

SYNDICAT MIXTE DE LA ZONE DU VERDON

ISDND « Pied de la Chèvre »
GINASSERVIS (83)

Annexe technique : Note d'équivalence de la barrière passive

Rapport

Réf : CDMCSE150382 / RDMCSE00913

FBN / AC / GRE

15/04/2017







www.burgeap.fr

SYNDICAT MIXTE DE LA ZONE DU VERDON

ISDND « Pied de la Chèvre » GINASSERVIS (83)

Annexe technique : Note d'équivalence de la barrière passive

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport	15/09/2015	01	F.BERNADET		A.CHEREL		G.REGNARD	
Rapport	15/04/2017	02					G.REGNARD	

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CDMCSE150382 / RDMCSE00913
Numéro d'affaire :	A07399
Domaine technique :	SD04
Mots clé du thésaurus	CENTRE DE STOCKAGE DE DECHETS DOSSIER D'AUTORISATION

Agence Sud-Est – site d'Avignon
 Agroparc - 940, route de l'aérodrome - BP 51 260 – 84911 Avignon Cedex 9
 Tél : 04.90.88.31.92 • Fax : 04.90.88.31.63
agence.de.avignon@burgeap.fr

SOMMAIRE

1. Contexte et objectif de l'étude	4
2. Aspects réglementaires	4
3. Synthèse de la caractérisation du milieu géologique et hydrogéologique	5
3.1 Contexte géologique au droit du site	5
3.2 Mesures de perméabilité.....	6
3.3 Contexte hydrogéologique	6
3.3.1 Contexte régional	6
3.3.2 Ruissellements de subsurface	6
3.3.3 Piézométrie.....	7
4. Inventaire des cibles potentielles – Utilisation des eaux souterraines	8
5. Projet de dispositif de barrières – Données sur l'aménagement des casiers	9
5.1 Définition de la zone de stockage.....	9
5.2 Réalisation des casiers	9
5.2.1 Terrassements	9
5.2.2 Etanchéité des alvéoles.....	9
6. Evaluation de l'impact potentiel de l'installation de stockage sur son environnement	12
6.1 Hypothèses retenues	12
6.2 Fond du casier.....	12
6.2.1 Hypothèses d'une barrière passive réglementaire	12
6.2.2 Equivalence de la barrière passive avec un GSB	14
6.2.3 Bilan	14
6.3 Flancs du casier	15
7. Synthèse	15

FIGURES

Figure 1 : Vue schématique des niveaux piézométriques du 17/02/2014	8
Figure 2 : Coupes schématiques du dispositif d'étanchéité.....	10

TABLEAUX

Tableau 1 : Côtes NGF des piézomètres (Source : Etude hydrogéologique – Provence Ecoconseils 2014 et relevé topographique CLD 02/2017).....	7
Tableau 2 : Campagne piézométrique de hautes eaux 2014 (février et mars)	7
Tableau 2 : Epaisseur de matériaux d'une barrière passive réglementaire.....	12
Tableau 3 : Epaisseur des matériaux au droit de la barrière passive projetée.....	14
Tableau 4 : Synthèse des calculs	14

1. Contexte et objectif de l'étude

La présente étude s'inscrit dans le cadre du projet de création d'un nouveau bloc de stockage au droit de l'Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND) localisée sur la commune de Ginasservis (83).

Les conditions naturelles des terrains au droit du nouveau bloc de stockage (site 2) ne sont pas conformes à la réglementation actuelle qui demande de disposer au minimum sur le fond et les flancs du stockage (depuis la barrière active) de 1 m de matériaux à des perméabilités inférieures à 1.10^{-9} m/s et de 5 m de matériaux à des perméabilités inférieures à 1.10^{-6} m/s (Cf. article 8 de l'arrêté du 15 février 2016).

En conséquence, la présente étude de l'équivalence de la barrière passive a pour but d'étudier une solution équivalente d'étanchéité permettant la faisabilité du projet.

2. Aspects réglementaires

Le projet s'inscrit dans un cadre réglementaire général défini par l'arrêté ministériel du 15 février 2016 relatif aux ISDND. Ce texte réglementaire fixe des objectifs et des prescriptions concernant le choix du site, ses aménagements, son exploitation, la fin de son exploitation et sa couverture, sa gestion à long terme et la mise en conformité des installations existantes.

L'arrêté ministériel précise notamment dans l'article 8, que la barrière de sécurité passive est normalement constituée par le substratum du site qui doit présenter, de haut en bas, une perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 m et inférieure à 1.10^{-6} m/s sur au moins 5 m. Ces préconisations sont également reprises dans la circulaire 1999/31/CE du 26 avril 1999.

