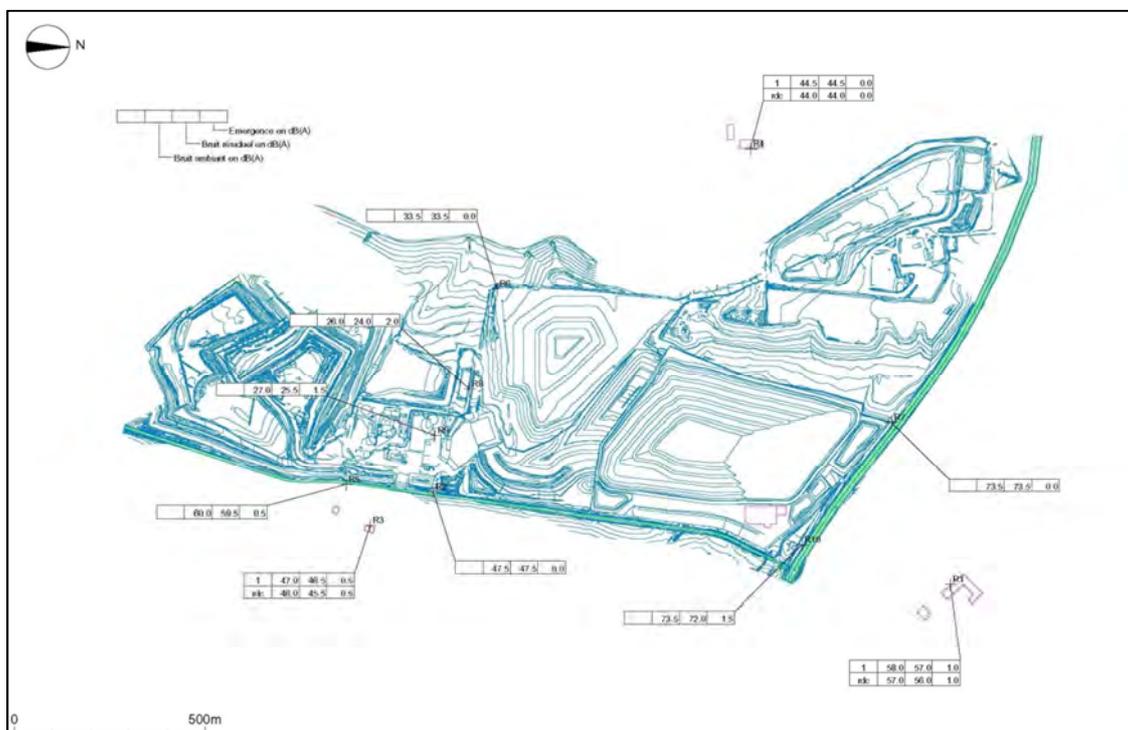
Niveaux de bruit pour l'activité avec les circulations routières en période diurne



Niveaux de bruit pour l'activité avec les circulations routières en période nocturne



Cartes à étiquettes présentant les émergences calculées pour la période diurne



Cartes à étiquettes présentant les émergences calculées pour la période nocturne

4 Conclusion

Les niveaux de bruit obtenus par la modélisation 3D sur MITHRA en utilisant le cas majorant (Phase 2 : terrassement au sud, et stockage au nord au-dessus du terrain naturel) respectent les seuils réglementaires donnés par l'arrêté du 23 janvier 1997.

En effet, les valeurs maximales autorisées en limite de propriété du pôle de recyclage et d'élimination des déchets non dangereux (70 dB(A) de 7h à 22h et 60 dB(A) de 22h à 7h) sont respectées en tenant compte du bruit résiduel.

De plus les émergences sont bien inférieures à 5 dB(A) de jour et à 3 dB(A) de nuit.

Enfin, aucune tonalité marquée n'est présente.

En utilisant le cas majorant pour le bruit, la création du pôle de recyclage et d'élimination des déchets non dangereux sera donc **conforme** à la réglementation sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.



Annexe 5-13 : Note d'équivalence de perméabilité – Fond et flanc de casier (ARCADIS)

SITA SUD

Pôle de Recyclage et d'Élimination des déchets non dangereux de La Roseraie

Commune de Bellegarde (30)

Etude technique

Note d'équivalence de perméabilité - Fond et Flanc de casier



Table des Matières

1	Introduction.....	5
2	Description du site.....	6
2.1	Rappel du contexte géologique du site.....	6
2.2	Rappel des perméabilités des formations.....	9
2.2.1	Mesure des perméabilités horizontales en forage	9
2.2.2	Essais de laboratoire (essais de perméabilité à l'oedomètre).....	13
2.3	Rappel du contexte hydrogéologique.....	14
2.3.1	Rappel concernant la piézométrie.....	14
2.3.2	Usage des eaux souterraines.....	17
2.4	Synthèse du contexte par rapport au projet.....	18
2.4.1	Concernant les épaisseurs et les perméabilités du sous-sol.....	18
2.4.2	Concernant l'hydrogéologie.....	18
3	La géométrie du projet.....	19
4	Réglementation et recommandations.....	21
4.1	Le contexte réglementaire	21
4.2	Les recommandations.....	22
5	Solution proposée	23
6	Calcul d'équivalence	25
6.1	Les équivalences de perméabilité verticale	25
6.2	Les phénomènes de dispersion.....	25
6.3	Conséquence en termes de temps de transfert	27
6.4	Synthèse sur la justification de l'équivalence	28
7	Modalités de mise en œuvre	29
7.1	Reconstitution de la couche de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s	29
7.2	Mise en œuvre du Géosynthétique Bentonitique (GSB).....	29
Annexe 1	: Coupes interprétatives	30

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des profondeurs des horizons rencontrés	8
Tableau 2 : Résultats des essais de perméabilité à l'œdomètre	13

Liste des figures

Figure 1 : Plan d'investigations des sondages (2007 et 2011) et localisation des coupes	7
Figure 2 : Suivi piézométrique du site entre 2003 et 2009 –piézomètres 1 -2 -3 -6-7 et 8	15
Figure 3 : Suivi piézométrique du site entre 2003 et 2009 –piézomètres 4 et 5	16
Figure 4 : Illustration des prescriptions de l'article 11 de l'arrêté de 1997 modifié	21

1 Introduction

Dans le cadre de la création d'un pôle de recyclage et d'élimination des déchets non dangereux sur le site de La Roseraie à Bellegarde, SITA Sud souhaite proposer une solution équivalente pour l'aménagement de la barrière d'étanchéité passive sur les fonds et flancs de l'ISDND.

L'arrêté ministériel du 09 septembre 1997 (modifié le 19 janvier 2006) relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux, stipule (art. 11) que :

« La barrière de sécurité passive est constituée du terrain naturel en l'état. Le fond de forme du site présente, de haut en bas, une perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre et inférieure à 1.10^{-6} m/s sur au moins 5 mètres. Les flancs sont constitués d'une couche minérale de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre. »

L'arrêté ministériel du 09 septembre 1997 (modifié le 19 janvier 2006) relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux, précise (art. 11) que :

« Lorsque la barrière géologique ne répond pas naturellement aux conditions précitées, elle peut être complétée artificiellement et renforcée par d'autres moyens présentant une protection équivalente. L'épaisseur de la barrière ainsi reconstituée ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour le fond de forme et à 0,5 mètre pour les flancs jusqu'à une hauteur de deux mètres par rapport au fond. En tout état de cause, l'étude montrant que le niveau de protection sur la totalité du fond et des flancs de la barrière reconstituée est équivalent aux exigences fixées au premier alinéa, figure dans le dossier de demande d'autorisation. »

Au regard des éléments de l'étude géologique et hydrogéologique réalisée dans le cadre de la qualification du site, il apparaît que la barrière de sécurité passive telle que mentionnée dans l'arrêté ministériel de 1997 modifié n'est pas intégralement présente. SITA Sud propose donc de mettre en œuvre une solution équivalente qui atteint un niveau de protection au moins équivalent à celui défini par la réglementation.

La présente note présente :

- Une synthèse du contexte géologique et hydrogéologique, ainsi que la vulnérabilité du site ;
- Une présentation de la géométrie du casier ;
- Un rappel du contexte réglementaire ;
- Le calcul d'équivalence de la solution proposée ;
- Les principes de mise en œuvre de la barrière de sécurité passive.

2 Description du site

Le contexte géologique et hydrogéologique présenté ci-après reprend les principaux éléments détaillés dans la qualification géologique et hydrogéologique (rapport ARCADIS n° 155-ETU-3041-A03-QUALIF-01A de novembre 2011) présentée dans son intégralité en Annexe 5-1 du cahier des annexes. Ce dossier de qualification a consisté à analyser les résultats d'une qualification réalisée en 2007 pour le compte de SITA FD dans le cadre d'un projet d'extension qu'elle envisageait sur la même zone que le projet actuel, ainsi qu'en la réalisation des reconnaissances complémentaires liées au nouveau projet porté par SITA Sud.

2.1 Rappel du contexte géologique du site

En 2007, dans le cadre du projet d'extension du site de Bellegarde 2 de SITA FD (sur le site du projet « La Roseraie » actuel), les investigations menées consistaient en :

- une cartographie de terrain ;
- 8 sondages carottés ;
- 13 sondages destructifs ;
- 65 essais d'eau (40 de type Lugeon et 25 de type Lefranc) pour l'estimation de la perméabilité des terrains rencontrés ;
- 12 essais de laboratoire pour estimation des caractéristiques granulométriques et des perméabilités des matériaux rencontrés.

Les investigations de 2011 complétant les précédentes consistaient en :

- 7 sondages destructifs ;
- 5 sondages carottés ;
- 45 essais d'eau à charge variable par injection pour l'estimation de la perméabilité des terrains rencontrés.

La localisation des investigations est précisée sur la Figure 1.

Le tableau ci-après présente les coupes lithologiques des sondages réalisés dans le cadre des reconnaissances de 2007 et 2011.



Figure 1 : Plan d'investigations des sondages (2007 et 2011) et localisation des coupes

Tableau 1 : Synthèse des profondeurs des horizons rencontrés

Année du sondage	Nom	Altitude du TN au droit de l'ouvrage (m NGF)	Sables et Argiles de l'Astien (m)	Sables et graves (m)	Profondeur des marnes (m)	Altitude du toit des marnes (m NGF)	Profondeur de l'ouvrage /TN
2007	SD20	16.7	de 0 à 22	de 22 à 30	nr	nr	30.0
2007	SD21	20.4	de 0 à 21.0	-	21.0	-0.6	22.5
2007	SD22	18.9	de 0 à 23.5	de 23.5 à 26.5	26.5	-7.6	35.0
2007	SD23	21.5	de 0 à 17.0	-	17.0	4.5	51.5
2007	SD24	22.7	de 0 à 8.2	-	8.2	14.5	51.3
2007	SD25	26.2	de 0 à 14.7	-	14.7	11.5	46.0
2007	SD26	30.0	de 0 à 9.2	-	9.2	20.8	15.0
2007	SD27	16.5	de 0 à >18.0	de 18.0 à 24.0	nr	nr	30.5
2007	SD28	21.0	de 0 à 8.5	-	8.5	12.5	51.5
2007	SD29	27.2	de 0 à 7.5	-	7.5	19.7	17.0
2007	SD30	31.2	de 0 à 10.2	-	10.2	21.0	11.0
2007	SD31	19.3	de 0 à >10.0	-	nr	nr	10.0
2007	SD300	31.8	de 0 à 7.5	-	7.5	24.3	30.3
2007	SC10	24	de 0 à 9.8	-	9.8	14.2	74.0
2007	SC11	20.8	de 0 à 30.7	-	30.7	-9.9	70.5
2007	SC12	31.9	de 0 à 9.5	-	9.5	22.4	16.7
2007	SC1	19.3	de 0 à 25.4	de 25.4 à 28.8	28.8	-9.5	50.2
2007	SC2	26.5	de 0 à 7.3	-	7.3	19.2	56.0
2007	SC3	19.8	de 0 à 17.5	-	17.5	2.3	91.0
2007	SC4	24.3	de 0 à 6.2	-	18.1	6.2	54.0
2007	SC5	16.3	de 0 à 30.5	de 18 à 30.5	30.5	-14.2	50.0
2011	SD32	23	de 0 à 9	nr	9	14	50
2011	SD33	22	de 0 à 15	nr	15	7	50
2011	SD34	25	de 0 à 15	nr	15	10	51
2011	SD35	34	de 0 à 7	nr	7	27	54
2011	SD36	37	de 0 à 6.3	nr	6.3	30.7	60
2011	SD37	22	de 0 à 10.8	nr	10.8	11.2	25
2011	SD38	19	de 0 à 27.1	nr	27.1	-8.1	29
2011	SD39	18	de 0 à 22.6	nr	22.6	-4.6	26
2011	SD40	20	de 0 à 17.3	de 25.7 à 33	de 17.3 à 25.7	nr	33
2011	SD41	21	de 0 à 16.3	nr	16.3	4.7	17
2011	SD42	23.5	de 0 à 5.6	nr	5.6	17.9	55
2011	SD43	66					
2011	SD44	20.5	de 0 à 21	nr	21	-0.5	45

Nr : non rencontré

La synthèse de ces reconnaissances détaillées est présentée sous forme de coupes interprétatives présentées en Annexe 1 de ce document (profils localisés sur la Figure 1).

Le substratum marneux a été recoupé à des profondeurs comparables à celles du site de « Bellegarde 2 » exploité par SITA FD. Le fond de casier et une grande partie des flancs du projet seront installés dans les marnes grises imperméables, présentes sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur au droit du site. Les sondages réalisés dans le cadre des investigations de 2011 confirment bien cette présence jusqu'à minimum 40 mètres en dessous du fond de forme (50 m observés au droit de SC36).