Il est également précisé que lorsque la perméabilité naturelle du substratum ne répond pas à ces exigences, des mesures compensatoires pourront être proposées par l'exploitant pour assurer un niveau de protection équivalent. En tout état de cause, l'épaisseur de la barrière de protection artificielle ne devra pas être inférieure à 0,5 m.

La notion d'équivalence en étanchéité passive apparaît dans les différents textes réglementaires régissant les stockages de déchets. L'évaluation de l'équivalence a fait l'objet d'un guide de recommandations édité par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable « Guide de recommandations pour l'évaluation de « l'équivalence » en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets », MEEDDAT, version 2, février 2009.

La notion d'équivalence en barrière passive de casier de stockage est définie sur la base d'un impact potentiel équivalent sur une ressource en eau souterraine. Le complexe d'étanchéité passive est considéré comme étant équivalent lorsqu'il assure un même niveau de protection que la barrière passive type en termes d'impact potentiel sur une ressource en eau souterraine.

Il s'agira par conséquent dans le cas présent d'évaluer et de justifier une barrière passive « équivalente » considérant les caractéristiques de la barrière passive projetée.

La présente étude d'équivalence permet de répondre aux principaux éléments demandés dans le « Guide de recommandations pour l'évaluation de « l'équivalence » en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets », version 2 de février 2009, avec notamment,

1. la synthèse de la caractérisation du milieu géologique et hydrogéologique présentant clairement les informations disponibles concernant la piézométrie des nappes d'eau présentes au droit du site et dans le voisinage du projet,
2. l'inventaire des cibles potentielles,
3. le schéma conceptuel : synthèse de la situation géologique et hydrogéologique qui permet de mieux expliquer les directions d'écoulement et d'apprécier la vulnérabilité des éventuelles cibles identifiées,
4. la description du projet de dispositif de barrière passive présentant la ou les options équivalentes proposées,
5. une évaluation qualitative des effets à long terme (stabilité),
6. l'évaluation semi-quantitative de l'impact potentiel sur les eaux souterraines au droit du site, pour la configuration de la barrière proposée et pour la barrière réglementaire.

L'évaluation des effets à long terme sur la stabilité est étudiée dans l'annexe technique « **Etude de stabilité** » du présent dossier de demande d'autorisation d'exploiter.

L'impact potentiel sur les eaux souterraines est étudié dans l'ERS du présent dossier de demande d'autorisation d'exploiter.

3. Synthèse de la caractérisation du milieu géologique et hydrogéologique

Le contexte géologique et hydrogéologique du site est détaillé dans l'annexe technique « Investigations géologiques et hydrogéologiques détaillées » du **Dossier n°8**. Les principaux points sont synthétisés ci-dessous.

3.1 Contexte géologique au droit du site

D'après la carte géologique de Tavernes, le sous-sol du site comprend les formations suivantes (de la surface vers la profondeur),

- calcaires du Berriasien (base du Crétacé) : calcaires en plaquettes avec intercalations marneuses et marno-calcaires, d'une épaisseur probable de plusieurs centaines de mètres,
- calcaires du Portlandien (sommet du Jurassique) : calcaires en plaquettes passant à des faciès récifaux en gros bancs avec la profondeur, d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres.

3 sondages destructifs et 1 sondage carotté de profondeurs comprises entre 8 et 10 m ont été réalisés au droit de l'ancienne décharge. Ils ont mis en évidence du haut vers le bas :

- déchets remblayés. Cet horizon d'une épaisseur maximale de 7 m est constitué de limons mélangés aux dépôts d'ordures ménagères déjà en place ;
- calcaires beiges. Cet horizon présente une frange d'altération, d'épaisseur et de compacité variables.

Les 7 piézomètres réalisés au droit et à proximité du site mettent en évidence la présence en profondeur de calcaires plus ou moins fissurés avec présence de passage plus argileux.

3.2 Mesures de perméabilité

Des essais de type Nasberg (infiltration à charge constante) ont été réalisés dans les calcaires compacts au droit des sondages SP1 et SP3, soit entre 4 et 10 m de profondeur par rapport au TN. Ces essais ont été réalisés selon la norme NF P 94-132.

Ceux-ci ont montré des perméabilités de fractures suivantes,

- SP1 : $K=6.10^{-6}$ m/s,
- SP3 : $K=2.10^{-5}$ m/s.

Les formations situées sous le fond projeté des futurs casiers présentent une perméabilité moyenne incompatible en l'état avec les critères réglementaires relatifs à la barrière passive pour ses parties inférieures (5 m à perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-6} m/s) et supérieure (1 m à perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s).

3.3 Contexte hydrogéologique

3.3.1 Contexte régional

On peut, compte tenu des formations géologiques présentes dans le vallon de l'ISDND de Ginasservis et de leurs caractéristiques physiques et mécaniques, différencier plusieurs unités hydrogéologiques.

Les formations du Crétacé supérieur et du Tertiaire sont constituées d'une alternance de niveaux calcaires, marneux et argileux. Cette configuration stratifiée induit un système hydrogéologique globalement peu productif. Les terrains pouvant potentiellement constituer des réservoirs sont compartimentés par des terrains peu perméables à imperméables.

Des contextes locaux peuvent néanmoins s'avérer plus propices à l'exploitation d'eaux souterraines.

3.3.2 Ruissellements de subsurface

Lors de la campagne d'investigation, une venue d'eau a été observée dans le sondage SP2 vers 7 m de profondeur.

Cette venue d'eau observée au droit de ce sondage correspond probablement à un écoulement de subsurface alimenté par les infiltrations d'eaux pluviales. Ces venues d'eau sont temporaires, sans épaisseur et sans niveau statique mesurable, elles ne constituent pas une nappe à proprement parler, mais des ruissellements en subsurface d'eaux pluviales.

Aucune source n'a été mise au jour par la campagne d'investigations GEOLITHE de novembre 2011 dans la zone étudiée. Les investigations ont mis en évidence une venue d'eau dans le sondage SP2 à 7,3 m de profondeur.

3.3.3 Piézométrie

7 piézomètres sont présents au droit ou à proximité du site.

Tableau 1 : Côtes NGF des piézomètres (Source : Etude hydrogéologique – Provence Ecoconseils 2014 et relevé topographique CLD 02/2017)

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7
Cote NGF de la tête (m)	444,27	435,34	409,29	398,52	403,47	404,96	399,52

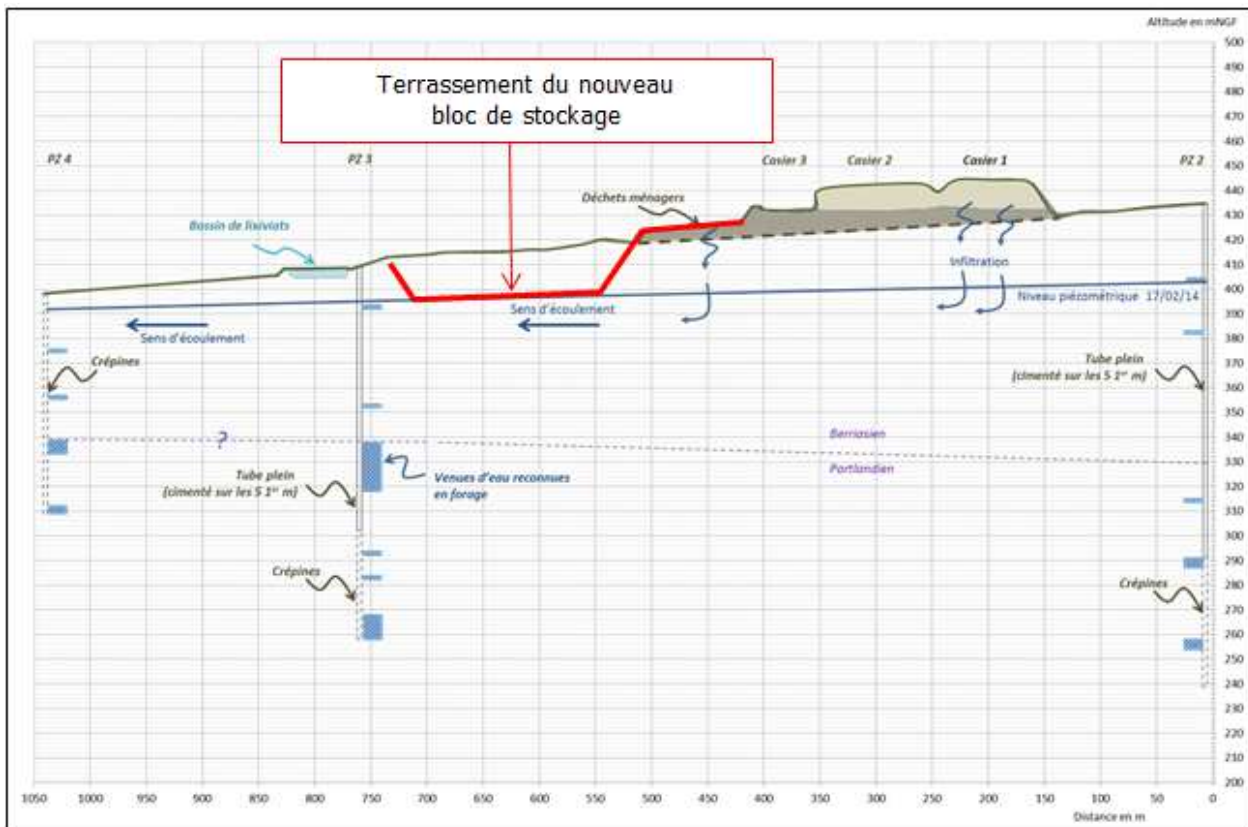
En dehors des PZ6 et PZ7 qui n'existaient pas en 2014, les niveaux statiques relevés au cours de la campagne piézométrique de février et mars 2014 sont présentés ci-dessous.