Par ailleurs, des alluvions sablo-graveleux ont été mis en évidence à l'Est du site, au droit du sondage SC40 au sein des marnes grises. Elles n'ont pas été recoupées au droit du sondage SC44. Leur présence peut s'expliquer par l'existence d'un paléorelief comme en témoigne les stratifications entrecroisées d'angles importants de l'ordre de 30° de banc à banc ; de fait, la présence d'un bloc marneux dans les formations astiennes sus-jacentes n'est pas surprenante. A noter que de tels blocs avaient été observés lors de l'ouverture de la fouille sur le site de Bellegarde 2.

En 2007, des alluvions avaient également été observées à l'extérieur de l'emprise du projet de casier et s'intercalaient entre les sables argileux et argiles sableuses astiennes et les marnes grises.

2.2 Rappel des perméabilités des formations

Des essais d'eau ont été réalisés en 2007 et 2011 au droit du site afin de déterminer la perméabilité locale des terrains rencontrés. Le chapitre ci-dessous présente la synthèse des résultats obtenus.

2.2.1 Mesure des perméabilités horizontales en forage

Les résultats obtenus au droit du site en 2007 et 2011, sont présentés dans les tableaux suivant :

Année du sondage	Nom du sondage	Cote altimétrique de la poche testée en m NGF		Nature lithologique du terrain testé	Perméabilité équivalente déterminée (m/s) Lugeon	Perméabilité équivalente déterminée (m/s) Lefranc
		de	à			
2007	SC10	-16	-18	Marnes grises	3.70E-09	2.50E-09
		-18	-20	Marnes grises	4.50E-09	<1.00E-09
		-20	-22	Marnes grises	4.10E-09	1.90E-09
		-22	-24	Marnes grises	<1.00E-09	1.20E-09
		-24	-26	Marnes grises	2.00E-09	9.40E-09
2007	SC11	-19.2	-21.2	Marnes grises	2.50E-09	2.50E-09
		-21.2	-23.2	Marnes grises	2.50E-09	2.20E-08
		-23.2	-25.2	Marnes grises	2.50E-09	<1.00E-09
		-25.2	-27.2	Marnes grises	1.00E-09	<1.00E-09
		-27.2	-29.2	Marnes grises	<1.00E-09	1.80E-09
2007	SD23	-16	-18	Marnes grises	7.00E-08	2.20E-09
		-18	-20	Marnes grises	2.30E-08	3.90E-09
		-20	-22	Marnes grises	2.80E-09	<1.00E-09
		-22	-24	Marnes grises	9.10E-08	6.40E-09
		-24	-26	Marnes grises	1.50E-08	5.70E-09
2007	SD28	-16	-18	Marnes grises	1.00E-09	<1.00E-09
		-18	-20	Marnes grises	2.00E-09	<1.00E-09
		-20	-22	Marnes grises	2.00E-09	<1.00E-09
		-22	-24	Marnes grises	2.50E-09	<1.00E-09
		-24	-26	Marnes grises	2.10E-09	<1.00E-09
2007	SD300	11.5	9.5	Marnes grises	1.00E-09	5.80E-08
		9.5	7.5	Marnes grises	2.10E-08	4.40E-08
		7.5	5.5	Marnes grises	1.40E-08	3.40E-08
		5.5	3.5	Marnes grises	1.00E-09	3.70E-09
		3.5	1.5	Marnes grises	9.30E-09	5.20E-08
2007	SD25	-5.8	-7.8	Marnes grises	<1.00E-09	-
		-7.8	-9.8	Marnes grises	<1.00E-09	-
		-9.8	-11.8	Marnes grises	<1.00E-09	-
		-11.8	-13.8	Marnes grises	<1.00E-09	-
		-13.8	-15.8	Marnes grises	<1.00E-09	-
2007	SD29	24.2	22.2	Limons silteux beiges +/- argileux	2.40E-08	-
		22.2	20.2	Limons silteux beiges +/- argileux	1.80E-08	-
		20.2	18.2	Marnes grises	1.60E-09	-
		18.2	16.2	Marnes grises	2.50E-09	-
		16.2	14.2	Marnes grises	2.00E-09	-

Année du sondage	Nom du sondage	Cote altimétrique de la poche testée en m NGF		Nature lithologique du terrain testé	Perméabilité équivalente déterminée (m/s) Lugeon	Perméabilité équivalente déterminée (m/s) Lefranc
		de	à			
2007	SD31	18.1	16.3	Sables argileux beiges	<1.00E-09	-
		16.3	14.5	Argiles sableuses beiges	1.00E-09	-
		14.5	12.7	Argiles sableuses beiges	2.50E-09	-
		12.7	11	Argiles sableuses beiges	<1.00E-09	-
		11	9.2	Argiles sableuses beiges	1.80E-09	
2011	SD32	6	5	Marnes grises	-	<1.00E-09
		5	4		-	<1.00E-09
		4	3		-	<1.00E-09
		3	2		-	<1.00E-09
		2	1		-	<1.00E-09
		-22	-23		-	<1.00E-09
		-23	-24		-	<1.00E-09
		-24	-25		-	<1.00E-09
		-25	-26		-	<1.00E-09
-26	-27	-	<1.00E-09			
2011	SD33	-23	-24	Marnes grises	-	<1.00E-09
		-24	-25		-	<1.00E-09
		-25	-26		-	<1.00E-09
		-26	-27		-	<1.00E-09
		-27	-28		-	<1.00E-09
2011	SD34	-21	-22	Marnes grises	-	<1.00E-09
		-22	-23		-	<1.00E-09
		-23	-24		-	<1.00E-09
		-24	-25		-	<1.00E-09
		-25	-26		-	<1.00E-09
2011	SC35	27	26	Marnes grises argilo-silteuses	-	<1.00E-09
		26	25		-	<1.00E-09
		25	24		-	<1.00E-09
		24	23		-	<1.00E-09
		23	22		-	<1.00E-09
2011	SD38	7	6	Alternance d'argile sableuse et de passées sableuses	-	4.00E-08
		6	5		-	3.00E-08
		5	4		-	3.00E-08
		4	3		-	4.00E-08
		3	2		-	2.00E-08

Année du sondage	Nom du sondage	Cote altimétrique de la poche testée en m NGF		Nature lithologique du terrain testé	Perméabilité équivalente déterminée (m/s) Lugeon	Perméabilité équivalente déterminée (m/s)
		de	à			
2011	SC40	7	6	Marnes beiges jaunâtres à passées sableuses	-	<1.00E-09
		6	5		-	<1.00E-09
		5	4		-	<1.00E-09
		4	3		-	<1.00E-09
		3	2		-	<1.00E-09
		-3	-4	Marnes grises argilo-silteuses	-	<1.00E-09
		-4	-5		-	<1.00E-09
		-5	-6		-	<1.00E-09
		-6	-7	Passage des marnes grises argilo-silteuses aux sables	-	3.00E-09
-7	-8	Sables fins et galets	-	5.00E-09		
2011	SC42	-22	-23	Marnes grises argilo-silteuses	-	<1.00E-09
		-23	-24		-	<1.00E-09
		-24	-25		-	<1.00E-09
		-25	-26		-	<1.00E-09
		-26	-27		-	<1.00E-09

Tableau 2 : Synthèse des résultats des essais de perméabilité des investigations de 2007 et 2011

Les perméabilités in-situ, mises en évidence au droit du site, en 2007, sont les suivantes :

- Dans les limons silteux beiges superficiels, les 2 essais de perméabilité donnent des résultats compris entre $1,8$ et $2,4 \cdot 10^{-8}$ m/s (essais uniquement réalisés au droit du sondage SD29) ;
- Dans les sables argileux et argiles sableuses beiges, les résultats des 5 essais réalisés sont compris entre $2,5 \cdot 10^{-9}$ m/s et une perméabilité inférieure à $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (essais uniquement réalisés au droit du sondage SD31) ;
- Dans les marnes grises, les résultats des 58 essais sont compris entre $9 \cdot 10^{-8}$ m/s et une perméabilité inférieure à $1 \cdot 10^{-9}$ m/s avec majoritairement des perméabilités inférieures à $5 \cdot 10^{-9}$ m/s (75 %). La moyenne arithmétique des perméabilités mesurées dans les marnes grises est de $8,8 \cdot 10^{-9}$ m/s (moyenne des essais Lugeon – les plus pénalisants).

Les perméabilités in-situ, mises en évidence au droit du site, en 2011, sont les suivantes :

- Dans les sables et argiles beiges, comprises entre 2 et $4 \cdot 10^{-8}$ m/s ;
- Dans les marnes grises, inférieures à $1 \cdot 10^{-9}$ m/s ; légèrement supérieures à $1 \cdot 10^{-9}$ m/s à l'interface des marnes grises et des sables et galets (du Quaternaire) observés au droit de SC40.

Ces résultats montrent la très faible perméabilité à l'échelle mésoscopique, du substratum marneux constituant l'assise du casier.

2.2.2 Essais de laboratoire (essais de perméabilité à l'oedomètre)

En 2007, dans le cadre du projet d'extension du site de Bellegarde 2 (sur le site du projet « La Roseraie » actuel), 6 essais de laboratoire ont été réalisés afin d'estimer la perméabilité des matériaux rencontrés et de corrélérer ces résultats avec ceux obtenus sur site.

Six échantillons intacts prélevés dans les sondages carottés SC10, SC11 et SC12 ont été testés en laboratoire par six essais oedométriques (deux essais par sondage).

Dans un premier temps, en l'absence d'indication particulière concernant le potentiel de gonflement des argiles constituant la formation marneuse, ces 6 essais ont été réalisés sans compensation de la pression lithostatique – **Essai 1**.

Les essais ainsi réalisés, mettent en évidence une perméabilité de laboratoire des marnes gris beiges à grises comprises entre $1.2 \cdot 10^{-7}$ m/s (niveaux à dominante silteuse) à $6 \cdot 10^{-9}$ m/s (niveaux plus argileux).

Afin d'évaluer la perméabilité de cette formation dans des conditions qui se rapprochent plus des conditions de fonctionnement en place, trois essais complémentaires de mesures de perméabilité à l'oedomètre ont été réalisés, mais cette fois en appliquant à l'échantillon, une pression verticale permettant soit de maintenir l'indice des vides avant imprégnation, soit correspondant au poids des roches qu'il supporte, et donc dans les deux cas, en contenant le gonflement ; pour chaque essai, 2 mesures ont été réalisées :

- 1 mesure effectuée en maintenant l'indice des vides à son état initial, par application de charges destinées à contenir le gonflement – **Essai 2**,
- 1 mesure effectuée en soumettant l'éprouvette à la pression effective estimée, soit 950 ou 980 KPa selon l'échantillon – **Essai 3**.

Sondage	Profondeur échantillon (m)	Ks (m/s) Essai 1	Ks (m/s) Essai 2	Ks (m/s) Essai 3
SC10	44.00 à 45.00	7.1E-08 m/s	4.5E-09 m/s	2.3E-09 m/s
SC10	48.00 à 49.00	6.0E-09 m/s	4.8E-09 m/s	1.2E-09 m/s
SC11	43.80 à 44.70	1.2E-07 m/s		
SC11	47.00 à 47.65	5.0E-08 m/s	5.2E-09 m/s	2.2E-09 m/s
SC12	6.30 à 7.90	2.7E-08 m/s		
SC12	8.90 à 9.90	1.3E-08 m/s		

Tableau 2 : Résultats des essais de perméabilité à l'oedomètre

Commentaire sur les essais et les valeurs de perméabilité mesurées :

Ces essais mesurent la perméabilité verticale des terrains, contrairement aux essais en forage qui mesurent théoriquement une perméabilité horizontale. Les valeurs obtenues dans les deux cas ne sont donc pas strictement identiques en termes de nature de la mesure (bien que concernant les même matériaux mesurés à la même profondeur).

Ces essais de laboratoire ont également mis en évidence le caractère gonflant des matériaux, confirmant la nature argileuse des marnes qui formeront l'encaissant du projet de fond de forme.

Aussi note-t-on une diminution significative de la perméabilité sur les échantillons testés lorsque l'on contient le gonflement. En moyenne, sur les trois échantillons testés, la perméabilité passe de $4.2.10^{-8}$ m/s (essai 1) à $4.8.10^{-9}$ m/s (essai n°2) et $1.9.10^{-9}$ m/s (essai n°3), soit une diminution d'un facteur 10 à 20. Ces valeurs sont proches des valeurs mesurées par essais Lugeon qui sont centrées autour de 4 à 5.10^{-9} m/s. Les valeurs les plus représentatives des conditions naturelles sont donc comprises entre 1,2 et $2,3.10^{-9}$ m/s. Cependant, les essais en laboratoire sont réalisés sur des éprouvettes de taille réduite et classiquement, l'effet d'échelle tend à sous-évaluer la perméabilité. En outre les essais en laboratoire mesurent la perméabilité verticale alors que les essais en forage mesurent une perméabilité horizontale. En terrain sédimentaire, la perméabilité verticale est classiquement inférieure à la perméabilité horizontale.

A titre indicatif le tableau suivant permet de comparer les résultats des différents essais pour des échantillons prélevés à peu près aux mêmes endroits :

Sondage	Profondeur échantillon (m)	Ks (m / s) Essai 3	Profondeur échantillon (m)	Ks (m / s) Lugeon	Ks (m / s) Lefranc
SC10	44.00 à 45.00	2.3E-09 m/s	44.00 à 46.00	4.1E-09 m/s	1.9E-09 m/s
SC10	48.00 à 49.00	1.2E-09 m/s	48.00 à 50.00	2.0E-09 m/s	9.4E-09 m/s
SC11	47.00 à 47.65	2.2E-09 m/s	46.00 à 48.00	1.0E-09 m/s	<1.10E-09 m/s

On observe une assez grande cohérence des résultats ce qui semble indiquer une relative isotropie des marnes.