Tableau 2 : Campagne piézométrique de hautes eaux 2014 (février et mars)

	Emplacement de l'ouvrage	Cote de l'ouvrage (m NGF)	Cote min du NS (m NGF) (25/03/2014)	Cote max du NS (m NGF) (17/02/2014)
PZ1	Aire attelage/dételage	444,27	384,23	403,17
PZ2	150 en amont du site	435,34	380,69	403,91
PZ3	bassins EP et lixiviats	409,29	368,92	395,9
PZ4	200 m en aval du site	398,52	370,24	391,99
PZ5	200 m en aval du site	403,47	369,24	389,99

Au vu des différentes études hydrogéologiques menées au droit du site, il semble que PZ5 soit légèrement excentré par rapport à la direction d'écoulement des eaux souterraines. Cet ouvrage est peu productif et paraît alimenté par une autre origine. PZ4 est bien dans l'axe d'écoulement des eaux.

Une vue schématique en coupe des niveaux de nappe relevés le 17 février 2014 (hautes eaux) au droit du site est présentée ci-dessous. Cette période correspond au niveau piézométrique le plus haut observé au droit de PZ3 depuis le début du suivi des eaux souterraines du site en 2009 réalisé par PROVENCE ECOCONSEIL.

Figure 1 : Vue schématique des niveaux piézométriques du 17/02/2014


A noter que les enregistrements piézométriques montrent un battement de nappe d'environ 50 m au droit de l'ensemble des piézomètres en fonction de la saison et des périodes de pluies.

Toutefois, les niveaux d'eau relevés au droit des piézomètres représentent des ruissellements au sein des formations calcaires. Ils ne sont donc pas représentatifs d'un niveau de nappe constant et sont directement influencés par la pluviométrie.

4. Inventaire des cibles potentielles – Utilisation des eaux souterraines

Hormis les 3 piézomètres réalisés par BURGEAP en juillet 2002, 1 seul ouvrage est référencé sur les données BSS dans un rayon de 5 km autour du site (source : infoterre.brgm.fr).

L'ouvrage référencé 09962X0009/F se situe au niveau de la commune de Ginasservis, à environ 2 km au sud-ouest du site. D'une profondeur de 80 m, il est référencé à usage d'eau domestique.

Aucun ouvrage de prélèvement souterrain connu de l'Agence de l'eau n'est recensé sur les communes de Ginasservis et St-Julien (source : sierm.eaurmc.fr).

5. Projet de dispositif de barrières – Données sur l'aménagement des casiers

5.1 Définition de la zone de stockage

Le nouveau casier de stockage de déchets présentera une superficie totale d'environ 3,8 ha. Il sera situé en aval du casier 3 (site 1), s'étendant jusqu'à la zone des bassins eaux pluviales et lixiviats.

Le casier subdivisé en 5 alvéoles réparties sur 2 étages d'exploitation pour la partie située hors ancienne décharge sauvage. Chaque alvéole aura une surface au sol moyenne comprise entre 3 260 m² et 10 860 m² et sera constitué de sous-alvéoles de surfaces inférieures à 2 000 m². La pente de talus intérieur du bloc de stockage sera de 1H/1V avec une risberme intermédiaire située à mi-hauteur pour la partie aval du casier (Cf. **Dossier n°7 – Plans techniques**).

La partie aval de la zone d'exploitation sera ceinturée par une digue de pied. La hauteur de la digue de pied sera au maximum de 12 m par rapport au terrain naturel actuel.

Les éléments caractéristiques de la solution retenue sont les suivants,

- cote maximale du dôme une fois réhabilité (hors plantations) : +443 m NGF,
- hauteur totale de déchets : comprise entre 10 m au droit de l'alvéole 1 (site 2) et 30 m en aval de l'alvéole 1 (site 2).

5.2 Réalisation des casiers

5.2.1 Terrassements

Les terrassements en déblais génèreront au total environ 285 000 m³ de matériaux qui seront soit stockés en ISDI pour une revalorisation ultérieure pour les calcaires sains soit réutilisés en remblais sur place selon leurs aptitudes.

La cote de fond de fouille du casier d'exploitation sera comprise entre + 398,54 et + 430,13 m NGF avec des profondeurs de terrassements,

- maximum : 23 m par rapport au terrain naturel dans la partie aval du casier de stockage,
- moyenne : 10,4 m par rapport au terrain naturel.