2.3 Rappel du contexte hydrogéologique

2.3.1 Rappel concernant la piézométrie

Le site d'étude se situe entre la nappe d'accompagnement du Rhône et la nappe perchée des Costières, sur un seuil hydrogéologique exondé.

Lors des investigations de 2007, aucun aquifère constitué n'a été identifié dans l'emprise du projet. Seuls en limite Est, les piézomètres SD20 et SD27 ont intercepté la nappe d'accompagnement du Rhône, nappe dont le niveau piézométrique oscille entre +2.5 m NGF et -3.5 m NGF selon les saisons.

En 2007, il est donc apparu que les marnes du Plaisancien constituaient :

- un substratum imperméable présent sous l'ensemble du projet de fond de forme retenu à l'époque, à différentes profondeurs selon le niveau d'érosion anté-astienne dont il a été affecté ;
- un mur hydrogéologique pour les rares écoulements qui sont ponctuellement constatés à leur interface avec les sables de l'Astien.

Lors des investigations de 2011, la profondeur de l'eau a été mesurée au droit du piézomètre SD27 à la cote + 0,30 m NGF (juin 2011).

Au vu des coupes géologiques des ouvrages SD20 et SD27 (présentées en annexe du dossier de qualification géologique et hydrogéologique du site, joint au dossier d'autorisation), les niveaux d'eau enregistrés se situent au niveau du toit de l'horizon sablo-graveleux (observé à l'Est entre les sables et argiles de l'Astien et les marnes grises plaisanciennes). Le niveau graveleux n'apparaît pas en charge, ce qui est une situation favorable par rapport à l'environnement hydraulique sous-terrain du site.

Campagne piézométrique au droit du site de Bellegarde 2

Des campagnes piézométriques trimestrielles sont réalisées depuis 2003 sur 8 ouvrages piézométriques situés en amont et en aval du site de Bellegarde 2 de SITA FD.

Un plan d'implantation des ouvrages du site de Bellegarde 2 et leurs caractéristiques (altitudes des ouvrages, profondeur) est présenté dans le dossier de qualification géologique et hydrogéologique du site, joint au dossier d'autorisation.

Deux graphiques présentant les variations piézométriques 2003 et 2009 sont présentés en Figure 2 et 3. Le niveau varie globalement entre -3.5 m NGF et 2.5 m NGF.

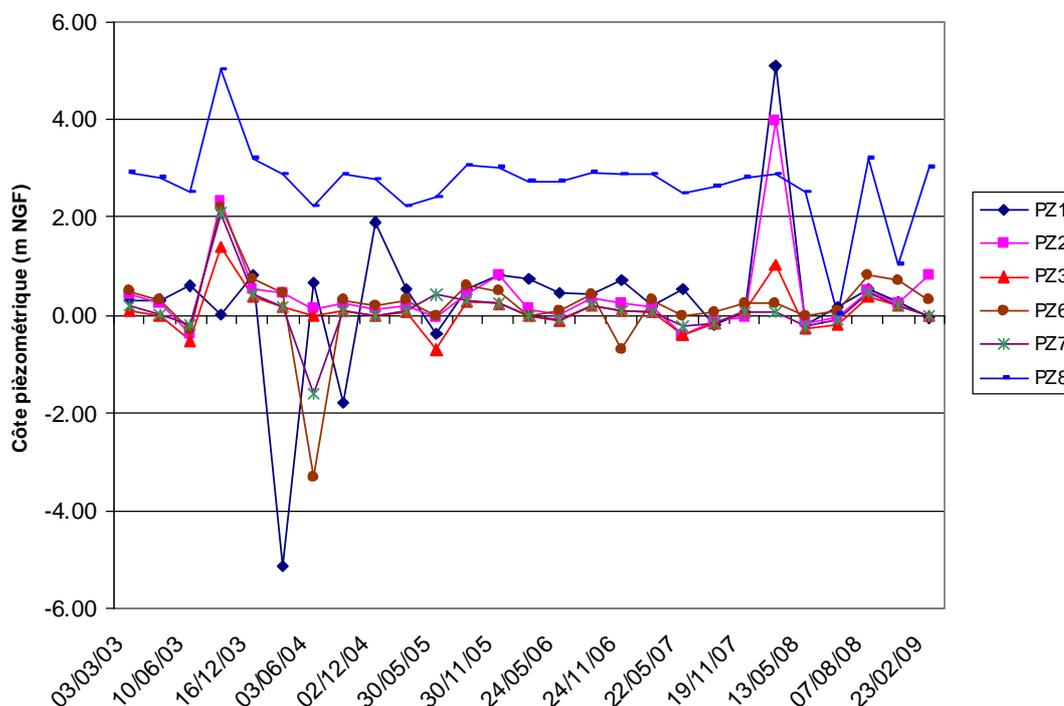


Figure 2 : Suivi piézométrique du site entre 2003 et 2009 –piézomètres 1 -2 -3 -6-7 et 8

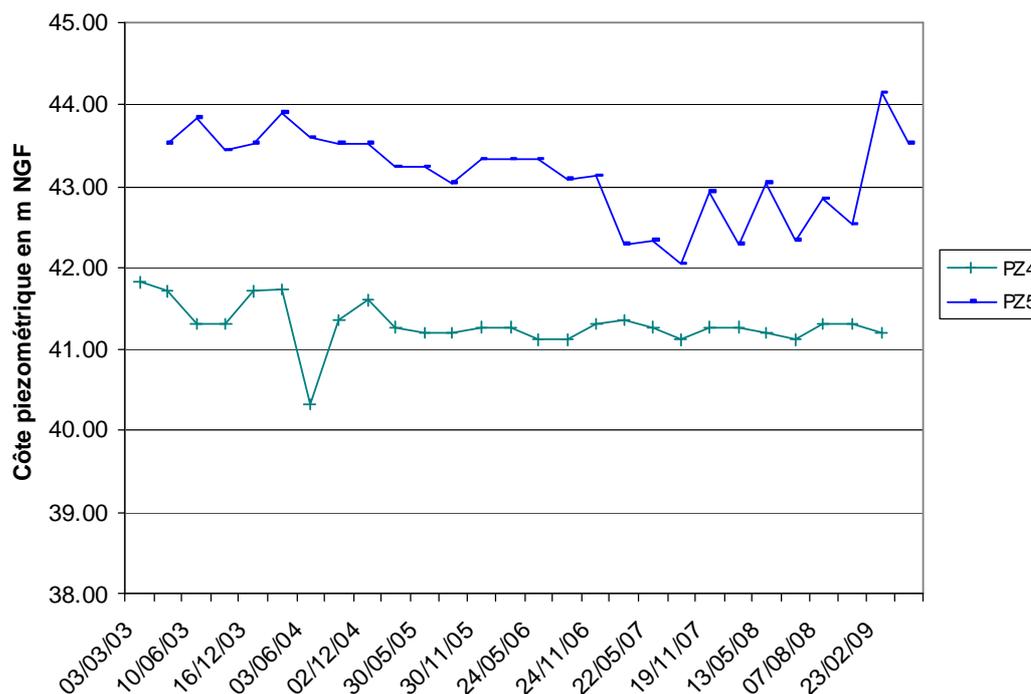


Figure 3 : Suivi piézométrique du site entre 2003 et 2009 –piézomètres 4 et 5

Les piézomètres situés à l'Est du site de Bellegarde 2 et du site de la « Roseraie » (Pz1, Pz2, Pz3, Pz6, Pz7, Pz8, SD20 et SD27) interceptent les terrains alluvionnaires sablo-graveleux, terrains aquifères de la nappe d'accompagnement du Rhône qui parcourt les plaines de Camargue notamment. Cependant, cette couche se biseaute et n'est plus présente dans l'emprise du projet. L'altitude piézométrique de ce niveau oscille autour de 0 m NGF avec un battement de la nappe de l'ordre de 5 mètres.

D'après les données du BRGM (notice de la carte géologique de Nîmes au 1/50 000), en rive droite du Rhône, on observe une alimentation des terrains par le Rhône, et, à un moindre degré par la bordure des Costières, le drainage se faisant selon un axe NE-SW, emprunté par le canal du Rhône à Sète (ce dernier ne paraît pas toutefois être à l'origine de ce drainage qui serait plutôt lié à l'existence d'un chenal souterrain de forte perméabilité).

Le sens d'écoulement en bordure Est de la zone d'étude serait donc globalement NW-SE.

Des circulations d'eau ponctuelles ont été mises en évidence (plus particulièrement en 2007) au droit des terrains sablo-argileux de l'Astien. Ces terrains, localement perméables au droit des passées à dominante sableuses, sont en relation en amont avec les terrains alluvionnaires du Villafranchien (cailloutis silico-carbonatés), ensemble perméable. Ce complexe est alimenté par les eaux météoriques. Des résurgences apparaissent à l'interface entre ces terrains et les marnes du Plaisancien. La morphologie du toit des marnes conditionne les écoulements de ce niveau. Ces eaux ne sont pas exploitables du fait de leur circulation aléatoire dans les formations, de la très faible capacité du réservoir qui les abrite, et ne constituent donc pas une nappe.

2.3.2 Usage des eaux souterraines

La carte des captages AEP les plus proches du site est présentée dans le dossier de demande d'autorisation en pièce 5.

D'après les données de l'ARS et de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, concernant l'alimentation en eau potable, il n'existe pas de captage AEP à proximité immédiate du site. La commune de Bellegarde est alimentée par des sources situées au Nord de l'agglomération, qui émergent des cailloutis plio-quadernaires à la faveur de l'affleurement des marnes (Mas Sauzette et Sources de la route de Redessan, à plus de 5 km au Nord-Est du site et en amont hydraulique).

L'alimentation de Saint Gilles est assurée par deux points de prélèvements : l'un au Sud-Ouest de l'agglomération (Route de Vauvert), l'autre au Nord-Est (Route de Bellegarde) à la sortie du village, à plus de 5 km du site.

2.4 Synthèse du contexte par rapport au projet

2.4.1 Concernant les épaisseurs et les perméabilités du sous-sol

Les résultats de l'étude de 2011 sont donc homogènes avec ceux obtenus lors des différents essais et reconnaissances antérieurs sur le site La Roseraie en 2007, mais aussi sur Bellegarde 1 et 2 lors de leurs études de qualification respectives.

Il ressort de ces campagnes de mesures in situ, que les assises marneuses du site présentent une très faible perméabilité à l'échelle mésoscopique, confirmant ainsi le caractère confinant et de fait sécurisant de cet encaissant, vis-à-vis du projet, puisqu'il en constituera l'assise du fond de forme, et d'une grande partie des flancs.

Au vu des sondages de grandes profondeurs recensées à la banque du sous-sol (BSS) dans le secteur d'étude, l'épaisseur des marnes grises au droit du site pourrait atteindre plusieurs centaines de mètres (plus de 600 mètres au droit de la commune de Générac). En tout état de cause, les sondages réalisés dans le cadre de cette étude confirment bien cette présence jusqu'à 50 m en dessous du fond de forme projeté.

Pour le calcul d'équivalence, la configuration suivante est prise en compte :

La moyenne des perméabilités mesurées in situ (marnes, sables argileux et argiles sableuses), retenue, est de $8.8.10^{-9}$ m/s : moyenne arithmétique des perméabilités mesurées dans les marnes grises en 2007 étant la moyenne des essais Lugeon, les plus pénalisants et les valeurs de 2011 étant inférieures.

Remarque : au droit des flancs (partie supérieure), la perméabilité maximum mesurée en forage était de $2,5.10^{-9}$ m/s. Afin d'être sécuritaire, il a été pris en compte pour l'évaluation de l'équivalence une perméabilité homogène à celle des marnes grises.

2.4.2 Concernant l'hydrogéologie

Aucun aquifère constitué n'a été identifié au droit du futur casier. Le projet se trouve installé au droit d'un seuil hydrogéologique, calé entre la nappe des Costières à l'Ouest et la nappe d'accompagnement du Rhône à l'Est. Cette dernière est interceptée par le piézomètre SD27 en limite Est du site, son niveau piézométrique moyen se trouve à environ + 0.3 m NGF.

Ces résultats confirment les observations faites lors des travaux d'excavation du site de Bellegarde 2, où seuls quelques lentilles d'eau fossile, piégées dans des interlits silteux de la frange superficielle des marnes, et s'essorant lentement avant de se tarir, ont été observées lors de l'ouverture des fouilles. Ils confirment également les observations faites en 2007 lors de la qualification pour le projet d'extension de Bellegarde 2 sur le site La Roseraie : les niveaux d'eau observés au droit de SD27 et SD20 étaient alors de -0.2 et -0.25 m NGF respectivement.

Le contexte hydrogéologique de la zone d'étude est donc très favorable à la réalisation du projet.

De plus, compte tenu de l'absence de véritable aquifère au droit du site et de l'éloignement des captages AEP en présence (distances supérieures à 5 km), tout risque de contamination entre le site et ces installations est donc exclu.

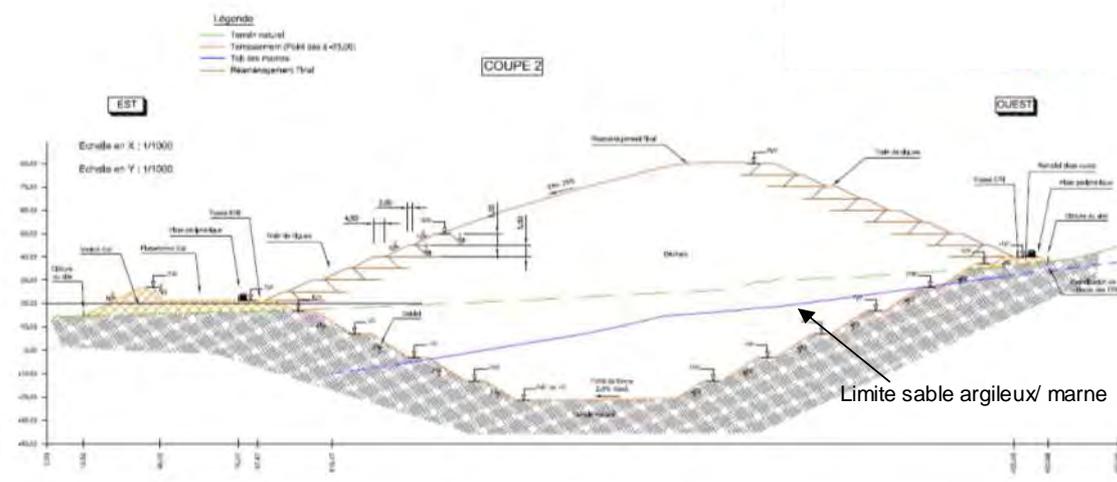
3 La géométrie du projet

La géométrie globale du casier est illustrée par le plan et la coupe ci-après.



La structure du fond de casier présentera une pente globale orientée vers le Nord/Nord-Est, pour converger vers l'angle Nord-Est, où sera placé le puits de relevage des lixiviats. Le fil d'eau principal sera situé côté Est du casier et aura une pente d'au moins 2% vers le Nord. Le réseau secondaire aura une pente d'environ 1,5% dirigé vers le fil d'eau principal. Cela conduit globalement à un fond de casier situé entre les cotes -17 mNGF au Sud et -23 mNGF dans l'angle Nord-Est.

Les talus terrassés présenteront une pente de 3H/2V. Afin de diminuer les longueurs de rampant, une risberge de 8 m sera mise en œuvre tous les 10 m d'altitude environ. Elles seront localisées à : 37, 27, 17, 7, -3 et -13 mNGF et présenteront une légère pente vers l'intérieur du casier afin de permettre une collecte des eaux centralisée.



4 Réglementation et recommandations

4.1 Le contexte réglementaire

L'arrêté ministériel du 09 septembre 1997 (modifié le 19 janvier 2006) relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux, stipule (art. 11) que :

« La barrière de sécurité passive est constituée du terrain naturel en l'état. Le fond de forme du site présente, de haut en bas, une perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre et inférieure à 1.10^{-6} m/s sur au moins 5 mètres. Les flancs sont constitués d'une couche minérale de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre. »

L'arrêté ministériel du 09 septembre 1997 (modifié le 19 janvier 2006) relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux, précise (art. 11) que :

« Lorsque la barrière géologique ne répond pas naturellement aux conditions précitées, elle peut être complétée artificiellement et renforcée par d'autres moyens présentant une protection équivalente. L'épaisseur de la barrière ainsi reconstituée ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour le fond de forme et à 0,5 mètre pour les flancs jusqu'à une hauteur de deux mètres par rapport au fond. En tout état de cause, l'étude montrant que le niveau de protection sur la totalité du fond et des flancs de la barrière reconstituée est équivalent aux exigences fixées au premier alinéa, figure dans le dossier de demande d'autorisation. »

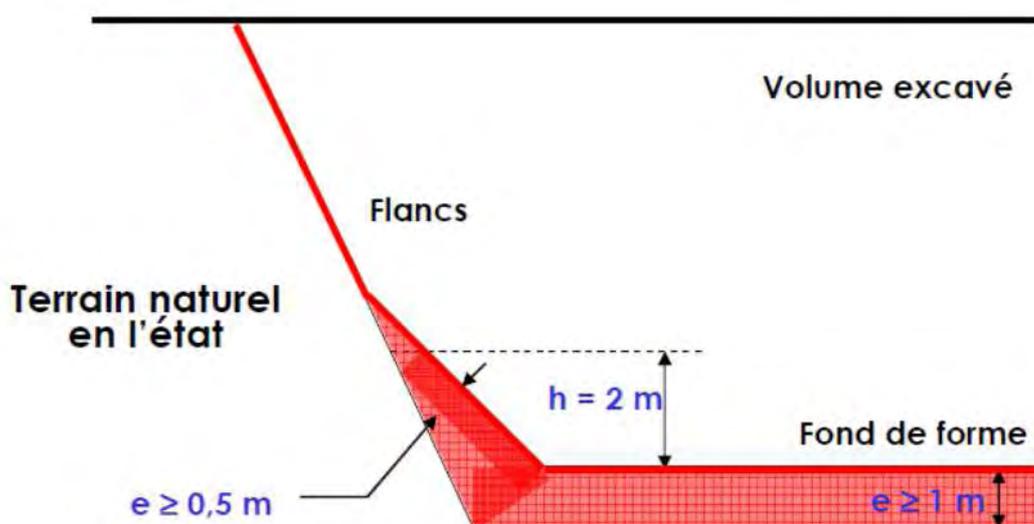


Figure 4 : Illustration des prescriptions de l'article 11 de l'arrêté de 1997 modifié

4.2 Les recommandations

Afin de compléter ces exigences un guide de recommandations a été réalisé par un groupe de travail à l'initiative du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD), aujourd'hui Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, du Logement et des Transports (MEDDLT).

La première version de ce guide date de Juillet de 2002. Aujourd'hui, la version de référence de ce guide est la version 2 de février 2009 et s'intitule :

« Guide de recommandations pour l'évaluation de « l'équivalence » en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets. »

Ce guide rappelle le contexte réglementaire. Il précise quelques définitions et explicite le rôle de la barrière de sécurité passive.

Il traite ensuite des éléments justificatifs de l'équivalence et le contenu de la note justificative.

5 Solution proposée

Afin de se conformer aux exigences de la réglementation, il est donc prévu de renforcer la barrière de sécurité passive naturelle sur le fond et les flancs. La solution proposée s'inspire également des recommandations du guide mentionné ci-dessus.

Les reconnaissances in situ réalisées par ARCADIS et synthétisées dans le chapitre 2 ont permis de déterminer que le sous-sol naturel répond à l'exigence d'une perméabilité inférieure à 1.10^{-6} m/s sur une profondeur de plus de 40 mètres sous l'emprise des futurs casiers. En revanche, toutes les valeurs de perméabilité mesurées ne sont pas inférieures à 1.10^{-9} m/s.

La solution proposée en fond est la suivante :

- **en tirant profit du « substratum » du casier qui est constitué sur la totalité de la surface du fond par des matériaux présentant des valeurs de perméabilité $<1.10^{-6}$ m/s sur une épaisseur d'au moins 5 mètres,**
- **de renforcer cette barrière en place par ajout ou reconstitution d'une couche de 0,5 m de matériaux argileux (y compris relevé d'étanchéité de 2 m sur les flancs) de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s surmontée d'un géocomposite bentonitique, dont l'épaisseur en place en conditions humectées sera de plus de 0,5 cm et de perméabilité inférieure à 1.10^{-11} m/s ; l'objectif de cette couche étant d'obtenir un fond de fouille étanche et homogène, avec, en outre des caractéristiques « cicatrisantes » en dessous de la barrière de sécurité active.**

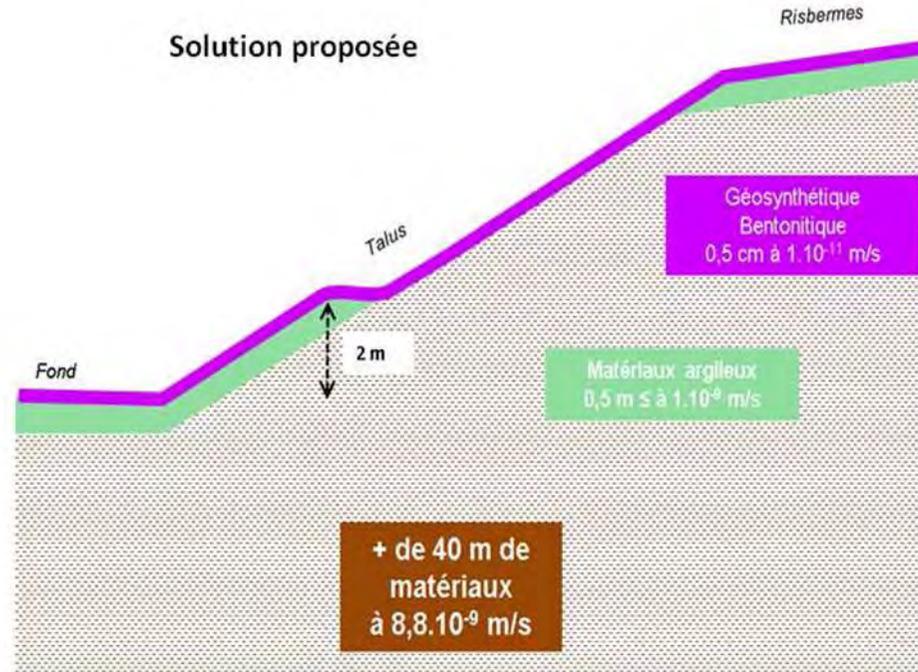
Rappel de par ailleurs que le casier sera équipé d'un dispositif de drainage respectant la réglementation (réseau drainage assurant une charge hydraulique en fond de casier inférieure ou égale à 30 cm).

La solution proposée en flanc est la suivante :

- **de tirer profit des terrains naturels :** ces terrains présentent une perméabilité faible naturelle même si la perméabilité d'objectif (1.10^{-9} m/s) n'est atteinte que sur une partie des essais. La perméabilité moyenne est de $8,8.10^{-9}$ m/s. En outre son épaisseur est supérieure à 40 mètres ;
- **de renforcer cette barrière naturelle par ajout d'un géocomposite bentonitique, dont l'épaisseur en place en conditions humectées sera de plus de 0,5 cm et de perméabilité inférieure à 1.10^{-11} m/s. Les risbermes seront renforcées par ajout de 0,5 m de matériaux argileux à 1.10^{-9} m/s et par 1 m de relevé d'étanchéité sur le flanc.**

Cette solution permet d'assurer à la fois un niveau de protection accru sur ces zones de flanc à faible pente et d'une mise en œuvre simplifiée par rapport à un remblai sur 1 m.

L'objet de la présente note est de vérifier l'équivalence de la solution proposée par rapport aux exigences réglementaires, en termes de perméabilité.



6 Calcul d'équivalence

6.1 Les équivalences de perméabilité verticale

Pour le dispositif réglementaire, et d'après la formule de Schneebeli, la perméabilité équivalente moyenne sur les 6 mètres de barrière passive est de **5,97.10⁻⁹ m/s**, soit la perméabilité verticale moyenne du substratum naturel.

En flanc, dans la solution alternative proposée, il est prévu de renforcer la barrière d'étanchéité naturelle par :

- un géosynthétique bentonitique, qui présente une épaisseur d'environ 0,5 cm et une perméabilité minimale garantie de 1.10^{-11} m/s,
- une couche minimale de 6 mètres de perméabilité inférieure à $8,8.10^{-9}$ m/s.

La perméabilité équivalente sur une épaisseur de 6 mètres est donc, dans l'alternative proposée, estimée à **5,1.10⁻⁹ m/s**.

En fond, et sur les zones de risbermes, il est proposé de consolider la barrière naturelle par :

- un géosynthétique bentonitique dont l'épaisseur en place en conditions humectées sera de plus de 0,5 cm et de perméabilité inférieure à 1.10^{-11} m/s,
- un ajout ou reconstitution d'une couche de 0,5 mètre de matériaux argileux de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s,
- une couche minimale de 5 mètres de perméabilité $8,8.10^{-9}$

La perméabilité équivalente sur une épaisseur de 6 mètres est donc, dans l'alternative proposée, estimée à **3,69.10⁻⁹ m/s**.

En équivalence de perméabilité verticale, la solution proposée est un peu plus performante que la solution réglementaire.

La perméabilité verticale ne permet de décrire que les phénomènes d'advection qui résulte d'une circulation de l'eau sous l'effet d'un gradient de pression hydraulique. Cependant, dans des milieux à faible perméabilité, les vitesses de transfert dues à l'advection deviennent faibles et les phénomènes de diffusion moléculaire, et donc de dispersion qui résultent d'une différence de concentration des molécules, peuvent devenir prépondérants.

6.2 Les phénomènes de dispersion

D'après Guyonnet and Côme (1995), l'équation décrivant l'advection et la dispersion d'un polluant en milieu poreux, en une dimension est la suivante :

$$R \times \frac{\partial C}{\partial t} + k \times \frac{\partial C}{\partial z} - D \times \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \lambda \times C = 0$$

Où :

C (M/L³) : est la concentration en polluant dans la barrière à une profondeur z et au temps t.

R (sans dimension) : est le facteur de retard qui prend en compte les phénomènes instantanés et réversibles de l'adsorption.

k (L/T) : est la vitesse linéaire de l'eau.

D (L²/T) : est le coefficient de dispersion effective.

Z (L) : est la profondeur dans la barrière.

λ (1/T) : est la constante de décroissance de premier ordre due à la dégradation biochimique ou physico-chimique.

L'adsorption est réversible et ne fait que retarder le transit des polluants au sein de la barrière d'étanchéité passive. La dégradation diminue également les transferts de polluants.

Dans notre calcul, nous nous placerons uniquement dans le cas le plus défavorable, c'est à dire, un polluant non-adsorbable et non dégradable.

L'équation devient donc :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + k \times \frac{\partial C}{\partial z} - D \times \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} = 0$$

En reprenant les hypothèses faites par Guyonnet and Côme (1995) :

- Concentration en polluant au dessus de la barrière constante en fonction du temps ;
- Concentration en polluant nulle dans l'ensemble de la barrière à l'instant 0 ;
- Concentration en polluant nulle à une profondeur infinie.

La solution de cette équation devient donc :

$$C = \operatorname{erfc} \left(\frac{z - kt}{2\sqrt{Dt}} \right)$$

Dans cette équation les deux seules variables descriptives du matériau constitutif de la barrière sont k et D.