Les cotes de terrassement ont été fixées de sorte à ce que le point bas du projet soit en permanence à minima 2 m au-dessus du niveau de plus hautes eaux relevé sur la période de suivi (2009-2014).

Les excavations pour terrasser les casiers induiront la création de talus de déblais qui seront taillés à une pente de 1H/1V, avec une risberme intermédiaire située à mi-hauteur pour la partie aval du casier.

Les pentes de la plateforme de fond seront structurées autour d'un axe central orienté nord-ouest / sud-est. La pente moyenne en fond de casier sera de 2% pour la partie aval et 4% pour l'alvéole 1 (site 2), permettant la collecte gravitaire des effluents (lixiviats ou eaux pluviales des alvéoles en attente d'exploitation).

5.2.2 Etanchéité des alvéoles

5.2.2.1 Barrière de sécurité passive

La barrière passive est réglementairement constituée de la succession, de bas en haut de :

- au moins 5 m de matériaux présentant un coefficient de perméabilité inférieur à 1.10^{-6} m/s,
- au moins 1 m de matériaux présentant un coefficient de perméabilité inférieur 1.10^{-9} m/s.

Ce point a fait l'objet de reconnaissances et d'essais in situ au stade des investigations géologiques et hydrogéologiques détaillées dont les principales conclusions sont rappelées ci-après.

Le site est implanté sur des terrains calcaires avec ponctuellement quelques passages plus argileux.

Les sols superficiels en place, qui seront déblayés dans le cadre du projet, présentent une perméabilité d'ensemble moyenne supérieure à 1.10^{-6} m/s qui n'est pas compatible en l'état avec les critères réglementaires relatifs à la barrière passive pour ses parties inférieure (1.10^{-6} m/s) et supérieure (1.10^{-9} m/s).

Compte-tenu de l'absence de barrière passive naturelle, il y aura lieu de mettre en place des mesures compensatoires pour confectionner une étanchéité passive équivalente, comme cela est classiquement réalisé sur ce type d'installation de stockage de déchets en France.

Le projet prévoit donc l'utilisation d'un géosynthétique bentonitique (GSB), couplé sur le fond et la base des flancs (jusqu'à une hauteur de 2 m) à une couche d'1 m d'argile importée de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s comme mesures compensatoires.

Sur le reste des flancs, seul le GSB sera présent. Cette mesure fait l'objet de la présente étude d'équivalence.

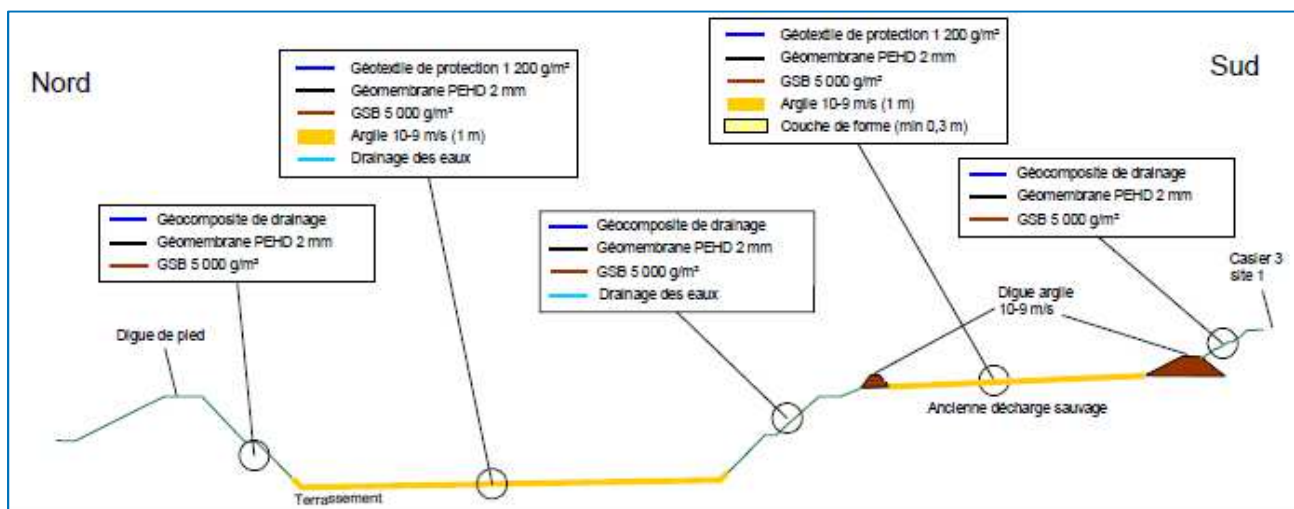
Concernant la digue séparant l'alvéole 1 (site 2) du casier 3 (site 1), elle a été réalisée en argile de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s.