Or $D = D_0 \times \tau + k \times \alpha$

Où :

D₀ (L²/T) : est le coefficient de diffusion du polluant dans l'eau.

τ (sans dimension) : est la tortuosité (fonction de la répartition spatiale de la porosité du matériau).

α (L) : est la dispersivité longitudinale (dispersion mécanique, dépendante des hétérogénéités du milieu à différentes échelles et des champs de vitesse).

τ et α sont des paramètres descriptifs du matériau et D_0 est caractéristique du polluant considéré.

La tortuosité et la dispersivité n'étant pas précisées de manière réglementaire, les marnes du site sont donc supposées présenter des caractéristiques similaires à celles des matériaux argileux.

Pour une profondeur (par exemple, la base de la barrière d'étanchéité passive réglementaire) et un temps donné, la concentration de polluant sera donc dépendante de k et des caractéristiques du polluant.

Or la fonction erreur complémentaire (erfc) est décroissante. D'autre part la fonction f , définie comme suit est une fonction décroissante pour x positif :

$$f(x) = \frac{z - tx}{2\sqrt{Dt}}$$

Pour un polluant et une profondeur donnée (même épaisseur de la barrière de sécurité passive), la concentration sera donc d'autant plus faible que la perméabilité sera réduite.

La solution préconisée sera donc plus performante que la solution réglementaire si l'on tient compte des phénomènes d'advection et de dispersion. En outre, dans ce calcul, il n'a pas été tenu compte des 34 mètres non saturés supplémentaires, de faible perméabilité sous-jacent.

6.3 Conséquence en termes de temps de transfert

Il a donc été démontré au préalable que la solution d'équivalence proposée était plus performante concernant la diffusion que la conformation minimale réglementaire.

Pour évaluer le bénéfice de la forte épaisseur de terrains sous-jacent faiblement perméables, les temps de transfert par advection ont été estimés.

D'après les préconisations de l'arrêté ministériel, le temps de transfert, au sein d'une barrière passive classique, est le suivant :

- 1 mètre de perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-9} m/s : 6,33 ans ;
- 5 mètres de perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-6} m/s : 0,03 ans.

Donc un temps de transfert global de 6,36 ans.

- Dans la solution proposée, le temps de transfert est le suivant :
- 0,005 mètre de perméabilité de 1.10^{-11} m/s : 6,33 ans ;
- 40 mètres de terrains non saturés de perméabilité de $8,8.10^{-9}$ m/s : 28,83 ans.

Donc un temps de transfert global de 35,16 ans.

6.4 Synthèse sur la justification de l'équivalence

La barrière de sécurité passive reconstituée proposée pour l'ISDND de la Roseraie apporte une solution qui présente sur le plan hydraulique des performances au moins équivalentes pour le fond, les flancs et les risbermes, aux conditions minimales exigées par la réglementation (arrêté ministériel du 9 septembre 1997 modifié).

7 Modalités de mise en œuvre

Un PAQ sera réalisé par l'entreprise.

7.1 Reconstitution de la couche de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s

En cas d'absence, cette couche sera soit recompressée pour atteindre la perméabilité requise, soit reconstituée suivant l'étude d'équivalence.

En effet, la création de la partie supérieure de la barrière de sécurité passive (BSP) pourra s'effectuer simplement après ajustement de la teneur en eau et compactage ou par adjonction de liant hydraulique (bentonite ou kaolinite) en fonction du faciès en présence, sous réserve que leurs propriétés mécaniques et physico-chimiques le permettent.

Pendant la phase de travaux une planche d'essai de compactage et de perméabilité par type de matériaux identifiés pour la reconstitution de la BSP sera réalisée. Des contrôles de perméabilités seront effectués pour valider la conformité des objectifs de perméabilité.

7.2 Mise en œuvre du Géosynthétique Bentonitique (GSB)

L'état du support sera contrôlé et compatible avec la mise en œuvre du GSB afin de ne pas le perforer ou l'endommager.

Les conditions météorologiques de travaux seront également compatibles avec la pose du géocomposite.

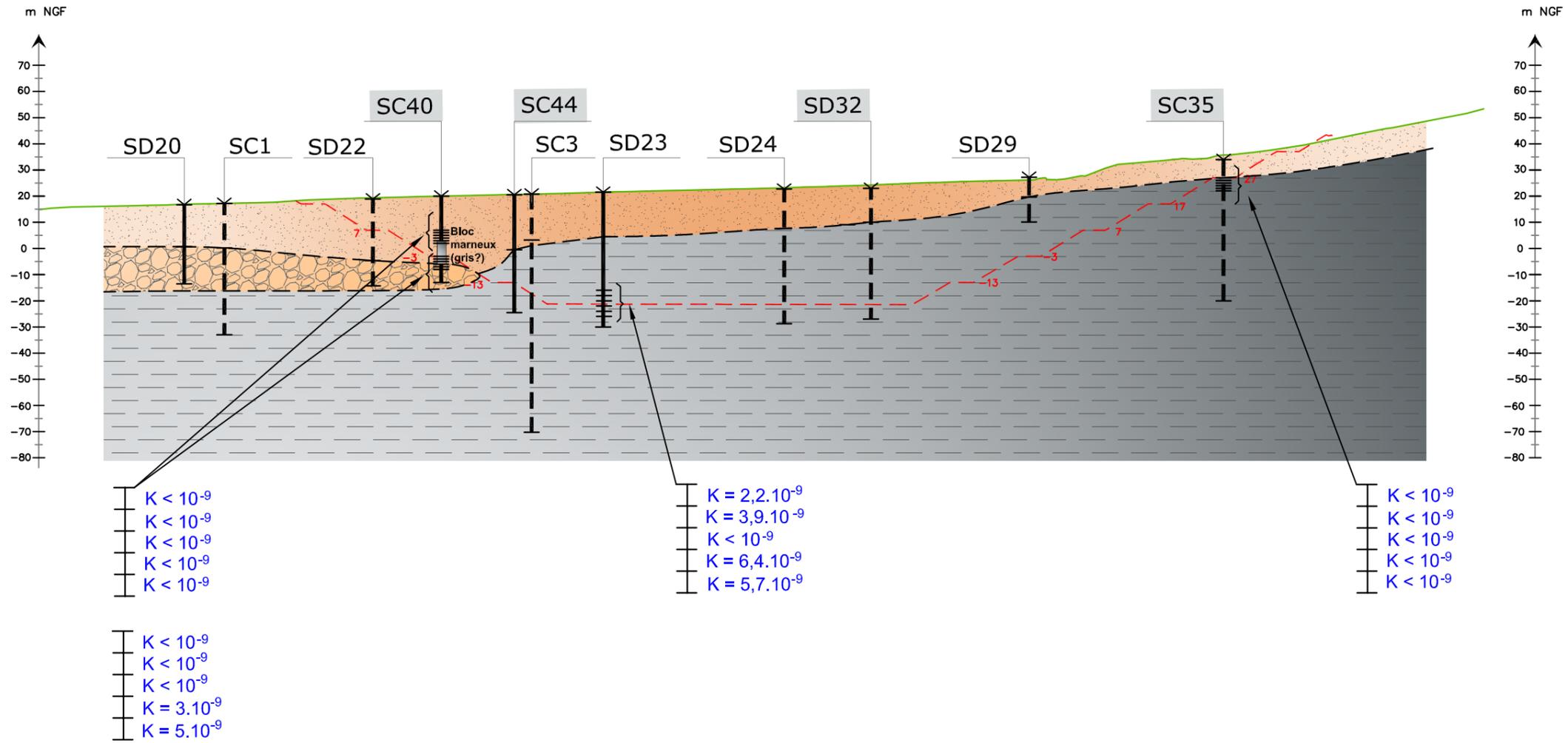
Le GSB sera déroulé sur les flancs du stockage et un ancrage sera réalisé sur chaque pallier intermédiaire de manière à assurer la stabilité géotechnique de l'ouvrage.

La perméabilité, l'épaisseur, la densité et teneur en liant hydraulique, ainsi que la résistance à la traction et au poinçonnement seront contrôlés par l'entreprise qui réalisera la mise en œuvre.

Annexe 1 : Coupes interprétatives

SE

NW



LEGENDE

SD32	Sondages réalisés en 2011	T	Sondage sur la coupe
	Sables et argiles beiges	:	Sondage projeté
	Sables et graves		Cote du projet (m NGF) (hypothèse 1 APT 2010)
	Marnes grises		Cote du TN (m NGF)
			Perméabilité équivalente en m/s (Interprétation type Lefranc)

J:\151515-10-0024_SITA MEDIT APT ISDND\12_ETU_QUALIF\3-CAO\Résultat_qualif_2011_V0.dwg



DDAE du Pôle multi-filières de la Roseraie - Bellegarde (30)
 SITA MEDITERRANEE
ETUDE DE QUALIFICATION GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

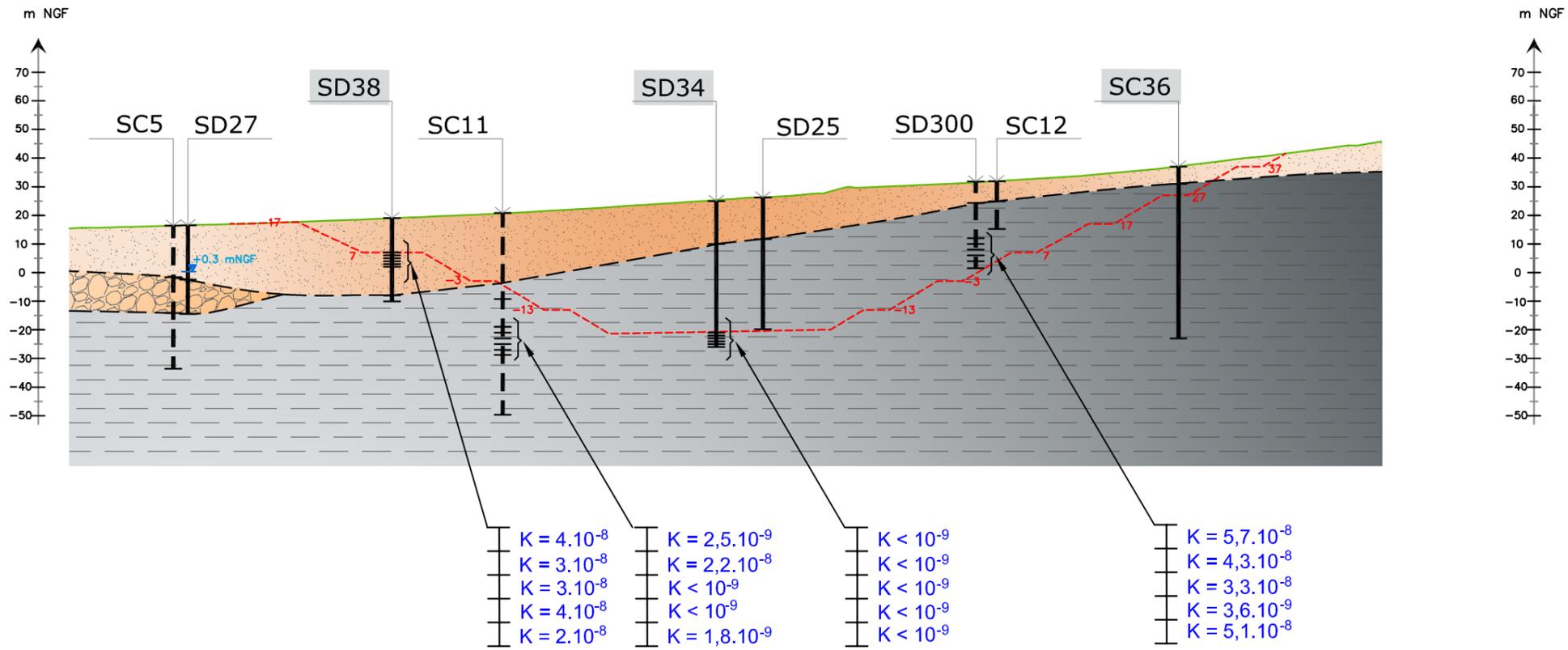
Figure 22 :
COUPE INTERPRETATIVE PROFIL 1
AVEC ESSAIS D'EAU

Echelle: 1/2000



SE

NW



SD32	Sondages réalisés en 2011		Sondage sur la coupe
	Sables et argiles beiges		Sondage projeté
	Sables et graviers		Cote du projet (m NGF) (hypothèse 1 APT 2010)
	Marnes grises		Cote du TN (m NGF)
	Niveau piézométrique		Perméabilité équivalente en m/s (Interprétation type Lefranc)

J:\515\515-10-0024_SITA MEDIT APT ISDND\12_ETU_QUALIF\3-CAO\Résultat_qualif_2011_V0.dwg



DDAE du Pôle multi-filières de la Roseraie - Bellegarde (30)
SITA MEDITERRANEE
ETUDE DE QUALIFICATION GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