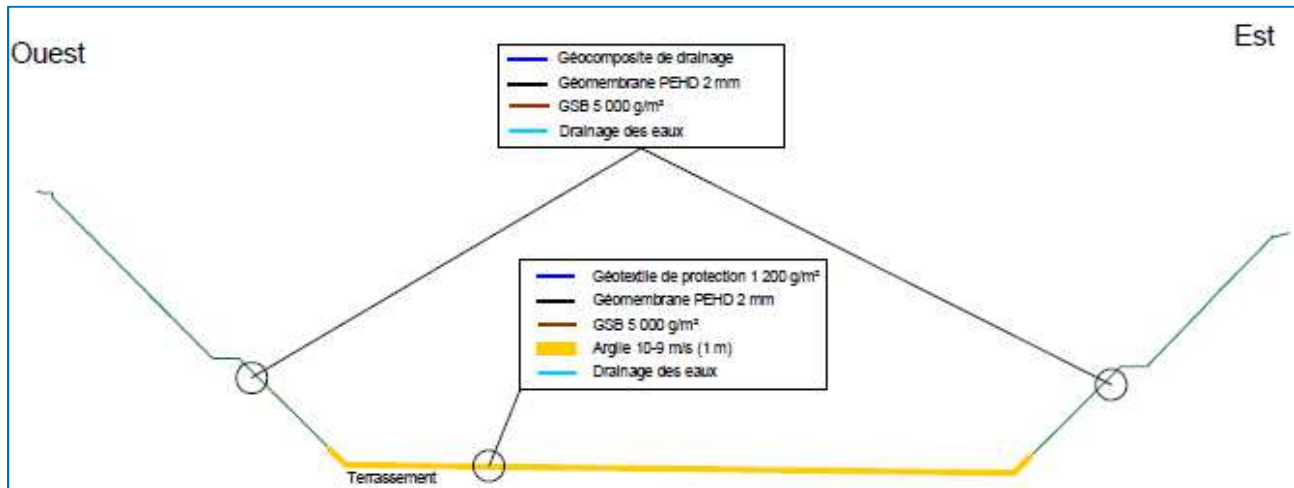
Il ne sera donc pas nécessaire de faire de remontée argileuse supplémentaire à 1.10^{-9} m/s le long de cette digue.

Les digues de rehausse du casier 3 (site 1) ont elles été réalisées avec de l'argile de perméabilité 1.10^{-7} m/s.

Un GSB viendra donc également habiller l'ensemble du talus extérieur (digue argile et digues de rehausse) du casier 3 (site1).

Figure 2 : Coupes schématiques du dispositif d'étanchéité





5.2.2.2 Barrière de sécurité active

Sur le fond et les flancs du casier, une barrière de sécurité active assurera l'indépendance hydraulique, le drainage et la collecte gravitaire avant refoulement des lixiviats vers l'unité de traitement et évitera ainsi la sollicitation de la barrière de sécurité passive.

La barrière de sécurité active sera constituée, du haut vers le bas, par :

- une couche drainante de 0,5 m d'épaisseur en matériaux siliceux lavés roulé 20-40 mm ou autres coupures similaires. Cette structure granulaire devra disposer d'une perméabilité supérieure ou égale à 1.10^{-4} m/s. Cette couche de drainage résistera aux sollicitations mécaniques, thermiques et chimiques pendant toute la durée d'exploitation et de suivi long terme.
- Sur les flancs, cette couche de drainage sera réalisée par un système équivalent aux 50 cm de matériaux drainants. Il sera mis en place un géocomposite de drainage, qui assurera non seulement cette fonction de drainage (perméabilité supérieure ou égale à 1.10^{-4} m/s, résistances mécaniques, thermiques et chimiques), mais servira également de protection antipoinçonnante vis-à-vis de la géomembrane ;
- un réseau de drains permettant l'évacuation des lixiviats vers un collecteur principal positionné à l'extérieur du casier. Il s'agira de drains en PEHD, de diamètre minimal de 200 mm destinés à résister mécaniquement et chimiquement aux contraintes issues du poids des déchets et de la chimie des lixiviats,
- une géomembrane, en polyéthylène haute densité (PEHD) de 2 mm d'épaisseur,
 - protégée par le haut,
 - sur le fond, par un géotextile antipoinçonnant 1 200 g/m². Sur les talus et en fond, le géotextile bentonitique assurera la fonction de protection inférieure de la géomembrane,
 - sur les flancs, par le géocomposite de drainage mis en place. Le géotextile qui entourera ce complexe drainant devrait a minima être de 500 g/m²,
 - protégée par le bas, que ça soit sur les talus et en fond, le géotextile bentonitique assurera la fonction de protection inférieure de la géomembrane

6. Evaluation de l'impact potentiel de l'installation de stockage sur son environnement

6.1 Hypothèses retenues

Afin d'évaluer la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine (et superficielle), nous considérerons un scénario accidentel consistant en une défaillance d'étanchéité de la géomembrane (barrière active) d'une alvéole soit par déchirure soit par attaque acide des lixiviats, conduisant au risque d'infiltration des lixiviats vers la nappe souterraine via la barrière passive (transfert vertical de la pollution).