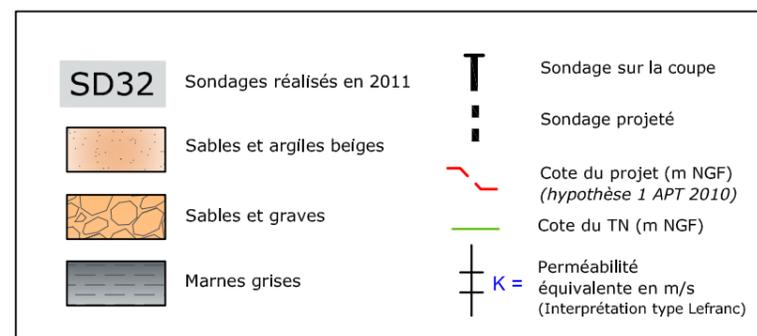
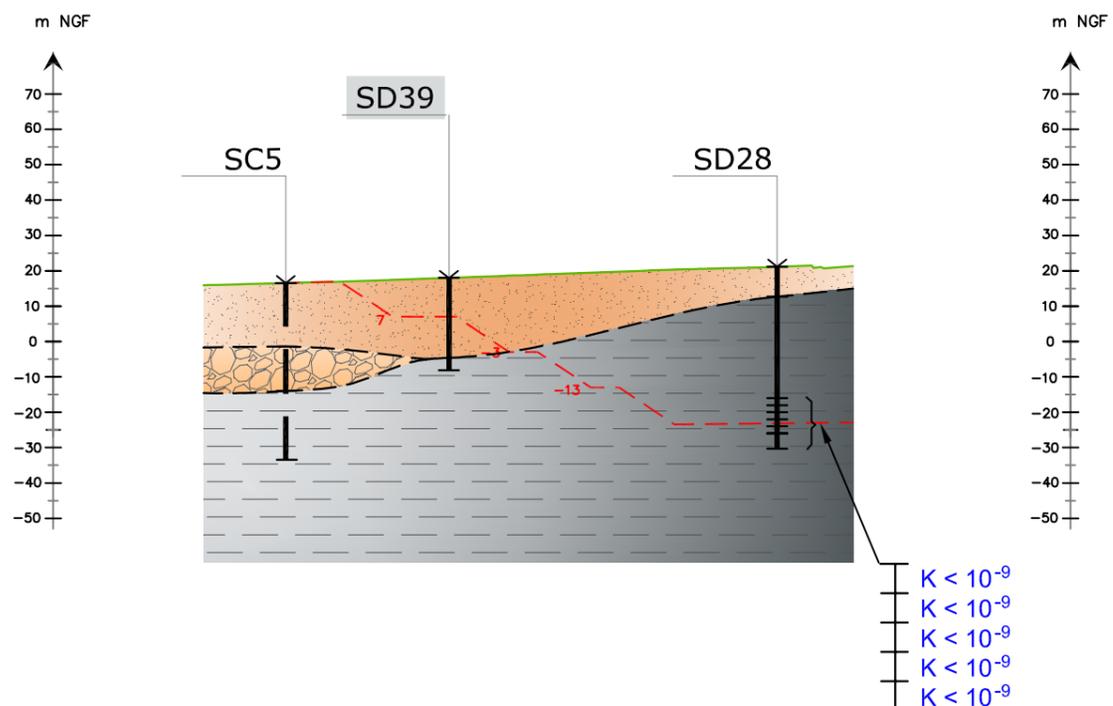
Figure 23 :
COUPE INTERPRETATIVE PROFIL 2
AVEC ESSAIS D'EAU

Echelle: 1/2000



NE

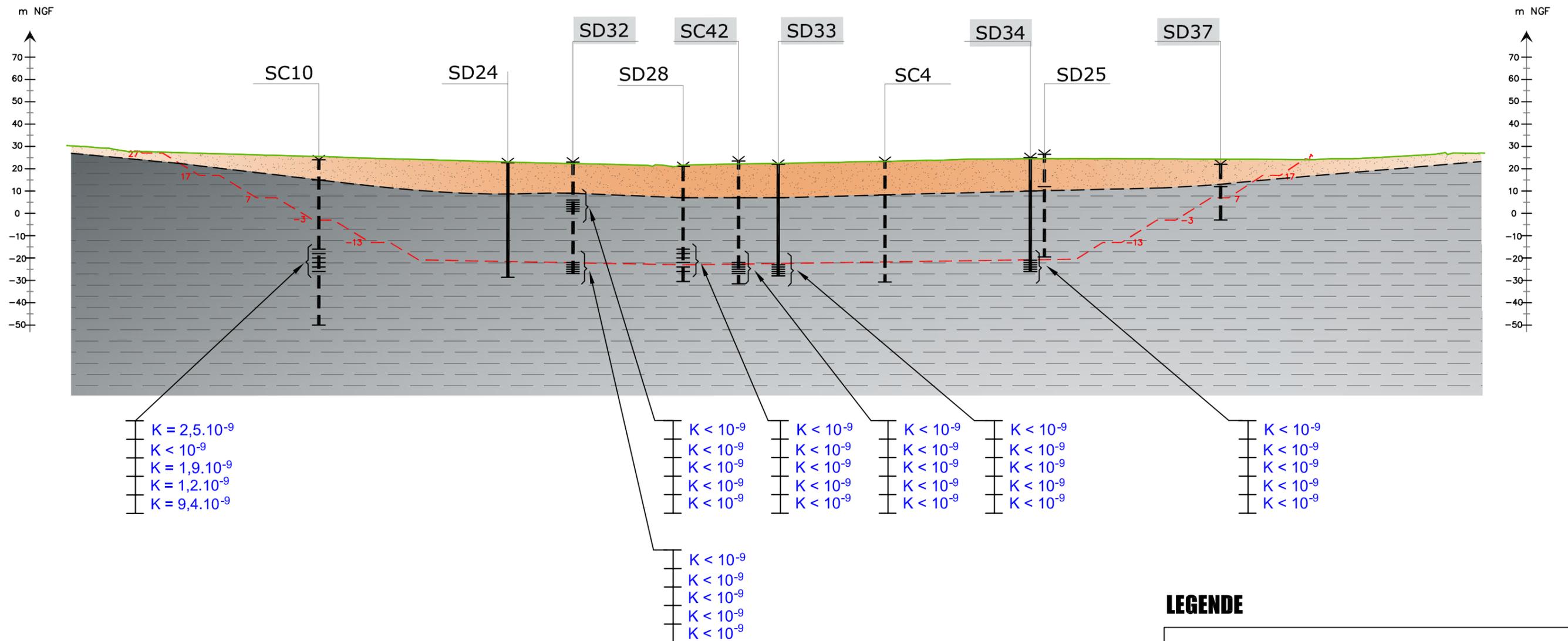
SW



J:\151515-10-0024_SITA MEDIT APT ISDND\12_ETU_QUALIF\3-CAOI\Résultat_qualif_2011_V0.dwg

S

N



LEGENDE

SD32	Sondages réalisés en 2011	T	Sondage sur la coupe
	Sables et argiles beiges	:	Sondage projeté
	Sables et graves		Cote du projet (m NGF) (hypothèse 1 APT 2010)
	Marnes grises		Cote du TN (m NGF)
			Perméabilité équivalente en m/s (Interprétation type Lefranc)

J:\5151515-10-0024_SITA MEDIT APT ISDND\12_ETU_QUALIF\3-CAO\Résultat_qualif_2011_V0.dwg



DDAE du Pôle multi-filières de la Roseraie - Bellegarde (30)
 SITA MEDITERRANEE
ETUDE DE QUALIFICATION GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Figure 25 :
COUPE INTERPRETATIVE PROFIL 4
AVEC ESSAIS D'EAU

Echelle: 1/2000



Annexe 5- 14: Etude de stabilité : Extrait de l'étude
ARCADIS 2007 dans le cadre du projet d'extension
SITA FD (rapport 51 3041 A01 NT01B du 18/01/2008)

4.6. Etude de stabilité

4.6.1. Documents de référence

Les principaux documents de référence utilisés dans le cadre de la présente étude sont énumérés ci après :

- [1] Rapports d'études géologiques, hydrogéologiques et géotechniques – Extension du CSD de Bellegarde – INSAVALOR sa de septembre 1997 ;
- [2] France Déchets – Centre de stockage de déchets ultimes de Bellegarde – Etude de stabilité des talus du centre de stockage – Etude de stabilité des déchets sur le complexe d'étanchéité – drainage - FD Conseil – Novembre 1997 ;
- [3] Rapport n°441C 360 CKO pour SITA FD CSDU – Fugro géotechnique Sud Est – 02/08/2004 ;
- [4] Stabilité géosynthétiques K2 – Centre de stockage de Bellegarde – FAIRTEC – Octobre 2004 ;
- [5] Vue en plan du fond de forme avec implantation des sondages, document de travail créé par ARCADIS.

4.6.2. Description de l'ouvrage

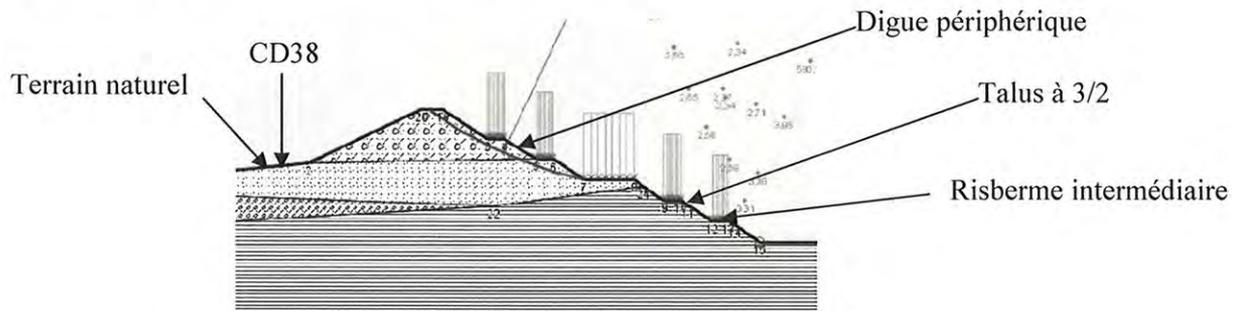
Le fond de forme à créer représente un rectangle de 280 par 60 mètres, d'extension Nord-Sud et se situant à la cote maximale de -20 mètres NGF. Les talus présentent une géométrie générale à 3H/2V avec des risbermes intermédiaires de 8 mètres de largeur situées tous les 10 mètres de hauteur. Le haut du projet se situe au niveau du terrain naturel (cote aux environs de 20 à 30 mètres NGF). Une digue périphérique sera créée sur le pourtour de la zone excavée. Cette digue aura une cote finale aux alentours de 35 mètres NGF.

La présente étude de stabilité porte sur les deux talus en situations les plus défavorables compte tenu de la géométrie du site et du contexte géologique et hydrogéologique.

Notons que la géométrie générale du casier de l'extension est identique à celle du site actuel de Bellegarde 2, géométrie qui avait été validée géotechniquement par les études liées au DDAE de 1999 et confirmée par des études d'exécution préalables aux travaux.

4.6.2.1. Talus Est

La géométrie représentative de la majeure partie du talus Est est présentée ci-dessous, il s'agit de la configuration des terrains rencontrés au droit du profil A.

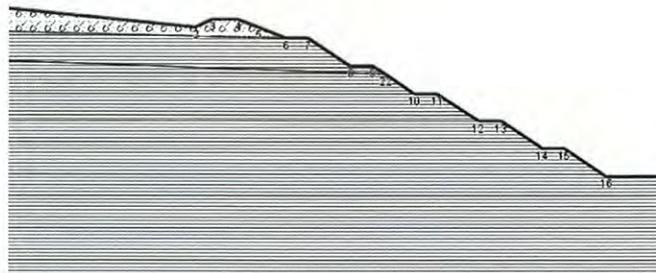


Le terrain naturel se situe au niveau de 20 mètres NGF pour cette coupe.

4.6.2.2. Talus Ouest

La géométrie générale du talus Ouest est similaire à celle du Talus Est. Le niveau du terrain naturel est toutefois plus élevé pour ce talus et situé à 30 mètres NGF environ.

La géométrie générale du talus Ouest est présentée ci-dessous :



- Alluvions grossières : Cette couche alluvionnaire présentant de fortes perméabilités peut se révéler pénalisante pour la stabilité du talus. Toutefois, cette couche a été identifiée uniquement à l'est du projet fond de forme, en retrait de plusieurs dizaines de mètres par rapport au talus Est.
- Marnes grises : Ces marnes sont finement silteuses grises et présentent un aspect visuel très homogène à l'exception de quelques petits lits à composante de sables fins plus prononcée. Cette formation présente de faibles perméabilités et constitue le substratum du projet.

4.6.3.2. Caractéristiques géotechniques

D'après les différents essais réalisés lors de la caractérisation géotechnique du site actuel de Bellegarde 2, les caractéristiques suivantes ont été retenues pour les différents terrains rencontrés :

	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)
Remblais	20	33	0
Sables	20	30	5
Alluvions Grossières	20	28	0
Marnes	20	30	50

4.6.3.3. Stratigraphie retenue pour les calculs de stabilité

4.6.3.3.1. Talus Est

Au droit de ce talus la stratigraphie retenue est la suivante :

- Couche sableuse – argileuse du terrain naturel jusqu'à la cote -8 mètres NGF,
- Couche d'alluvions grossières en retrait par rapport au talus initial et de la cote 0 à -15 mètres NGF,
- Couches de marnes grises en dessous,
- Absence de nappe phréatique.

4.6.3.3.2. Talus Ouest

Au droit de ce talus la stratigraphie retenue est la suivante :

- Couche sableuse – argileuse du terrain naturel jusqu'à la cote +20 mètres NGF,
- Couches de marnes grises en dessous,
- Absence de nappe phréatique.

4.6.4. Modélisations

Les calculs de stabilité sont effectués à l'aide du logiciel TALREN version 4. Ces calculs emploient la méthode de Bishop : calcul selon des tranches de sol des moments moteurs et stabilisateur du glissement.

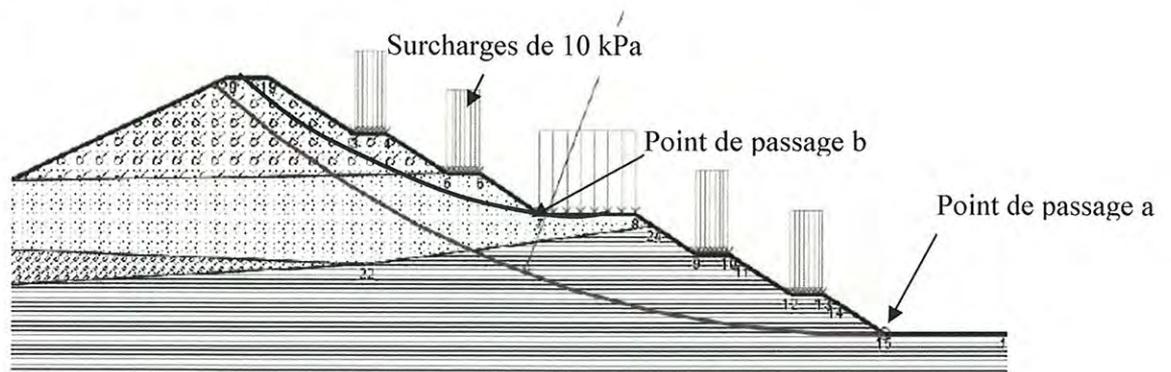
Les calculs sont effectués en comparant le coefficient général de stabilité. Aucun coefficient partiel n'est donc employé et le coefficient global recherché doit être supérieur ou égal à 1,5 (ouvrage définitif), ce qui est sécuritaire dans le cas d'un flanc de stockage destiné à être rapidement épaulé par les déchets stockés.

Un point de passage du cercle de glissement est imposé à chaque calcul. Le logiciel calcule ensuite tous les cercles passant par ce point et présente le plus défavorable.

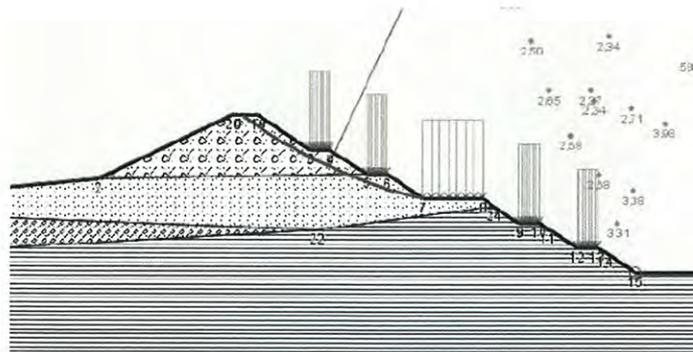
Les principaux résultats sont présentés dans les paragraphes ci-après.

4.6.4.1. Talus Est

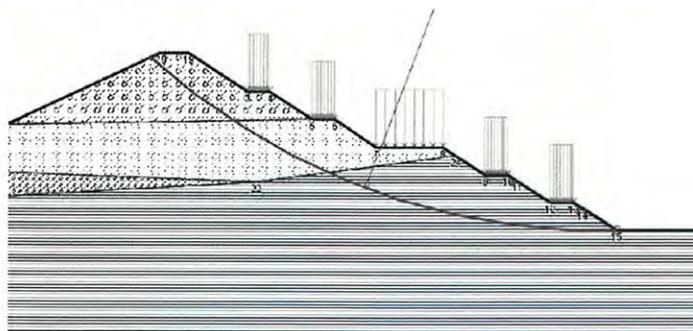
La stabilité de ce talus a été examinée en fonction de deux points de passage (a et b) : a se situe en pied de talus et b au niveau du mur des sables de l'Astien.



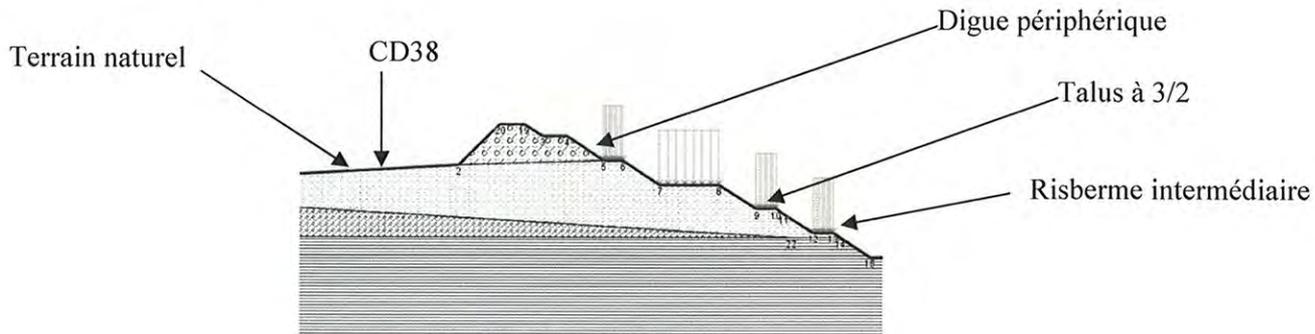
Le cercle de rupture le plus pénalisant est présenté ci-dessous. Le coefficient de sécurité obtenu est de 1,6.



En imposant le point de passage au pied du talus, on obtient le cercle de rupture présenté ci-dessous et un coefficient de sécurité supérieur à 2.



La géométrie la plus pénalisante au droit du talus Est a également été étudiée, il s'agit de la configuration des terrains rencontrée au droit du profil B, profil où on rencontre la plus grande épaisseur de sables et argiles de l'Astien et d'alluvions sablo-graveleux. La géométrie des terrains rencontrée au droit du profil B est présentée ci-dessous :

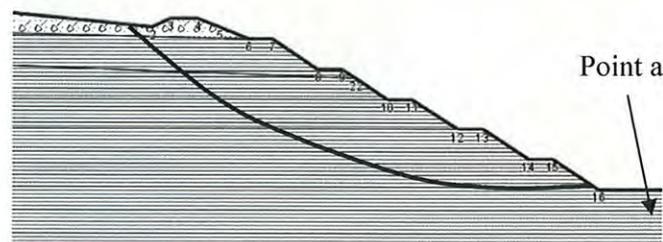


Avec cette géométrie plus pénalisante, on obtient tout de même un coefficient de stabilité globale du talus de 1.76 et une stabilité de 1.58 pour le cercle de peau.

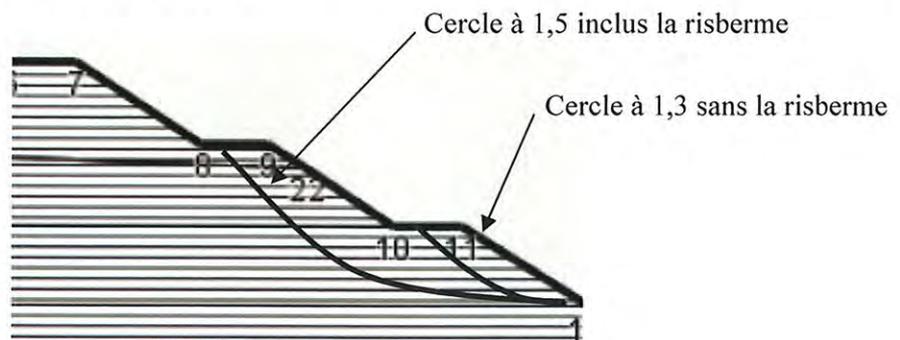
A titre indicatif, le calcul a également été réalisé en modélisant une nappe à 0 m NGF. Les coefficients de sécurité obtenus sont de 1.52 (point de passage a) et 1.2 (point de passage b), ce qui reste suffisant pour une stabilité à court terme (phase chantier).

4.6.4.2. Talus Ouest

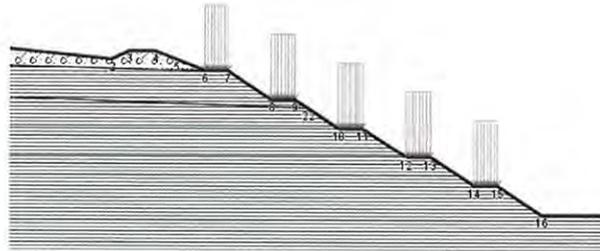
Le modèle est le suivant :



Les calculs ont été effectués sans eau. La stabilité globale étant supérieur à 1,5, les calculs les plus défavorables se situent au niveau des risbermes. Le cercle donnant un coefficient de sécurité de 1,3 peut être considéré comme un cercle de peau.



Des calculs ont été repris en considérant des surcharges, mises en œuvre au niveau des risbermes intermédiaires (surcharges de 20 kPa).



Les calculs donnent un coefficient de sécurité de 1.56 pour la stabilité globale du talus.

Les conclusions ne sont pas majoritairement changées par rapport aux calculs sans surcharge, hormis pour la stabilité des risbermes intermédiaires dont le coefficient de sécurité chute à 1,27 au lieu de 1,3.

On pourra donc s'attendre à de légers mouvements type fluage des terrains en surface des talus à 3H/2V.

La stabilité globale est quant à elle satisfaisante.

Stabilité globale des talus :

Les calculs de stabilité pour l'ensemble du talus, mettent en évidence un coefficient de sécurité supérieur à 1.50, pour le talus Est (configuration des profils a et b, sans eau) et un coefficient de sécurité supérieur à 1.50, pour le talus Ouest. Ces deux coefficients sont considérés comme acceptables et permettent d'assurer la stabilité à long terme de ces talus.

Stabilité des bermes :

Concernant le risque de glissement superficiel (cercle de peau) au droit des bermes situées dans l'horizon des sables et argiles de l'Astien, les premiers calculs de stabilité mettent en évidence un coefficient de sécurité pouvant être légèrement inférieur à 1,5.

Ces résultats confirment les études réalisées antérieurement pour la qualification et la sécurisation des travaux du site actuellement en cours d'exploitation. Notons qu'aucun désordre géotechnique n'a été constaté depuis la création de la fouille du CTSDU de Bellegarde 2, ce qui confirme par rétro-analyse la validité des calculs de l'époque et confirme de fait le bien-fondé des hypothèses prises pour les calculs associés au design de l'extension.

Ainsi, les calculs montrent là aussi que la géométrie envisagée pour ces parties d'ouvrage, permettent d'assurer leur stabilité à long terme

5. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

5.1. Lithologie et stratigraphie

Les sondages carottés et destructifs réalisés au droit du fond de forme (fond et flancs) ont permis de mettre en évidence les mêmes formations que celles rencontrées au droit des casiers anciens et actuels de Bellegarde 2, à savoir de haut en bas, des sables argileux à argiles sableuses beiges de l'Astien et des marnes grises du Plaisancien sous-jacentes. Le substratum marneux a été recoupé à des profondeurs comparables à celles du site actuel. Le fond de casier et une grande partie des flancs seront installés dans les marnes grises imperméables.

D'après les données bibliographiques collectées dans le cadre de cette étude, l'épaisseur de cet encaissant pourrait atteindre plusieurs centaines de mètres. En tout état de cause, les sondages réalisés dans le cadre de cette étude confirment bien cette présence jusqu'à 40 mètres en dessous du fond de forme projeté.

Des alluvions sablo-graveleux, par ailleurs, ont été mis en évidence à l'Est du site, à l'extérieur de l'emprise du projet de casier, elles s'intercalent entre les sables argileux et argiles sableuses astiennes et les marnes, et se présentent sous la forme d'horizons plurimétriques qui se biseautent jusqu'à disparaître complètement en direction du projet.

5.2. Classification GTR des matériaux de la zone d'étude

Les résultats mettent en évidence la nature fine de l'ensemble des matériaux prélevés, que ce soit dans l'horizon des sables et argiles beiges de l'Astien ou dans les marnes grises du Plaisancien.

Les marnes grises sont globalement homogènes et ont une granulométrie très fine avec une fraction argileuse de l'ordre de 40%.

Cette identification GTR (classification A1 et A2 des marnes grises) confirme ce qui avait été établi lors des études précédentes, notamment celles préalables aux travaux du site actuel de Bellegarde 2. Les mêmes utilisations et préconisations concernant les matériaux du site pourront donc être appliquées.

5.3. Perméabilité des formations

Les perméabilités in-situ, mises en évidence au droit du site, sont comprises :

- dans les sables et argiles beiges, entre $2.4 \cdot 10^{-8}$ m/s et une perméabilité inférieure à $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (essais uniquement réalisés au droit du sondage SD31) ;
- dans les marnes grises, entre $9 \cdot 10^{-8}$ m/s et une perméabilité inférieure à $1 \cdot 10^{-9}$ m/s avec majoritairement des perméabilités inférieures à $5 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Ces résultats confirment la très faible perméabilité à l'échelle mésoscopique, du substratum marneux constituant l'assise du casier.

Excepté quelques valeurs de perméabilité légèrement supérieures à 1.10^{-9} m/s (cf. chapitre 4.3.1), l'étude des caractéristiques hydrauliques de marnes grises montre des résultats conformes aux études et différents essais et reconnaissances de site déjà réalisées sur le site actuel de Bellegarde 2.

Les essais in-situ ont été complétés par des essais en laboratoire qui confirment les résultats de terrain (perméabilité de l'ordre de 5.10^{-9} m/s). Ces essais de laboratoire ont également mis en évidence le caractère gonflant des matériaux, confirmant la nature argileuse des marnes qui formeront l'encaissant du projet de fond de forme.

5.4. Piézométrie et écoulements souterrains

Le site d'étude se situe entre la nappe d'accompagnement du Rhône et la nappe perchée des Costières, sur un seuil hydrogéologique exondé. Aucun aquifère constitué n'a été identifié dans l'emprise du projet, seuls en limite Est, les piézomètres SD20 et SD27 interceptent la nappe de Camargue, nappe dont le niveau piézométrique oscille entre +2.5 m NGF et -3.5 m NGF selon les saisons.

Les marnes du Plaisancien constituent un substratum imperméable présent sous l'ensemble du projet de fond de forme, à différentes profondeurs selon le niveau d'érosion anté-astienne dont il a été affecté. Il constitue un mur hydrogéologique pour les rares écoulements qui sont ponctuellement constatés à leur interface avec les sables de l'Astien.