La cote de fond du projet se situe au-dessus des niveaux piézométriques observés en période de hautes eaux. Les niveaux d'eau relevés au droit des piézomètres représentent des ruissellements au sein des formations calcaires. Ils ne sont donc pas représentatifs d'un niveau de nappe constant et sont directement influencés par la pluviométrie.

Toutefois, pour éviter l'accumulation d'eau sous la barrière passive liée à ces ruissellements, un système de drainage devra être mis en place sur l'ensemble des talus (hors talus aval côté digue de pied) et sur le fond de la partie du bloc de stockage située hors ancienne décharge sauvage. Ces eaux drainées devront transiter par le bassin des eaux pluviales internes du site par pompage, avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

L'épaisseur de la zone non saturée à considérer, sous le fond de terrassement du casier le plus bas, est d'environ 2 m.

Pour le reste, les hypothèses suivantes seront retenues,

- l'ensemble des lixiviats s'infiltreront dans la barrière passive : il n'y a aucune récupération des effluents liquides par le réseau de drainage (hypothèse majorante en termes d'appréciation du risque induit),
- la charge hydraulique (épaisseur de lixiviats dans le casier) est supposée continûment maximale et égale à 30 cm au point bas (valeur réglementaire maximale autorisée, Article 11 de l'Arrêté du 15/02/2016),
- on suppose qu'il n'y a pas d'abattement de la concentration en substances polluantes du fait de la dispersion ou de l'absorption des lixiviats au cours du transfert au sein de la couche d'argile compactée (hypothèse majorante),
- on suppose également qu'il n'y a pas d'abattement de concentration lors du transfert à travers la couche de calcaire non saturée,
- le flux est vertical dans la zone non saturée, et il l'est également dans la zone saturée de faible perméabilité.

6.2 Fond du casier

6.2.1 Hypothèses d'une barrière passive réglementaire

Dans le cas de la mise en place d'une barrière réglementaire, les matériaux présents au droit du fond du casier seraient les suivants.

Tableau 3 : Epaisseur de matériaux d'une barrière passive réglementaire

Matériaux	Perméabilité (m/s)	Epaisseur
Argile	1.10^{-9} m/s	1 m
Matériaux	1.10^{-6} m/s	5 m

Dans ce cas, c'est la couche d'argile qui contrôle l'infiltration verticale.

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

Avec, Δh : différence de charge, soit hauteur de lixiviats dans le stockage ajoutée de l'épaisseur de l'argile $0,3+1=1,3$ m

Δl : longueur de matériau traversé (1 m)

Le gradient hydraulique qui s'exerce sur cette couche est donc : **$i=1,3$** (sans unité).

L'infiltration verticale à travers cette couche est :

$$Inf = K.i$$

Avec, K : perméabilité de la couche concernée (1.10^{-9} m/s),

i : gradient hydraulique

L'infiltration verticale à travers cette couche est : **$Inf=1,3.10^{-9}$ m/s.**

Deux régimes de transfert conduisent à la migration du lixiviats du casier vers les eaux souterraines via la barrière passive non saturée :

- la diffusion moléculaire, en général négligeable dans des terrains perméables où les vitesses d'écoulement et la dispersion qui les accompagne peuvent être grands, doit être prise en compte pour des terrains de faible perméabilité tels que ceux constituant la barrière passive,
- l'advection liée à la différence de charge et à la conductivité hydraulique des terrains concernés.

Considérant que la concentration dans l'aquifère sera contrôlée par l'infiltration (flux advectif) et non la diffusion (extrait du guide de recommandation), il est alors possible de calculer les plateaux de concentration obtenus en considérant un traceur parfait, une source constante et une durée d'émission de la source infinie par la formule suivante :

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \frac{qH}{Inf.L}}$$

Avec, C : concentration du traceur dans la nappe,

C_0 : concentration du traceur initialement dans le stockage,

q : débit unitaire de la nappe au droit du stockage, donné par $q=K_{nappe} \cdot i_{nappe}=2.10^{-5} \cdot 2\%$ (données extraites des documents à notre disposition), soit $q=4.10^{-7}$ m/s,

H : épaisseur de la couche de mélange dans l'aquifère (1 m, estimé),

Inf : infiltration à travers la couche limitante ($1,3.10^{-9}$ m/s) ;

L : du fait que chaque casier est hydrauliquement indépendant, L correspond à la longueur de fond de casier la plus longue, dans le sens de l'écoulement de la nappe soit 90 m.