Ces résultats confirment et confortent les études réalisées antérieurement pour la qualification du site actuellement en cours d'exploitation, où seuls quelques lentilles d'eau fossile, piégées dans des interlits silteux de la frange superficielle des marnes, qui s'essorent lentement avant de se tarir, ont été observées lors de l'ouverture des fouilles.

Le contexte hydrogéologique de la zone d'étude est donc très favorable à l'extension du casier de Bellegarde 2.

5.5. Etude de stabilité

Les calculs de stabilité pour l'ensemble du talus, mettent en évidence un coefficient de sécurité supérieur à 1.50, pour le talus Est (configuration des profils a et b, sans eau) et un coefficient de sécurité supérieur à 1.50, pour le talus Ouest. Ces deux coefficients sont considérés comme acceptables et permettent d'assurer la stabilité à long terme de ces talus.

Concernant le risque de glissement superficiel (cercle de peau) au droit des bermes situées dans l'horizon des sables et argiles de l'Astien, les premiers calculs de stabilité mettent en évidence un coefficient de sécurité pouvant être légèrement inférieur à 1,5.

Ces résultats confirment les études réalisées antérieurement pour la qualification et la sécurisation des travaux du site actuellement en cours d'exploitation. Notons qu'aucun désordre géotechnique n'a été constaté depuis la création de la fouille du CTSDU de Bellegarde 2, ce qui confirme par rétro-analyse la validité des calculs de l'époque et confirme de fait le bien-fondé des hypothèses prises pour les calculs associés au design de l'extension.

Ainsi, les calculs montrent là aussi que la géométrie envisagée pour ces parties d'ouvrage, permettent d'assurer leur stabilité à long terme

5.6. Conclusion – Mesures compensatoires

La présente étude de qualification géologique, hydrogéologique et géotechnique, réalisée dans le cadre du projet d'extension du centre de traitement et de stockage de Bellegarde 2 confirme la présence d'un encaissant géologique marneux très imperméable, favorable à l'implantation de l'extension du CTSDU de Bellegarde 2. Au vu de la qualité de ce substratum (matériaux argileux très peu perméables) et de son épaisseur (plusieurs centaines de mètres), le confinement géologique du projet de fond de forme est excellent.

Les perméabilités mesurées se situent toutes dans une gamme de valeur comprise entre 5.10^{-9} et moins de 1.10^{-9} m/s ; ces valeurs sont conformes à ce qui avait été mesuré et observé lors de la qualification du site de Bellegarde 2 en 1997.

Tout comme sur le site actuel de Bellegarde 2, ces mesures seront complétées au moment de l'ouverture des terrassements de pleine masse, par des essais de perméabilité, dont le type normalisé et le maillage seront définis. Ces essais seront réalisés en fond de forme, sur les flancs et les risbermes, une fois l'excavation réalisée. Si les essais mettaient en évidence des zones de plus forte perméabilité, des aménagements palliatifs seraient réalisés, par reconstitution localisée de la barrière passive, et/ou traitement de matériaux.



Annexe 5-15 : Etude de stabilité du réaménagement final (dôme) : rapport ARCADIS 2012

Table des Matières

1	Introduction	3
2	Contexte du site.....	3
3	Etude de Stabilité	4
3.1	Hypothèses de calcul.....	4
3.1.1	Méthode de calcul	4
3.1.2	Profils de calcul	5
3.1.3	Caractéristiques mécaniques des terrains.....	5
3.1.4	Méthode de calcul	7
3.2	Résultats du calcul.....	7
4	Conclusions et dispositions constructives	8
4.1	Résultats.....	8
4.2	Préconisations de mise en œuvre des matériaux de digues.....	8

Liste des annexes

- Annexe 1 Classification des missions géotechniques**
- Annexe 2 Implantation et profils de calcul**
- Annexe 3 Résultats des calculs TALREN**

1 Introduction

Dans le cadre du projet de réalisation d'une installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) sur la commune de Bellegarde (30), ARCADIS a réalisé une étude de stabilité du dôme de déchets une fois réhabilité.

L'objectif de ce rapport est de vérifier la stabilité des talus formés à terme par les déchets, en considérant un dôme monté jusque vers la cote 80 mNGF, avec ou sans digue.

Cette étude est une mission G5 (diagnostic géotechnique portant sur le seul point de la stabilité) d'après la classification des missions géotechniques normalisées (Cf. annexe 1).

2 Contexte du site

Les sondages carottés et destructifs réalisés en 2007 et 2011 dans le cadre des qualifications géologiques et hydrogéologiques du site, ont permis de mettre en évidence les terrains suivants, du haut vers le bas :

- des sables argileux à argiles sableuses beiges de l'Astien,
- des alluvions de la plaine de Camargue composés de sables et graves (observé principalement dans le secteur Sud-Est du projet),
- des marnes grises du Plaisancien sous-jacentes.

Le fond de forme du casier se situe vers la cote -23 mNGF. Les talus du casier présentent une géométrie générale à 3H/2V avec des risbermes intermédiaires de 8 m de largeur minimum situées tous les 10 mètres de hauteur.

Hors sol, afin de pouvoir assurer la stabilité finale du réaménagement jusqu'à son sommet situé vers la cote 80 mNGF, des digues seront créées avec les matériaux du site au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation.

Ces digues auront pour but d'assurer la stabilité du massif et de faciliter la gestion des eaux, en particulier vers l'un des trois principaux bassins du site (celui dont la capacité est la plus importante mais qui se trouve situé le plus haut = bassin EP2).

3 Etude de Stabilité

3.1 Hypothèses de calcul

3.1.1 Méthode de calcul

Les calculs de stabilité ont été réalisés à l'aide du logiciel TALREN. La méthode de calcul choisie est la méthode de Bishop avec des surfaces de rupture circulaires.

Le coefficient de sécurité global F , supposé constant sur la surface de rupture, est défini comme le rapport de la contrainte de cisaillement maximale τ_{max} à la contrainte de cisaillement τ mobilisée (τ_m), le long de la surface de rupture.

En chaque point de la ligne de rupture :

$$\tau_m = C' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$$

avec

$$\sigma' = \sigma - u$$

σ = contrainte normale

u = pression interstitielle (eau, rue)

C' = cohésion effective du sol au droit de la ligne de rupture

φ' = angle de frottement effectif du sol au droit de la surface de rupture.

Dans un talus les forces agissant sont principalement la pesanteur, les surcharges, l'action de l'eau.

Ces sollicitations donnent naissance le long de la surface de rupture à des contraintes normales et tangentielles comme l'illustre la figure ci-dessous :

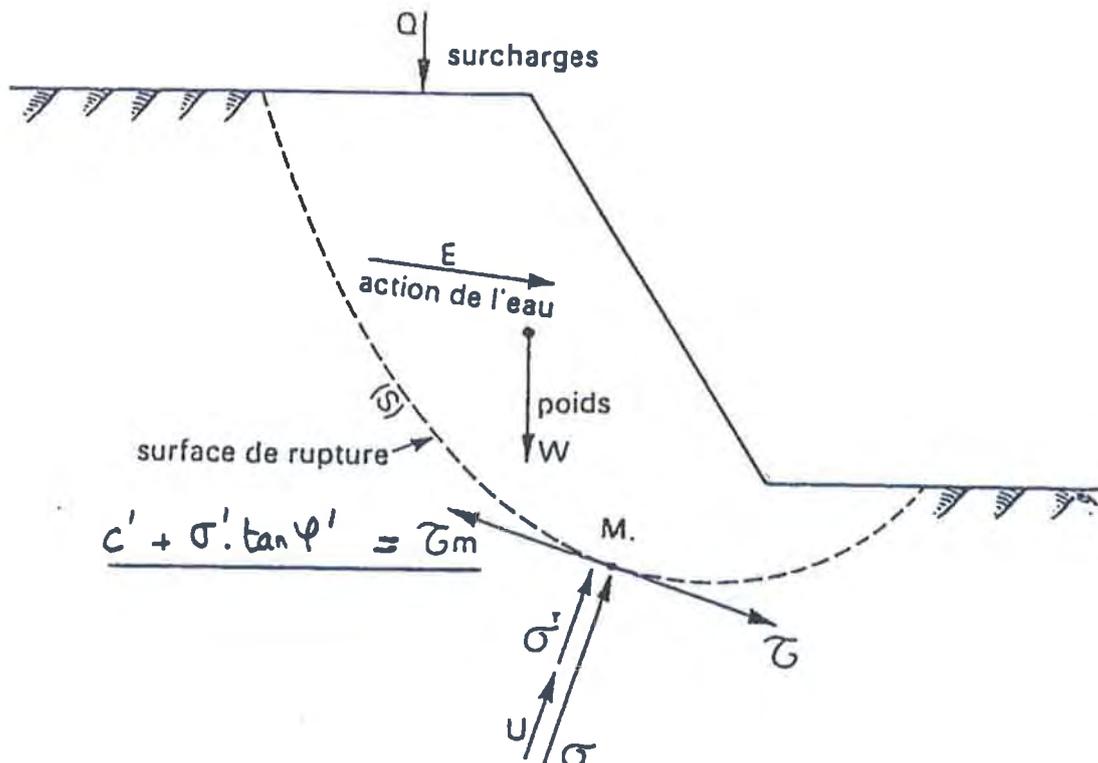


Figure 1 : Stabilité d'un talus, sollicitations et contraintes.

L'analyse de la stabilité est effectuée en **méthode globale**. Les coefficients de sécurité F requis doivent être de l'ordre de 1.5 en phase définitive et de 1.3 en phase provisoire ou pour des ouvrages pouvant accepter une certaine déformation.

3.1.2 Profils de calcul

La vérification de la stabilité est faite suivant le profil le plus défavorable, à savoir sur le talus Nord, là où la géométrie du dôme est la plus haute et la plus raide.

L'implantation du profil est donnée en annexe 2.

Les pentes des digues sont de 1H/1V en intrados et de 2H/1V en extrados. Ces pentes permettent d'assurer la stabilité propre des digues (si l'on considère qu'elles seront réalisées avec des matériaux extraits du site).

Les digues s'alternent en 1 digue circulaire (largeur de la risberme = 4 à 5 m), puis une digue non circulaire (largeur de la risberme = 2 m).

3.1.3 Caractéristiques mécaniques des terrains

3.1.3.1 Caractéristiques des déchets

Les déchets stockés seront préférentiellement des ordures ménagères résiduelles (OMR), refus d'installation de tri sur OMR type TMB, refus d'installation de tri DIB, encombrants, DIB ultime, déchets minéraux ultimes...

Les caractéristiques mécaniques des matériaux retenues pour les calculs sont issues principalement des études antérieures réalisées sur ce site et de la bibliographie.

Ainsi, il a été considéré dans les calculs les caractéristiques à long terme suivantes, pour l'ensemble des déchets :

- un poids volumique $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3 (1 \text{ t/m}^3)$,
- un angle de frottement $\phi = 25^\circ$,
- une cohésion $c = 5 \text{ kPa} (0.5 \text{ t/m}^2)$.

Ces caractéristiques sont plutôt conservatrices car généralement retenues pour des déchets fortement fermentescibles.

Les massifs de déchets sont réputés sans présence de lixiviats puisque drainés selon les modes d'exploitation mis en œuvre par le Maître d'Ouvrage ; il n'a donc pas été pris en compte de nappe dans les calculs.

Toutefois, compte tenu de l'hétérogénéité des déchets et donc des perméabilités, il a été fait le choix selon le principe de précaution de modéliser la pression interstitielle (u) comme pour les calculs à court terme, en prenant $ru = 0,1$ ($u = ru \times \gamma \times h$), ru étant un équivalent à un degré de saturation ($ru = 0,1$ equivo à une saturation de 10 % au sein des matériaux considérés).

3.1.3.2 Caractéristiques des matériaux des digues

Les digues seront constituées par les matériaux extraits du site et principalement par les sables argileux à argiles sableuses beiges de l'Astien.

Dans ces conditions, et pour des matériaux peu compactés mais mis en place soigneusement par couches successives, nous proposons de retenir les caractéristiques suivantes :

- un poids volumique $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ (2 t/m³),
- angle de frottement $\phi = 28^\circ$,
- une cohésion $c = 7 \text{ kPa}$

Lors de leur réalisation, ces digues feront l'objet de contrôles adaptés afin de s'assurer de la bonne adéquation entre les caractéristiques géomécaniques ici retenues et leur nature, leur mode de mise en œuvre (classification GTR, contrôle de compactage...) etc...

3.1.3.3 Caractéristiques des terrains en place

Dans le présent modèle, seules les caractéristiques de terrain de surface ont été considérées, à savoir les sables argileux et argiles sableuses. En effet, les autres terrains plus profonds n'interfèrent pas avec la stabilité du dôme de déchets.

Dans ces conditions ces matériaux ont été modélisés avec les caractéristiques suivantes (approche plutôt sécuritaire) :

- un poids volumique $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ (2 t/m³),
- angle de frottement $\phi = 30^\circ$,
- une cohésion $c = 5 \text{ kPa}$

3.1.3.4 Pression interstitielle

La pression interstitielle représente l'action de l'eau sur le massif. Elle a tendance à diminuer la contrainte de cisaillement ($\sigma' = \tau - u$). Elle a donc en général un effet déstabilisateur.

La pression interstitielle (u), en prenant $ru = 0,1$ ($u = ru \times \gamma \times h$) n'a été prise en compte que dans les déchets. Afin d'analyser son influence, il a été étudié les 2 situations : avec ou sans prise en compte du ru .

Les matériaux de digues, sont supposés drainés ou exempt d'eau, aucune surpression interstitielle n'a été considérée dans ces matériaux, comme dans le terrain en place.

Dans le cas contraire, il conviendrait d'analyser l'influence d'une pression interstitielle (u) dans ce massif par l'introduction du coefficient ru .