On obtient un **C/C_0 de 0,226.**

6.2.2 Equivalence de la barrière passive avec un GSB

Dans le cas de la mise en place d'un GSB, les matériaux présents au droit du fond du casier seraient les suivants.

Tableau 4 : Epaisseur des matériaux au droit de la barrière passive projetée

Matériaux	Perméabilité (m/s)	Epaisseur
Géosynthétique bentonitique (GSB)	1.10^{-11}	6 mm
Argile compactée	1.10^{-9}	1 m
Terrain naturel	2.10^{-5}	5 m

Dans ce cas, c'est la couche du géosynthétique bentonitique (GSB) qui contrôle l'infiltration verticale. Le gradient hydraulique qui s'exerce sur cette couche est **$i = 51$** .

Avec, Δh : différence de charge, soit hauteur de lixiviats dans le stockage ajoutée de l'épaisseur de la membrane ($0,3+0,006 = 0,306$ m),
 Δl : longueur de matériau traversé (0,006 m).

L'infiltration verticale à travers cette couche est **$Inf = 5,1.10^{-10}$ m/s**.

Avec, K : perméabilité de la couche concernée (GSB à 1.10^{-11} m/s) ;
 i : gradient.

On obtient alors un **C/C_0 de 0,103**.

6.2.3 Bilan

Les résultats obtenus dans les paragraphes précédents sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Synthèse des calculs

Cas	Caractéristique importante	Résultats
Barrière équivalente	0,006 m de GSB à 1.10^{-11} m/s 1 m d'argile à 1.10^{-9} m/s	0,103
Barrière réglementaire	1 m d'argile à 1.10^{-9} m/s 5 m de matériaux à 1.10^{-6} m/s	0,226

La barrière passive proposée présente des caractéristiques plus intéressantes que la barrière réglementaire, essentiellement du fait de la présence d'une couche de géosynthétique bentonitique (GSB) de très faible perméabilité.

6.3 Flancs du casier

Les flancs de casier peuvent constituer un des points délicats de l'aménagement des installations de stockage.

Dans le cas présent, les pentes des talus sont de 1H/1V : on considère qu'on se trouve dans le cas de fortes pentes.

Dans ce cas, le guide méthodologique précise qu'il est nécessaire de :

- s'orienter vers l'utilisation de membranes à base de bentonite,
- démontrer la stabilité du complexe d'étanchéité compte tenu de la pente : un point particulièrement
- important à prendre en compte est la résistance mécanique des couches superposées.

Ces deux points sont constatés sur le site d'étude : un géosynthétique bentonitique (GSB) est mis en place sur les flancs des casiers et les digues sont stables de fait (l'ensemble des digues sont stables sur l'ensemble du bloc de stockage, Cf. **Dossier n°8 - Calcul de stabilité**).

Du fait que les lixiviats ne peuvent s'accumuler sur les flancs (les fortes pentes interdisent le stockage de liquides et la mise en place d'un géosynthétique de drainage sur tous les flancs), nous ne pouvons disposer de niveaux saturés, de hauteur de charge et donc de transfert. Il n'est alors pas possible de réaliser un calcul de transfert dans les flancs.

En reprenant les orientations du guide, considérant que la composante « stabilité mécanique » est prépondérante, nous pouvons considérer que les flancs des casiers étudiés sont une solution équivalente à la barrière passive réglementaire.

7. Synthèse

Considérant :

1. l'ensemble des documents mis à notre disposition pour cette étude,
2. que le substratum montre une perméabilité moyenne de l'ordre de 2.10^{-5} m/s,
3. qu'un système de drainage de nappe est présent sous le nouveau casier de stockage situé hors emprise de l'ancienne décharge sauvage,
4. que le niveau piézométrique de « hautes eaux » au droit du site se trouvera à moins de 2 m de la barrière passive à 1.10^{-9} m/s et que la totalité de la barrière passive sera donc en zone non saturée pour l'ensemble du casier,
5. qu'une couche de géosynthétique bentonitique (GSB), d'épaisseur réduite (6 mm), est présente au droit de l'ensemble du casier de stockage, présentant une perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-11} m/s,
6. que la barrière d'étanchéité passive équivalente constitue une barrière suffisante au transfert des lixiviats vers les eaux souterraines dans l'éventualité d'une défaillance de la géomembrane (barrière active).

La barrière de sécurité passive proposée garantira une protection efficace du milieu naturel contre les percolations de lixiviats. Les protections proposées sont conformes par le biais du principe d'équivalence aux textes en vigueur.